

# Enseñar y aprender sobre naturaleza de la ciencia mediante el análisis de controversias de historia de la ciencia

Resultados y conclusiones de un proyecto de investigación didáctica

José Antonio Acevedo-Díaz  
Antonio García-Carmona  
María del Mar Aragón-Méndez

Organização  
de Estados  
Ibero-americanos

Para a Educação,  
a Ciência  
e a Cultura



Organización  
de Estados  
Iberoamericanos

Para la Educación,  
la Ciencia  
y la Cultura

**iber-ciencia**



# Enseñar y aprender sobre naturaleza de la ciencia mediante el análisis de controversias de historia de la ciencia

## Resultados y conclusiones de un proyecto de investigación didáctica

José Antonio Acevedo-Díaz

Antonio García-Carmona

María del Mar Aragón-Méndez

**iberciencia**

Organização  
de Estados  
Ibero-americanos  
  
Para a Educação,  
a Ciência  
e a Cultura



Organización  
de Estados  
Iberoamericanos  
  
Para la Educación,  
la Ciencia  
y la Cultura



Organización de Estados Iberoamericanos  
para la Educación, la Ciencia y la Cultura  
Documentos de Trabajo IBERCIENCIA-Nº 5  
Madrid (España), 2017

COLABORA  
Consejería de Economía y Conocimiento de la Junta de Andalucía

MAQUETA  
asenmac

ISBN  
978-84-7666-222-9

Estos materiales están pensados para que tengan la mayor difusión posible y de esa forma contribuir al conocimiento y al intercambio de ideas. Se autoriza, por tanto, su reproducción, siempre que se cite la fuente y se realice sin ánimo de lucro.

Estes materiais estão pensados para que tenham maior divulgação possível e dessa forma contribuir para o conhecimento e o intercâmbio de idéias. Autoriza-se, por tanto, sua reprodução, sempre que se cite a fonte e se realize sem fins lucrativos

# Índice

7	1. INTRODUCCIÓN
9	2. NATURALEZA DE LA CIENCIA
21	3. HISTORIA DE LA CIENCIA
29	4. ASPECTOS DE LA NATURALEZA DE LA CIENCIA ABORDADOS CON LOS TEXTOS DE HISTORIA DE LA CIENCIA UTILIZADOS EN EL PROYECTO
31	5. ASPECTOS METODOLÓGICOS GENERALES
35	6. ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL CASO SEMMELWEIS Y LA FIEBRE PUERPERAL EN SECUNDARIA
45	7. ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL CASO SEMMELWEIS Y LA FIEBRE PUERPERAL EN LA FORMACIÓN INICIAL DEL PROFE- SORADO DE CIENCIA
61	8. ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA CONTROVERSIA EN- TRE PASTEUR Y LIEBIG SOBRE LA FERMENTACIÓN EN LA FORMA- CIÓN INICIAL DEL PROFESORADO DE CIENCIA
75	9. ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL CASO DE ROSALIND FRANKLIN Y LA DOBLE HÉLICE DEL ADN EN LA FORMACIÓN INI- CIAL DEL PROFESORADO DE CIENCIA
89	10. ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL CASO DE ROSALIND FRANKLIN Y LA DOBLE HÉLICE DEL ADN EN BACHILLERATO
105	11. ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA CONTROVERSIA EN- TRE PASTEUR Y POUCHET SOBRE LA GENERACIÓN ESPONTÁNEA EN LA FORMACIÓN INICIAL DEL PROFESORADO DE CIENCIA
125	12. ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA CONTROVERSIA EN- TRE PASTEUR Y POUCHET SOBRE LA GENERACIÓN ESPONTÁNEA EN BACHILLERATO
151	13. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN
155	14. EPÍLOGO
157	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS
165	SOBRE LOS AUTORES



## Prólogo

No es fácil concebir un libro que conecte con distintos públicos. Los variados perfiles e intereses de los lectores, y sus particulares puntos de vista, hacen muy difícil contentar las demandas de todos. Esto es particularmente cierto en un libro sobre educación, ante el cual el lector puede adoptar muy distintos roles en función del estatus que ostenta, siendo casi imposible conciliar un enfoque y un estilo que satisfaga todas las expectativas y sensibilidades: estudiante, profesor, formador de profesores, padre, investigador en el tema, ciudadano, etc.

Este no es el caso, en absoluto, del libro que “tenemos entre las manos”, en el que los autores, intencionadamente o no, han logrado hilvanar un discurso equilibrado que se adapta a diferentes perfiles de lectores. Y lo hacen mediante un tema candente, complejo y apasionante, como es el de la enseñanza y aprendizaje de la naturaleza de la ciencia a partir del análisis de casos de controversias científicas que forman parte de la historia de la ciencia.

Decimos que es un tema candente por cuanto hoy día se cifran, como ha sucedido en cualquier momento de la historia, muchos casos controvertidos de discusión en temas fronteras de la ciencia, y porque actualmente se encuentran en boga numerosos debates que afectan a la ciencia, con enorme eco en los medios de comunicación, por su trascendencia social, ambiental y ética. Asuntos tales como el uso de la energía nuclear, el papel de la humanidad en el calentamiento global, el empleo de embriones humanos en la experimentación en medicina, la incorporación de alimentos transgénicos, etc. Y decimos que se trata de un tema complejo, dado que, como bien muestran los autores, tanto hoy como ayer, en los argumentos esgrimidos en la mayoría de discusiones coexisten razones de tipo lógico y racional, con otras más sutiles de carácter personal, social o emotivo.

Pero el centro de interés del libro no reposa sobre los casos históricos planteados en sí mismos, sino sobre su adaptación e implementación en el aula como materiales didácticos, y especialmente en su evaluación mediante diseños de investigación de corte cualitativo e interpretativo. De manera más concreta, se ponen a prueba cuatro controversias adaptadas en forma de actividades, cada una de las cuales se organiza en torno a una lectura previa en la que se sintetiza el caso histórico estudiado. Este diseño da pie al desarrollo de siete estudios de caso en total; tres de ellos implementados en aulas de ciencia de Secundaria, y otros cuatro con profesores de ciencia en formación inicial. En todos los casos, el propósito general del estudio es el diagnóstico de las ideas que tienen inicialmente los estudiantes participantes sobre los aspectos de naturaleza de la ciencia tratados, y evaluar los cambios que se producen en esas ideas una vez concluida la actividad.

El contenido del libro resulta, como decíamos, de gran actualidad e interés para varios colectivos. En primer lugar, incumbe de lleno a la tarea docente de cualquier profesor de ciencia, especialmente en la etapa de Educación Secundaria, al aportar razones y datos que avalan la utilidad y viabilidad de las actividades didácticas implementadas, así como proporcionar ejemplificaciones concretas que puedan servir de guía en eventuales actuaciones docentes futuras. En segundo lugar, y como consecuencia de lo anterior, el tema atañe también a los profesionales que se dedican a la formación docente, tanto inicial como permanente, la mayoría de ellos profesores de Secundaria o de Universidad. En tercer lugar, teniendo en cuenta que el tema tratado tiene una gran visibilidad en publicaciones de impacto, interesa también a cualquier investigador en Didáctica de las Ciencias Experimentales, normalmente atento a las líneas de investigación más novedosas, sean o no aquellas con las que se

encuentre particularmente comprometidos. Finalmente, recapitulando todas las razones aludidas, la comprensión de la naturaleza de la ciencia también interesa a los futuros profesores que ahora se inician en su formación a través de titulaciones universitarias; de hecho, forma parte del bagaje que estos han de adquirir en sus estudios, ya sean de grado o máster.

Además, la forma en la que se aborda el problema objeto de análisis, resulta enormemente sugerente y adecuada a la hora de focalizarse hacia distintos colectivos. Combina sabiamente, de manera equilibrada, el rigor académico necesario, sobre todo en la fundamentación y evaluación de los casos estudiados, con dosis importantes de realismo y pragmatismo, que avalan la credibilidad de lo expuesto, así como la viabilidad de su extrapolación a otros contextos.

Por todo ello, les invito a iniciar un viaje a través de este fascinante libro, en el cual, confieso que me he sentido agradablemente atrapado nada más zarpar del puerto de partida en su primer capítulo de introducción. La originalidad de sus planteamientos, el magnífico esfuerzo de fundamentación realizado, el sentido crítico informado que rebosa y el estilo sutil y seductor con que está redactado, hacen de la obra un magnífico escenario de navegación para el deleite. Más allá del atractivo que encierra en su forma, también he de destacar la calidad e interés del contenido. En este sentido, he de reconocer que estas páginas han satisfecho plenamente mis expectativas en todos y cada uno de los frentes de la educación por los que he ido pasando a lo largo de mi carrera profesional, y, que en cierta forma, el viaje emprendido por su lectura me ha dado la oportunidad de recrear y recapitular: primero como docente de Física y Química de Educación Secundaria, más adelante como formador de profesorado de ciencia, finalmente además como profesor universitario en una facultad de Ciencias de la Educación, y todo el tiempo como investigador en este campo. Les deseo ¡buen viaje!

José María Oliva Martínez  
Catedrático de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Cádiz  
Editor-fundador de Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias

# 1. Introducción

El propósito de este libro es mostrar los resultados y conclusiones de un proyecto de investigación didáctica sobre el uso de la historia de la ciencia (HDC) para la comprensión de aspectos epistémicos y no-epistémicos de la naturaleza de la ciencia (NDC). El proyecto se ha desarrollado tanto en la formación inicial del profesorado de ciencia como en la educación científica de estudiantes de Educación Secundaria (ESO y Bachillerato). Su finalidad ha sido evaluar la eficiencia de una propuesta, basada en la implementación de textos de controversias de la HDC, para integrar de manera explícita la NDC en el currículo de ciencia. Ello se hace, además, con un planteamiento realista y asumible dentro del tiempo normalmente disponible en las clases de ciencia en España; esto es, con objetivos de aprendizaje relativamente modestos mediante intervenciones de corta duración, que son planificadas con rigor para favorecer la comprensión de nociones básicas de NDC desde un enfoque reflexivo.

En primer lugar, se revisarán y discutirán con brevedad las principales tendencias de los últimos años sobre la introducción de la NDC en la educación científica, haciendo especial hincapié en qué aspectos de la misma podrían ser más adecuados para su integración en el currículo de ciencia escolar.

En segundo lugar, se prestará atención al uso de controversias de HDC como recurso que consideramos útil para la enseñanza y el aprendizaje de diversos aspectos de NDC. Asimismo, se expondrán brevemente las cuatro controversias de HDC, cuyos textos hemos publicado en diversos artículos. Las narraciones están pensadas para su implementación en la formación inicial del profesorado de ciencia, aunque tres de ellas han sido también adaptadas para su uso en Educación Secundaria.

En tercer lugar, se señalarán los aspectos epistémicos (naturaleza de los procedimientos de la ciencia y del conocimiento producido) y no-epistémicos (factores internos y externos a la comunidad científica) de NDC, reconocibles en las narraciones de las controversias de HDC propuestas. Estos aspectos se abordan mediante el planteamiento de cuestiones abiertas.

En cuarto lugar, se indicarán los aspectos metodológicos generales que hemos seguido en las implementaciones, así como nuestra propuesta de evaluación de los logros y dificultades de los estudiantes en la comprensión de diversos aspectos epistémicos y no-epistémicos de NDC.

A continuación, se desarrollarán los siete estudios realizados: cuatro en la formación inicial del profesorado de ciencia de Secundaria, y tres en la educación científica de estudiantes de Secundaria (ESO y Bachillerato; edades entre 16 y 18 años).

Posteriormente, se establecerán conclusiones al respecto, y se expondrán las principales implicaciones educativas del proyecto llevado a cabo. Por último, el libro se cerrará con un breve epílogo.

Queremos manifestar nuestro más sincero agradecimiento a la Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI), por la publicación del libro; y personificarla especialmente en su Secretario Técnico del Área de Ciencia, Juan Carlos Toscano-Grimaldi, por su ánimo constante y las facilidades que siempre nos da con tanto afecto. Y, cómo no, a nuestro querido amigo José María Oliva-Martínez, Catedrático de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Cádiz y editor-fundador de la prestigiosa Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, que nos ha honrado con el prólogo de este libro.



## 2. Naturaleza de la ciencia

La NDC se constituye como un meta-conocimiento sobre la ciencia, que proviene de las reflexiones interdisciplinarias planteadas desde la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia, y por parte de algunos científicos y educadores de ciencia. Puesto que la ciencia es poliédrica y dinámica, no es fácil definir con precisión el concepto de NDC; aunque, de manera muy general, puede decirse que trata de todo aquello que caracteriza a la ciencia como una forma particular de construcción de conocimiento sobre el mundo físico o natural (Acevedo y García-Carmona, 2016a).

En un sentido amplio, la cultura o alfabetización científica incluye el conocimiento de nociones básicas de ciencia, la comprensión de los procesos y métodos que esta emplea, el reconocimiento y comprensión de la NDC y las influencias mutuas entre Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) (Hodson, 2014). De todos estos componentes, Shamos (1995) considera que la comprensión de la NDC es el más importante, porque esta comprensión, sea adecuada o inadecuada, es la que las personas suelen usar para valorar las cuestiones públicas que involucran a la ciencia y la tecnología. Así pues, la adquisición de una buena comprensión de la NDC tiene valor *per se* en la cultura científica deseable para la ciudadanía (Acevedo y García-Carmona, 2017), además de un papel esencial para enriquecer la educación científica (Acevedo, 2008).

Algunos documentos educativos internacionales recientes han incluido la comprensión de la NDC en la educación científica (e.g., OECD, 2016; NGSS, 2013). El de la OECD (2016) lo hace de manera incompleta, enfocando la NDC exclusivamente a asuntos epistémicos<sup>1</sup>:

Reconocer e identificar los rasgos que caracterizan a la investigación científica requiere un conocimiento de los procedimientos estándar que subyacen en los diversos métodos y prácticas utilizados para establecer el conocimiento científico (en lo sucesivo, el conocimiento procedimental). Por último, las competencias requieren un conocimiento epistémico –una comprensión de los fundamentos de las prácticas comunes de la investigación científica, el estado de las afirmaciones de conocimiento que se generan, y el significado de los términos fundamentales, como teoría, hipótesis y datos–. (p. 19)

En los NGSS (2013), la NDC se aborda en el Apéndice H, titulado *Understanding the Scientific Enterprise: The Nature of Science in the Next Generation Science Standards*. La matriz de la NDC incluye ocho temas. Uno de ellos se denomina *La ciencia es un esfuerzo humano*. Sin embargo, los aspectos no-epistémicos de la NDC son escasos y están tratados de modo incompleto.

En España, la NDC aún está muy lejos de consolidarse como un componente clave de la educación científica de los distintos niveles educativos (Acevedo, 2010; Banet, 2010), lo que es evidente si se compara con los contenidos más clásicos u otros que pueden parecer más novedosos (e.g., educación medioambiental, indagación científica, etc.). A diferencia de otras innovaciones didácticas<sup>2</sup>, la introducción adecuada y explícita de la NDC en el currículo de ciencia escolar encuentra numerosos obstáculos; entre los que destaca una deficiente formación del profesorado de ciencia al respecto (Acevedo, 2008; Acevedo, Vázquez, Martín-Gordillo, Oliva, Acevedo, Paixão y Manassero, 2005; Gar-

<sup>1</sup>De hecho, el término “naturaleza de la ciencia” casi no aparece en el documento, mientras que lo hace con mucha frecuencia el término “epistémico”.

<sup>2</sup>Hablamos de innovación porque, a pesar de que la enseñanza explícita de la NDC es una reivindicación que viene haciéndose en España desde hace más de tres lustros, su presencia no está normalizada todavía en la mayoría de los currículos de ciencia escolar.

cía-Carmona y Acevedo, 2016a; Vázquez, García-Carmona, Manassero y Bennassar, 2013). Prueba de esta desatención es su parca reivindicación en el informe *Enseñanza de las Ciencias en la Didáctica Escolar para edades tempranas en España* (ENCIENDE), elaborado por la Confederación de Sociedades Científicas de España (COSCE, 2011)<sup>3</sup>, orientado a proponer mejoras urgentes para la educación científica básica en España. Igualmente es indicativa de esta situación la escasez de publicaciones españolas con resultados empíricos de investigación didáctica sobre implementaciones en el aula para el aprendizaje de la NDC. Además de ello, es preciso señalar que las actuales prescripciones oficiales del currículo de ciencia, en España, son poco explícitas en promover una comprensión básica de la NDC.

En efecto, el currículo oficial de nuestro país apenas incluye algún contenido de NDC. En los criterios de evaluación y estándares evaluables del bloque 1 sobre *La actividad científica* de Física y Química de 4º de Educación Secundaria Obligatoria (ESO), establecidos en el Real Decreto 1105/2014 (MECD, 2015), tan solo se encuentran las tres menciones siguientes a contenidos de NDC<sup>4</sup>: “Reconoce que la investigación en ciencia es una labor colectiva e interdisciplinar en constante evolución e influida por el contexto económico y político” y “Analiza el proceso que debe seguir una hipótesis desde que se formula hasta que es aprobada por la comunidad científica”, en los criterios de evaluación; y “Distingue entre hipótesis, leyes y teorías, y explica los procesos que corroboran una hipótesis”, en los estándares. Sin duda, estas escasas alusiones en nada favorecen que la NDC se considere un contenido esencial de la educación científica básica en España. Así, la gran mayoría de los criterios y estándares propuestos de la indagación científica se refieren a competencias *para* la indagación científica (más bien se trata de procedimientos de la ciencia), pero no *sobre* la comprensión de las características de la indagación científica, que no es lo mismo en absoluto. Desde nuestro punto de vista, ampliamente compartido en la bibliografía internacional, solo lo segundo debe considerarse conocimiento epistémico de NDC propiamente dicho. Además, en el propio currículo se induce a visiones ingenuas de la ciencia como la de que existe un método científico algorítmico y universal, al incluir un contenido denominado “*El método científico: sus etapas*”, en el primer bloque de Física y Química de 2º y 3º de ESO.

Con esta situación, y puesto que el profesorado solo suele conceder importancia a lo que se evalúa, la consecuencia es evidente: la atención y tratamiento adecuado de la NDC en el aula es prácticamente inexistente en la educación científica de España.

Consideramos que, para contribuir a una cultura/alfabetización científica más holística, la integración de la NDC en el currículo de ciencia escolar debe incluir, entre otras, cuestiones sobre 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 interrelaciones CTS.

### 2.1 ¿Qué enseñar sobre NDC?

Durante la reunión anual de la NARST (*National Association for Research in Science Teaching*), realizada en 2010 en Filadelfia, se celebró un simposio en el que se discutió acaloradamente sobre la necesidad de seguir preguntándose qué es la ciencia, por sus rasgos principales y los factores que intervienen en su construcción, con vistas a su inclusión en la educación científica (Erduran y Dagher,

<sup>3</sup> Solo hace una breve alusión a la NDC, de un modo bastante general, y sin considerarla un componente clave de la educación científica para promover en la sociedad española una adecuada cultura científica.

<sup>4</sup> En los estándares de aprendizaje evaluables de las asignaturas de ciencias de ESO y Bachillerato, hay numerosas referencias a cuestiones medioambientales y de sostenibilidad, algo más de una decena correspondientes a procesos de la ciencia o de indagación científica, e incluso varias relativas al uso de TIC e Internet; pero ningún contenido específico más de NDC propiamente dicha.

2014). Para algunos de los participantes, el contenido de lo que hay que enseñar sobre NDC ya estaba bastante bien establecido; por tanto, consideraban que era una pérdida de tiempo seguir debatiendo sobre qué aspectos de NDC abordar, teniendo en cuenta que esos contenidos están destinados a estudiantes y profesores de educación preuniversitaria (Akerson *et al.*, 2010; Lederman, Bartos y Lederman, 2014; Abd-El-Khalick, 2012b). Desde la perspectiva de los organizadores del simposio, lo que se necesita son mejores formas de incorporar la NDC en la educación científica. Sin embargo, no todos los asistentes estaban de acuerdo con ese punto de vista. Así lo expresan Erduran y Dagher en su libro *Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education*, en el que muestran su desacuerdo sobre tal posición:

La idea de este libro nació de esta manera con el objetivo de fomentar un debate crítico y constructivo sobre cómo reconceptualizar la naturaleza de la ciencia para la educación científica (Erduran y Dagher, 2014; p. xiii).

Aun cuando la cuestión sobre lo que hay que incluir de NDC en la educación científica ha sido abordada antes por otros investigadores (*e.g.*, Lederman, Abd-El-Khalick, Bell y Schwartz, 2002; McComas, Clough y Almazroa, 1998; McComas y Olson, 1998; Osborne, Collins, Ratcliffe, Millar y Duschl, 2003), para estas investigadoras sigue sin estar resuelta. Y ello a pesar de algún intento posterior por congeniar las posiciones enfrentadas (Kampourakis, 2016), que ha resultado a todas luces fallido. Lejos de suavizarse las polémicas sobre la NDC en la educación científica, estas no han cesado durante esta década y se han producido debates bastante agrios, que no conducen a mejorar la situación<sup>5</sup>. Da la impresión de que los diferentes grupos actúan como auténticos *lobbies*, que tratan de imponer sus ideas en la investigación didáctica al respecto, en lo que se publica y en los documentos curriculares internacionales de carácter orientativo. Cabe preguntarse, asimismo, si esta forma de actuar tan virulenta no estará relacionada con otros intereses más particulares<sup>6</sup>.

Durante la primera década del siglo XXI, la perspectiva de la NDC que ha prevalecido en la investigación educativa ha sido la sustentada por *los siete principios* de Lederman (2007) sobre la NDC. Sin embargo, es necesario hacer algunas precisiones al respecto, porque esa lista no ha sido siempre la misma. En efecto, en el artículo de Lederman *et al.* (2002: 489-502), se incluían ocho principios: (1) el conocimiento científico tiene una base empírica; (2) está cargado de teoría; (3) es fruto de la imaginación y la creatividad de los científicos en parte; (4) es provisional o tentativo; (5) está incrustado en la sociedad y la cultura; (6) el método científico universal es un mito; (7) es importante distinguir entre observaciones e inferencias; y (8) entre las funciones y el estatus de teorías y leyes. El aspecto (6) desapareció de la lista en el trabajo de Lederman (2007: 833); además, la carga teórica del conocimiento científico se sustituyó en el mismo por el término *subjetividad*, que incluye a la anterior pero también a las creencias y sesgos personales de los científicos. Esta debe ser la lista denominada en la bibliografía internacional como “*the Lederman seven*”. Sin embargo, posteriormente se ha reducido en otro elemento más: la base empírica del conocimiento científico (Lederman, Antink y Bartos, 2014: 287-289; Lederman y Lederman, 2012: 335-359).

Como puede observarse en cualquiera de estas listas, hay un sesgo importante a favor de los aspectos epistemológicos que se refieren a la naturaleza del conocimiento científico, entendido este como el

<sup>5</sup> Véase, por ejemplo, la reciente publicación del monográfico sobre la enseñanza de la NDC en la revista *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 17(1), 2017

<sup>6</sup> Por ejemplo, si la posición y las ideas de algún grupo se impusieran en un país determinado, ello podría suponer la obtención de sustanciosas subvenciones para proyectos y cursos de formación del profesorado. Asimismo, el grupo que lo consiguiera tendría una posición relevante de predominio en las principales publicaciones internacionales de educación científica, o al menos en algunas de ellas; lo que contribuiría también a aumentar el prestigio de los miembros de ese grupo, y muy en particular de su líder, e incidir así en lo que se ha señalado al principio de esta nota. De este modo, se cerraría un círculo vicioso.

resultado o producto de la ciencia. En efecto, así lo afirman con rotundidad Lederman y Lederman (2012): “[...] *la naturaleza de la ciencia se refiere a las características del conocimiento científico que se derivan directamente del proceso/método utilizado para desarrollar el conocimiento.*” (p. 336). No cabe ninguna duda, pues, al respecto.

Estos mismos autores han intentado explicar el origen de lo que ellos atribuyen a una confusión (Lederman y Lederman, 2012):

[...] Originalmente (durante la década de 1960) se utilizó la expresión “naturaleza del conocimiento científico” para describir los resultados educativos relacionados con las características del conocimiento científico [...] Sin embargo, durante los años ochenta, el “conocimiento científico” fue eliminado del nombre original del constructo y la “naturaleza de la ciencia” se utilizó para referirse a la misma idea. (p. 336)

Posteriormente, Lederman, Antink y Bartos (2014) han incidido en lo mismo:

[...] De hecho, durante los años ochenta la frase “naturaleza del conocimiento científico” fue acortada a “naturaleza de la ciencia”. Una cierta confusión que continúa hoy. Naturaleza de la ciencia, en la bibliografía de investigación, se refiere a la naturaleza del conocimiento científico y esta es la definición que se utiliza en este documento. (pp. 286-287)

No sabemos, aunque lo sospechamos, si esta justificación tan débil se refiere a los EE.UU. solamente, o también a otros países del mundo. Lo que no es de extrañar es que ello haya dado lugar a un aluvión de críticas de índole muy diversa durante la década actual (e.g., Allchin, 2011; Hodson y Wong, 2014, 2017; Martins, 2015). Así, por ejemplo, Matthews (2017) recrimina que: “*Norm Lederman y sus colegas [...] se limitan a afirmaciones sobre la naturaleza del conocimiento científico, hacen caso omiso de los procesos científicos<sup>7</sup>, e ignoran consideraciones más amplias sobre la ciencia y su relación con la sociedad y la cultura.*” (p. 105). Estamos completamente de acuerdo con esto desde nuestra posición sobre la NDC y su didáctica.

Asimismo, uno de los principios de Lederman *et al.* (2002) acerca de la NDC versa sobre la incrustación del conocimiento científico en la sociedad y la cultura:

La imbricación social y cultural del conocimiento científico, que sostiene que la ciencia como empresa humana se practica en el contexto de una cultura más grande, y sus practicantes son producto de esa cultura. Por tanto, la ciencia afecta y se ve afectada por diversos elementos y esferas intelectuales de la cultura en la que está inmersa. Estos elementos incluyen, entre otros, el tejido social, las estructuras de poder, la política, los factores socioeconómicos, la filosofía y la religión. (p. 501)

Sin embargo, Matthews (2012) apostilla al respecto que:

Los hechos sociológicos e históricos de este asunto son indiscutibles; la ciencia depende de la tecnología, las matemáticas, las comunicaciones, el dinero, la educación, la filosofía y la cultura ampliamente; y es importante que se recuerde todo esto y se den ejemplos a los

<sup>7</sup>Lederman y sus colegas han abordando recientemente *la naturaleza de la indagación científica* (IC) (Lederman, Lederman, Bartos, Bartels, Antink y Schwartz, 2014), que se relaciona con los métodos y los procesos de la práctica científica. En una comunicación personal mantenida con Lederman (8-7-2014), a raíz del artículo anterior, el primero de los autores de este libro le manifestó que consideraba que el conocimiento sobre la IC era un subconjunto del conocimiento sobre la NDC; es decir, que los métodos y procesos de construcción del conocimiento científico también forman parte de la NDC. La respuesta de Lederman fue la siguiente: “*No tengo ningún problema en absoluto con lo que ha dicho. La razón principal por la que separamos NDC e IC se debe a que cuando la IC es la preocupación principal se olvida la NDC.*” [La traducción es nuestra]. Esta respuesta es sorprendente pues, después de admitir el punto de vista expuesto, inmediatamente volvió a excluir el conocimiento sobre la IC como componente de la NDC.

estudiantes y profesores. Pero para que este hecho sea realmente útil, y no solo una especie de observación antropológica, los profesores (y sus alumnos) deben involucrarse o investigar cuestiones tales como: separar los efectos favorables de los efectos desfavorables de la cultura; distinguir la ciencia buena de la mala; *identificar los factores internos y externos en el desarrollo científico* [...] Sin embargo, al final, el grupo de Lederman no dice nada sobre estos asuntos normativos. (p. 17). [Se ha añadido el énfasis en cursiva]

En una propuesta sobre qué enseñar de NDC en el currículo de ciencias durante toda la escolarización preuniversitaria, Abd-El-Khalick (2012b) ha incluido algunos aspectos no-epistémicos, pero se limita solo a tres internos a las comunidades científicas (sociología interna). En concreto: (1) el desarrollo colectivo del conocimiento científico (p. 1049); (2) las instituciones científicas se rigen por normas identificables (p. 1049); y (3) la objetividad de la ciencia se consigue mediante procesos de intersubjetividad (p. 1048) dentro de una comunidad científica (e.g., mediante la revisión ciega de los artículos por pares académicos).

En nuestra opinión, lo anterior es decir muy poco; hay muchos más aspectos no-epistémicos que deben ser atendidos suficientemente, tales como la comunicación entre científicos, la personalidad de estos, las relaciones profesionales dentro de la comunidad científica, la cooperación y la competitividad en la práctica científica, la influencia de la política, la economía, la cultura de la sociedad y de la religión, etc. (Acevedo y García-Carmona, 2016a).

Pero es que, además, resulta evidente que Lederman y sus colegas no han prestado prácticamente atención a los asuntos no-epistémicos relacionados con los ámbitos de la sociología interna y externa de la ciencia en sus investigaciones empíricas. Basta para ello revisar la bibliografía al respecto; una crítica de la que tampoco se escapan los numerosos seguidores de una concepción tan restringida sobre la NDC. Desde nuestro punto de vista, los aspectos epistémicos y no-epistémicos de la NDC no deberían ser mutuamente excluyentes, sino complementarios.

Los aspectos no-epistémicos afloran sobre todo en la ciencia privada, o contexto del 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 del descubrimiento y el contexto de justificación (ciencia pública). Sin embargo, para él, los filósofos de la ciencia no deberían ocuparse de la génesis de los descubrimientos científicos, sino de los resultados finales de la investigación científica, expresados en artículos y libros; 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 (Vázquez, Acevedo, Manassero y Acevedo, 2001). Con esta distinción, los aspectos no-epistémicos estarían excluidos; quedando reducida la comprensión de la NDC a los aspectos epistémicos relativos al conocimiento científico producido<sup>8</sup>. Afortunadamente, la filosofía de la ciencia contemporánea ha superado esa dicotomía, y ambos contextos se consideran hoy un continuo inseparable para entender cómo se construye y evoluciona la ciencia.

Durante la década actual se han elaborado nuevas propuestas, las cuales amplían las cuestiones sobre NDC que pueden ser abordadas en el currículo de ciencia escolar. Un ejemplo es la lista de “características de la ciencia” (*features of science*, FOS) de Matthews (2012), que añade once elementos a los siete principios de Lederman. Otro es el enfoque “parecido de familia” (*family resemblance approach*,

<sup>8</sup> Existe una sorprendente similitud entre esta visión positivista de Reichenbach, superada hace años en la filosofía de la ciencia, y la posición restringida de aquellos investigadores y educadores de ciencia que consideran que la NDC se refiere tan solo a la naturaleza del conocimiento científico producido.

FRA) de Irzik y Nola (2011), que considera la ciencia como un sistema cognitivo-epistémico y como un sistema social-institucional (Irzik y Nola, 2014). El primer sistema se ocupa de los objetivos, los métodos y el conocimiento científico en sí mismo; mientras que el segundo trata de las actividades profesionales, la difusión y los valores sociales de la ciencia.

Irzik y Nola (2011) también se refieren al hecho de que cada ciencia tiene rasgos específicos y otros comunes con las demás ciencias, lo que cuestiona que los asuntos de NDC se deban abordar de manera genérica y común para todas las disciplinas de ciencias. Señalábamos esto mismo hace una década en una revisión sobre el estatus de la NDC en la didáctica de las ciencias (Acevedo, 2008). Es verdad que hay algunas diferencias significativas entre las diferentes ciencias (*e.g.*, Física y Biología) en determinadas características de la naturaleza del conocimiento científico y de los procedimientos o métodos empleados, que habría que tener en cuenta cuando se tratan esos aspectos de la NDC. Pero, también es cierto que los aspectos comunes de NDC entre las diversas ciencias predominan en los asuntos de sociología interna y sociología externa de la ciencia; es decir, es en ellos donde el parecido de familia resulta mayor.

Según Dagher y Erduran (2016), la investigación sobre la NDC en la educación científica ha estado demasiado restringida a la hora de proporcionar una visión más global de la NDC. Para solventarlo, han usado el FRA como marco de referencia en el desarrollo de una propuesta de diseño curricular de la NDC para la educación científica (Erduran y Dagher, 2014). Asimismo, muestran diversos ejemplos de cómo conectar coherentemente su propuesta con los estándares estadounidenses para la educación científica en Educación Primaria y Secundaria (NGSS, 2013). Las autoras argumentan su decisión de este modo:

El Enfoque Parecido de Familia nos proporcionó un marco unificador pero flexible para la promoción de una perspectiva relativamente amplia e inclusiva de la naturaleza de la ciencia en la enseñanza de las ciencias, que reconoce las características comunes y, al mismo tiempo, se adapta a las particularidades disciplinarias. (Erduran y Dagher, 2014, p. xiv).

Cabe resaltar también la atención que Erduran y Dagher (2014) prestan a aspectos de sociología de la ciencia (interna y externa):

El énfasis en los aspectos sociales e institucionales de la ciencia proporciona nuevas oportunidades para redefinir y caracterizar la enseñanza y el aprendizaje de la NDC, sobre todo en una época de globalización de las economías del conocimiento que exigen una comprensión más sofisticada de la NDC respecto a sus diversas dimensiones. La ciencia puede ser más auténtica en la ciencia escolar haciendo hincapié en que los científicos practican la ciencia en comunidad y que sus interacciones se rigen por determinadas normas sociales, valores y poderes. La inclusión de los contextos sociológico, político, organizativo, y económico de la ciencia en la educación científica podría animar a participar a estudiantes de diversos orígenes, y mejorar su interés y compromiso con la ciencia. (p. 160)

Este planteamiento está en sintonía con la posición que venimos sosteniendo desde hace más de veinte años, estructurando las cuestiones de NDC en torno a las dimensiones siguientes: (1) aspectos epistémicos (productos y procesos de la ciencia), aspectos no-epistémicos (sociología interna y sociología externa de la ciencia); (3) aspectos relativos a las relaciones entre la ciencia y tecnología (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016a).

A diferencia de otros planteamientos restrictivos y limitados a unos pocos aspectos epistémicos sobre la NDC, con el argumento de que así se favorecerá su inclusión en los niveles educativos básicos

(e.g., Abd-El-Khalick, 2012a), nuestra posición aboga pues por contemplar una gama más amplia de asuntos de NDC. Esta ampliación no supone, en nuestra opinión, un obstáculo para impulsar la integración de la NDC en la ciencia escolar. Al contrario, aumenta las posibilidades de que se aborden cuestiones más diversas de NDC en el aula, que permitan una comprensión sobre la ciencia más sólida y, por tanto, una alfabetización científica más amplia.

Como apoyo externo a la educación científica de nuestra posición está también el hecho de que numerosos historiadores, filósofos y sociólogos de la ciencia reconocen que los aspectos no-epistémicos influyen en el desarrollo de la ciencia (Acevedo, 2006b; Forato, Martins y Pietrocola, 2011). La ciencia es una actividad cultural y productiva que responde a necesidades, intereses, problemas sociales, políticos, económicos e ideológicos (Acevedo, 2006a). Por tanto, la educación científica debe tener en cuenta tales aspectos en la alfabetización científica de la ciudadanía.

## 2.2 ¿Cómo enseñar sobre NDC?

Después de la revisión crítica anterior sobre qué enseñar acerca de la NDC, debemos plantearnos cómo llevar a cabo su enseñanza en el aula, que es la otra cara de la misma moneda. Actualmente existe un amplio consenso en que la enseñanza de la NDC debería hacerse con un enfoque explícito y reflexivo; es decir, con objetivos de aprendizaje específicos y mediante el planteamiento de actividades orientadas a que los estudiantes piensen reflexivamente y discutan sobre aspectos de NDC. En lo que sigue, primero vamos a analizar críticamente una propuesta reciente sobre cómo enseñar NDC, para exponer nuestro posicionamiento al respecto a continuación.

La propuesta de Hodson y Wong (2017) se basa en un enfoque sobre la comprensión de la práctica científica contemporánea (*understanding scientific practice*), que toma en consideración los puntos de vista de científicos activos en la investigación científica de vanguardia: “es necesario conocer (i) lo que constituye una visión auténtica de la práctica científica, y (ii) cómo se puede transmitir esa comprensión a los estudiantes de una manera eficaz y eficiente.” (Wong y Hodson, 2009, p. 110). Estos investigadores clasifican las experiencias de enseñanza y aprendizaje de su propuesta en tres categorías principales: (1) *sobre* los científicos, (2) *de* los científicos, y (3) *con* los científicos (Hodson y Wong, 2017). Como se verá en el próximo capítulo, nuestro proyecto hace uso en parte de la primera de las categorías mencionadas.

Las bases de la propuesta de Hodson y Wong (2017) se encuentran en dos trabajos anteriores, que abordan lo realizado en un mismo estudio de investigación<sup>9</sup> (Wong y Hodson, 2009, 2010). Tal y como se dice en el resumen del primero de ellos (Wong y Hodson, 2009):

Este estudio buscó identificar características prominentes de la NDC propias de la investigación científica real. Trece científicos<sup>10</sup> con experiencia profesional amplia de diferentes partes del mundo, que trabajan en investigación experimental o teórica, en campos tradicionales como la astrofísica y en campos de investigación de rápido crecimiento como la biología molecular, completaron un cuestionario abierto sobre NDC y fueron entrevistados

<sup>9</sup> Aunque metodológicamente diferentes, este tipo de trabajos sobre la práctica real de la ciencia recuerda de algún modo a los estudios etnográficos realizados muchos años atrás por sociólogos de la ciencia (e.g., Latour y Woolgar, 1995) y filósofos de la ciencia (e.g., Giere, 1988). Así, Giere pasó tres años (1983-1986) acudiendo asiduamente como investigador a las instalaciones del ciclotrón de la Universidad de Indiana (Chicago), pero sus conclusiones fueron muy diferentes a las de sociólogos de la ciencia de tendencia relativista como el francés Latour y el inglés Woolgar. Después de que Latour hiciera el trabajo de campo durante dos años (a finales de los años setenta del siglo XX) en un laboratorio de neuroendocrinología del Instituto Salk de Estudios Biológicos, sito en La Jolla (California), los dos sociólogos concluyeron que el principal quehacer en la práctica científica es la construcción de entidades, mientras que Giere encontró sobre todo contingencia y negociación entre los científicos en su trabajo (Vázquez, Acevedo, Manassero y Acevedo, 2001).

<sup>10</sup> En la segunda parte del estudio participó un científico más (Wong y Hodson, 2010).

a fondo<sup>11</sup>. [...] Estos relatos de la práctica científica real tienen un potencial considerable para el desarrollo de recursos de enseñanza para mejorar y enriquecer la comprensión de los estudiantes de NDC [...]. (p. 109)

Refiriéndose a la segunda categoría de aprendizaje de su propuesta, Hodson y Wong (2017, p. 10) señalan que: “[...] *si la práctica científica es lo que hacen los científicos, es miope e irrespetuoso ignorar sus puntos de vista y las formas en que sus informes de actividades cotidianas revelan una rica y sofisticada NDC [...].*”

Pero surgen entonces algunos problemas que son consecuencia de que la mayoría de los científicos en activo no suelen reflexionar sobre ciertos aspectos de su propia práctica<sup>12</sup>. No queremos decir con ello que las respuestas de los científicos a las preguntas que les fueron planteadas fueran de poco valor<sup>13</sup>. Al contrario, la mayoría de ellas confirman nuestras propias ideas sobre diversos aspectos de la NDC. Sin embargo, en ciertos casos esto no fue así.

Por ejemplo, una de las preguntas que Wong y Hodson (2009) hicieron en sus entrevistas versaba sobre leyes y teorías científicas. La respuesta de un físico experimental de partículas con amplia experiencia en su campo, pero que nunca había reflexionado seriamente sobre la cuestión, fue la siguiente:

Por lo que yo entiendo, una teoría científica se convertirá en una ley científica cuando sea probada por un número considerable de experimentos con exactitudes razonables. En Física, Einstein publicó por primera vez la teoría de la Relatividad Especial en 1905, pero hoy es una ley tanto como la conservación de la energía y el impulso, como lo han demostrado muchos experimentos y probablemente todos los días en nuestro acelerador. (p. 122).

Con esta respuesta, Wong y Hodson (2009) concluyen que:

[...] una supuesta “comprensión inadecuada” de la terminología tan reverenciada por algunos filósofos de la ciencia, y por muchos profesores de ciencia e investigadores de la educación científica, no afecta a la capacidad de los científicos para llevar a cabo la investigación. (p. 122).

Si con ello los autores nos están sugiriendo que la confusión sobre el estatus y las funciones de leyes y teorías científicas no es importante, entonces mostramos nuestro más absoluto desacuerdo con semejante conclusión<sup>14</sup>. En primer lugar, porque aunque la comprensión inadecuada entre ley y teoría científicas no afecte a la capacidad de los científicos en activo para hacer sus investigaciones, es necesario tener presente que no es lo mismo investigar en ciencias que reflexionar sobre la naturaleza de la práctica científica. En segundo lugar, y esto nos parece más importante aún, porque no hay que confundir la ciencia académica con la ciencia escolar, pues son ámbitos bien diferentes. Consideramos que la distinción entre una teoría científica y una ley científica es relevante en una educación científica destinada a la alfabetización científica para todas las personas. En efecto, el uso cotidiano

<sup>11</sup> Las entrevistas duraron entre 90 y 180 minutos. Cabe señalar también que muchos de los científicos reconocieron durante la entrevista que nunca habían meditado seriamente sobre este tipo de preguntas antes de participar en el estudio.

<sup>12</sup> El primero de los autores de este libro tuvo ocasión de comprobarlo personalmente en una conversación sobre el denominado “método científico” mantenida, hace más de treinta años, con el prestigioso astrofísico español Juan Antonio Pérez Mercader.

<sup>13</sup> De hecho, las respuestas a los aspectos sociológicos de la ciencia (Wong y Hodson, 2010) sí estaban mucho más meditadas.

<sup>14</sup> Es necesario advertir que en Biología hay muy pocas leyes si se compara con ciencias como la Física o la Química. Asimismo, las leyes de la Biología no son del mismo tipo que las de estas otras dos ciencias, y también que las reglas para su aplicación son algo distintas (Acevedo, 2017).

de la noción de “teoría” hace referencia a una conjetura, una idea que es especulativa o no ha sido probada<sup>15</sup>, lo que se aproxima más bien a la noción de hipótesis científica. Por el contrario, una teoría científica permite explicar y predecir fenómenos naturales. Las teorías científicas son una guía para la investigación científica, aunque tengan un carácter provisional o tentativo. En cambio, la noción de “ley” sugiere un término mejor establecido y más aceptado; sin embargo, las leyes científicas tampoco son verdades absolutas<sup>16</sup>. Valga el siguiente ejemplo para ilustrar lo que decimos: mediante el uso cotidiano –y manipulador– de estos términos, los creacionistas cuestionan la teoría de la evolución porque, según ellos, no es una ley científica sino simplemente una “teoría” (Acevedo-Díaz, 2017).

Un segundo ejemplo se refiere a la noción que tienen de modelo científico los científicos entrevistados por Wong y Hodson (2009). La siguiente es la respuesta de un físico especializado en alta energía: *“Para nosotros, los modelos son una entidad menos rigurosa que las teorías. Cuando hay más evidencias para apoyar un modelo, podría llamarse una teoría.”* (p. 123)

La distinción poco reflexionada, y más bien tosca, entre modelo y teoría de la respuesta de este científico le lleva a considerar que los modelos científicos son menos seguros o más incompletos que las teorías en aspectos importantes. De otra manera, concibe los modelos como teorías menos robustas y con menor grado de rigor (Acevedo-Díaz, García-Carmona, Aragón-Méndez y Oliva-Martínez, 2017).

Por último, respecto a la tercera categoría de aprendizaje propuesta, Hodson y Wong (2017) hacen el comentario siguiente:

Trabajar junto a los científicos es ideal para dar a los estudiantes una visión de la realidad de la práctica científica cotidiana, incluyendo la compleja dinámica social y el estrés emocional de la investigación. Pueden ver de primera mano los juicios, tribulaciones, desafíos, oportunidades, limitaciones, frustraciones y recompensas del esfuerzo científico. (p. 14)

Esta propuesta supone, a nuestro juicio, un serio problema de logística, de dimensiones descomunales, a la hora de su aplicación en la formación del profesorado de ciencias y, mucho más aún, en las distintas etapas de la educación científica preuniversitaria. ¿Cuántos laboratorios harían falta para formar al profesorado de esta manera? ¿Cuántos serían necesarios para atender mínimamente a todos los estudiantes preuniversitarios de un país? ¿Cuántos de ellos querrían colaborar? Y todo esto, sin hablar de los permisos necesarios de las diversas autoridades académicas nacionales, regionales y locales, etc. ¿Son conscientes dichos autores de las posibilidades reales de aplicación de semejante propuesta de aprendizaje? Para nosotros está claro que su generalización es inviable; una auténtica quimera.

Una buena comprensión de la NDC es condición necesaria, pero insuficiente para que el profesorado de ciencia incorpore a sus clases contenidos de NDC; hace falta mucho más. Es frecuente que profesores que han logrado adquirir una comprensión bien informada y actualizada de algunos aspectos básicos de la NDC no intentan luego enseñarlos de manera explícita y reflexiva, o adoptan enfoques poco fructíferos para ello. La comprensión de las decisiones y prácticas docentes de los profesores de ciencia, en general, y de los principiantes, en particular, es una tarea compleja, siendo muchos y

<sup>15</sup> Según la versión en línea del DRAE, la primera acepción de “teoría” es “*Conocimiento especulativo considerado con independencia de toda aplicación*”.

<sup>16</sup> Según la versión en línea del DRAE, la primera acepción de “ley” es “*Regla fija a la que está sometido un fenómeno de la naturaleza*”.

diversos los aspectos que pueden afectarlas. Por tanto, es fundamental tener un buen conocimiento de la capacidad que poseen los profesores de ciencia para enseñar NDC, y sobre la viabilidad de que puedan hacerlo con eficacia. Para ello, es necesario identificar previamente los principales obstáculos que impiden o dificultan la implementación de la NDC en las clases de ciencia (Acevedo, 2009b; García-Carmona, Vázquez y Manassero, 2011). En la tabla 1 se apuntan algunos de ellos, distinguiendo entre los de carácter general y específico. Estos obstáculos no agotan todos los posibles, pero todos ellos son importantes.

**Tabla 1. Principales obstáculos que impiden o dificultan la implementación de la NDC en las clases de ciencia.**

Obstáculos generales	Obstáculos específicos
1. Desconocimiento de finalidades y objetivos suficientemente claros de la educación científica que justifiquen la incorporación de la NDC.	1. Identificación del aprendizaje de la NDC con el aprendizaje de procesos de indagación científica.
2. Percepción de un escaso valor real de la NDC como contenido curricular, si se compara con otros contenidos conceptuales o procedimentales de la educación científica.	2. Desconocimiento de enfoques didácticos eficaces para la enseñanza de la NDC.
3. Diversos obstáculos de carácter institucional y administrativo como, por ejemplo, la presión para cubrir los contenidos más clásicos de temarios demasiado amplios, y la falta de tiempo disponible para ello.	3. Falta de materiales didácticos adecuados y/o ineficacia a la hora de gestionarlos para hacer explícita y reflexiva la enseñanza de la NDC.
4. Desatención de la NDC en las pruebas de evaluación externa, como ocurre en el caso de las pruebas de acceso a las universidades españolas. Se refuerza así el escaso valor que la mayoría del profesorado da a la NDC como contenido curricular, pues es bien sabido que los profesores apenas dedican tiempo a enseñar aquello que perciben con menor importancia institucional, o directamente no se evalúa.	4. Desconocimientos de métodos de evaluación útiles del aprendizaje de aspectos de NDC.
5. Inexperiencia y falta de confianza en sí mismo para organizar y dirigir el trabajo del alumnado, manteniendo un clima de aula adecuado.	5. Poca capacidad para hacer conexiones entre los contenidos científicos de un tema y aspectos de la NDC, originada sobre todo por falta de conocimiento profundo del tema científico, incluyendo el conocimiento de la historia de su desarrollo y su base empírica.
6. Incapacidad para enfrentarse a las diferentes motivaciones y capacidades de los estudiantes, que es consecuencia de una percepción de escasa capacidad y motivación en el alumnado.	

El planteamiento de una enseñanza explícita y reflexiva de la NDC supone tener que esforzarse en intentar comprender mejor los conocimientos y habilidades que necesitan los profesores para involucrar a sus estudiantes en un aprendizaje más eficaz sobre la NDC. De otra forma, se trata de dar respuesta a la pregunta: *¿qué necesita saber hacer un profesor para impartir algunos aspectos de NDC relevantes en sus clases de ciencia?* Para ello, el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC)<sup>17</sup> es un marco teórico que resulta adecuado. En este caso, se trataría de un CDC específico para la enseñanza de la NDC (CDC-NDC, en adelante).

Nuestro modelo de CDC-NDC está inspirado en el modelo hexagonal de CDC de Park y Oliver (2008). Este modelo tiene dos características fundamentales: integración y dinamismo. La segunda característica conlleva la transformación dinámica del conocimiento del profesor mediante una doble reflexión: *en la acción* de la enseñanza y *sobre la acción* después de la enseñanza. Si se aplica a la NDC, la reflexión en la acción le permite al profesor desarrollar y poner en acción sus conocimientos de los diversos componentes del CDC-NDC (figura 1); esto es, aquellos que son accesibles en un momento dado de la enseñanza con el fin de lograr en sus estudiantes un aprendizaje adecuado sobre alguna cuestión de NDC. Mediante la reflexión sobre la acción, posterior a la práctica docente, el profesor toma conciencia de la necesidad de añadir, reorganizar o modificar algunos aspectos de su enseñanza sobre la NDC (Acevedo y García-Carmona, 2016a).

<sup>17</sup> El origen del CDC (*Pedagogical Content Knowledge*, PCK en inglés) se remonta a una conferencia que Shulman dio en la Universidad de Texas (Austin) durante el verano de 1983, titulada: “*El paradigma perdido en la investigación sobre la enseñanza*” (Shulman, 1999). El CDC incluye las conexiones entre los conocimientos didácticos del profesor y sobre la materia o el tema a enseñar (Shulman, 1986). Desde su formulación original, el constructo ha sido desarrollado y perfeccionado por diversos educadores (véase una revisión, e.g., en Acevedo, 2009a).

Todos los componentes de este modelo del CDC-NDC están entrelazados y se influyen mutuamente de manera continua (figura 1). Para que se produzca una enseñanza eficaz de la NDC, los profesores deben aprender a integrar estos componentes en un contexto determinado. Esta integración se realiza con reajustes continuos mediante la reflexión en la acción y la reflexión sobre la acción. De este modo, la coherencia entre los seis componentes se va reforzando a medida que un profesor desarrolla su CDC-NDC mediante procesos de reflexión. Este fortalecimiento favorece su integración, que facilita a su vez el crecimiento del CDC-NDC y otros cambios en la práctica docente relativa a la NDC. Si un profesor no es capaz de integrar todos los componentes del modelo de manera coherente, la sola mejora de alguno de ellos puede resultar insuficiente para el avance del CDC-NDC y, por tanto, de una enseñanza de la NDC más adecuada (Acevedo y García-Carmona, 2016a).

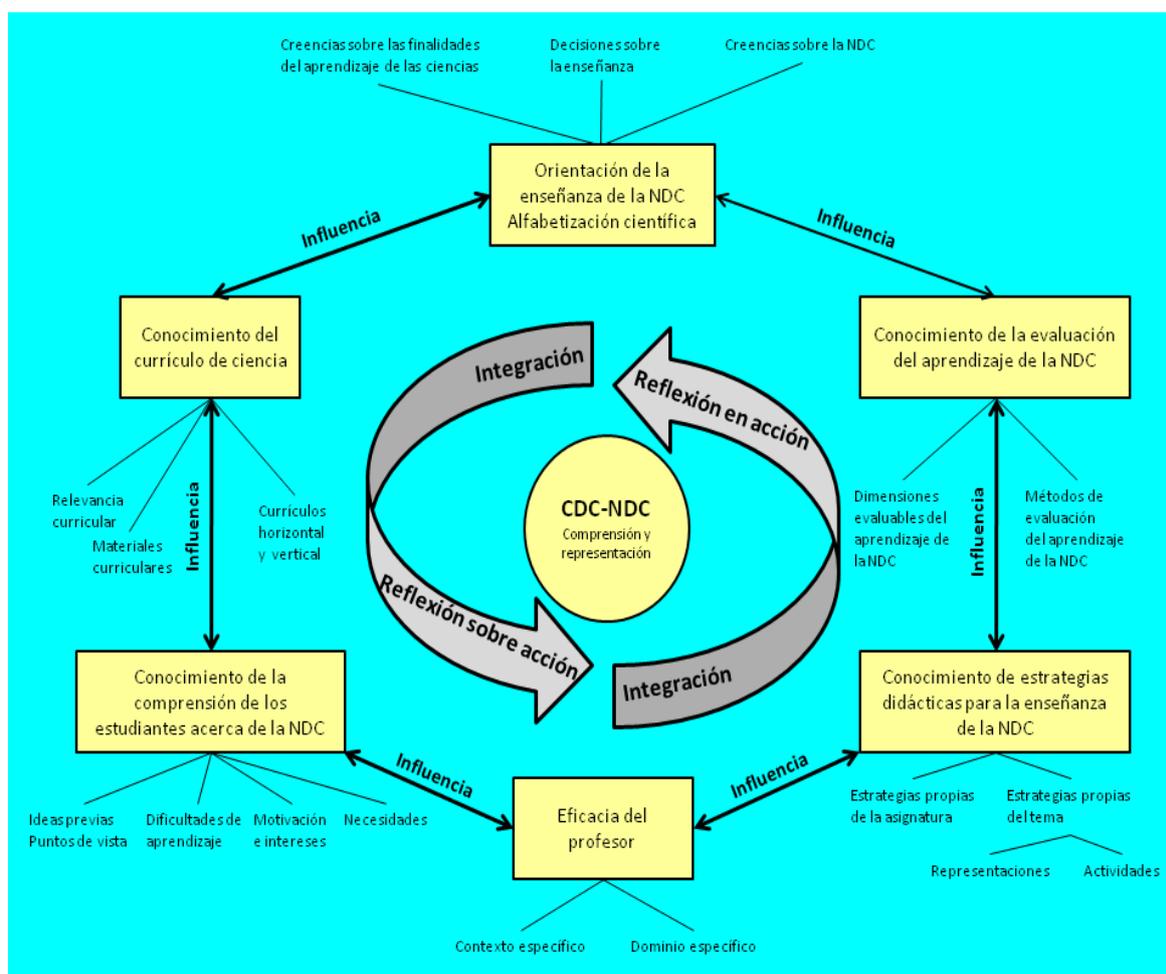


Figura 1. Modelo hexagonal del CDC-NDC.

Asimismo, los seis componentes se corresponden con obstáculos señalados en la tabla 1. Por ejemplo, la eficacia del profesor y su autoconfianza para mantener un clima del aula propicio para el aprendizaje, la apropiación de recursos didácticos variados y la capacidad para gestionarlos adecuadamente, el conocimiento de estrategias didácticas diversas y técnicas de evaluación para impartir contenidos de NDC, etc.

La evaluación del aprendizaje de la NDC es un aspecto clave y controvertido. Si la comprensión de la NDC no se evalúa, entonces profesores y estudiantes la percibirán como un contenido curricular poco valioso, que es uno de los obstáculos señalados en la tabla 1. Sin embargo, la mayoría del profesorado no suele estar familiarizada con la evaluación del aprendizaje de la NDC (dimensiones eva-

luables, métodos e instrumentos de evaluación, etc.), por lo que tiene serias dificultades para evaluar la comprensión de cuestiones de NDC de sus estudiantes; o simplemente ni se plantea evaluarla porque hace alguna alusión a ella de manera anecdótica. Por ejemplo, muchas veces los profesores creen estar evaluando aspectos de NDC cuando lo que evalúan son otras competencias relacionadas con los procedimientos de la ciencia o indagación científica. Sin duda, este desconocimiento es un obstáculo crucial para la implementación eficaz de la NDC en la educación científica (Acevedo, 2009b), tal y como se ha señalado más arriba.

En la evaluación de la comprensión de aspectos sobre NDC, se utilizan escalas de Likert, cuestionarios cualitativos y cuantitativos, mapas conceptuales, producciones de los estudiantes, entrevistas, etc. Como alternativa a los enfoques basados en la evaluación del conocimiento declarativo de la NDC, Allchin (2011) ha sugerido un enfoque en contexto mediante el análisis interpretativo de casos actuales e históricos relacionados con la ciencia. Como se tendrá oportunidad de comprobar más adelante, este es el método de evaluación por el que hemos optado en nuestro proyecto.

Para concluir esta sección, resumiremos las estrategias más habituales para contextualizar la enseñanza de aspectos de NDC:

1. *Enseñanza de la NDC en el seno de indagaciones científicas escolares.* Incluye tareas meta-reflexivas de cuestiones tales como la adecuación del procedimiento experimental usado en la pregunta de indagación formulada; la influencia del procedimiento elegido en los resultados obtenidos; la diferencia entre observación e inferencia; el efecto de la instrumentación empleada en la toma de datos; la diferencia entre datos y evidencias; el papel del conocimiento científico vigente en las inferencias; la coherencia entre las conclusiones y los datos recogidos, etc. (García-Carmona, 2012a).
2. *Enseñanza de la NDC mediante el análisis de casos actuales de sociología de la ciencia.* Favorece la elaboración de argumentos basados en pruebas y conocimientos científicos (Khishfe, 2014; Sadler, Chambers y Zeidler, 2004). Asimismo, resulta de interés el análisis de pruebas contrarias en cuestiones científicas actuales, y de los procesos sociales entre los científicos que se derivan de ello (sociología interna de la ciencia); o respecto a cuestiones socio-científicas controvertidas, tales como el cambio climático, las células madres, etc. (sociología externa de la ciencia). Todo ello porque para argumentar una posición hay que basarse en “indicadores de fiabilidad” a partir de la valoración crítica de diferentes fuentes de información.
3. *Enseñanza de la NDC por medio de la lectura crítica y reflexiva de noticias científicas de los medios* (García-Carmona y Acevedo, 2016b; Huang, Wu, She y Lin, 2014; Shibley, 2003). Un análisis detallado de las potencialidades didácticas de este recurso para enseñar NDC puede consultarse en García-Carmona (2014).
4. *Enseñanza de la NDC mediante el uso de la HDC.* Puesto que la propuesta de nuestro proyecto se basa en este contexto, se abordará con detenimiento en el capítulo siguiente.

### 3. Historia de la ciencia

*“La filosofía de la ciencia sin la historia de la ciencia es vacía;  
la historia de la ciencia sin la filosofía de la ciencia es ciega.”  
(Lakatos, 1987: 11)*

La demanda de integrar la HDC en la educación formal, como primer contexto de inmersión de las personas en la cultura científica, se remonta a la segunda mitad del siglo XIX. Jenkins (1990) menciona que, 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*, 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.”.

Desde entonces, los intentos por introducir la HDC en la educación científica han sido numerosos, apelando a motivos diversos (véase, e.g., McComas, 2013). Así, por ejemplo, hace dos décadas, los *National Science Education Standards* de EE.UU. (NRC 1996) recomendaron la incorporación de la HDC en la educación científica para la mejora de la comprensión de ciertos aspectos de NDC, tales como la naturaleza de las investigaciones científicas, las características del conocimiento científico y los diversos aspectos contextuales relacionados con la sociología de la ciencia (internos y externos a la comunidad científica).

En la presente década, la inclusión de la HDC en el currículo de ciencia escolar es sugerida en los documentos oficiales de diversos países miembros de la Unión Europea. Así, el informe Eurydice (2011) señala que la HDC se recomienda en menos de la mitad de los sistemas educativos europeos para la educación primaria, y en más de la mitad del nivel secundario inferior<sup>18</sup>. Sin embargo, el uso de la HDC para la enseñanza de la NDC no se menciona en ese informe. Por el contrario, en los recientes estándares norteamericanos (NGGS 2013) sí se hace recomendación explícita de la utilización de la HDC como contexto adecuado para aprender NDC. No obstante, la integración de la HDC en las clases de ciencia aún está bastante lejos de ser la deseada (COSCE, 2011; McComas y Kampourakis, 2015).

Desde hace años, la HDC se viene proponiendo como un recurso idóneo para la enseñanza sobre la NDC en la educación científica (e.g., Abd-El-Khalick y Lederman, 2000; Matthews, 2015). No obstante, se ha mostrado que su efectividad requiere plantear de manera explícita a los estudiantes la identificación de aspectos de NDC y una reflexión crítica sobre ellos (Acevedo, 2008, 2009c; McComas, 2008; Rudge y Howe, 2009).

Un enfoque basado en la HDC permite contextualizar de forma explícita la enseñanza de aspectos de NDC (Abd-El-Khalick, 1999; Clough, 2011a,b; Irwin, 2000; Niaz, 2009); por ejemplo, los aspectos relativos a la manera en que los científicos encaran los retos de sus investigaciones, o la labor de la comunidad científica en la construcción y aceptación o rechazo de las ideas científicas. De esta ma-

<sup>18</sup> Hay que tomar estos datos con cautela por dos motivos. Primero, por los cambios que se producen en las orientaciones de los documentos curriculares oficiales (e.g., en España la recomendación es mucho menor ahora que cuando se hizo el informe). Segundo, porque no es igual el currículo que se prescribe que el de los documentos de planificación de los centros educativos, y es más diferente aún que el enseñado realmente en el aula

nera, se ilustran cuestiones epistemológicas, ontológicas y sociológicas vinculadas a la comprensión de la NDC (McComas, 2008), situando el contenido de la ciencia en un contexto humano, social y cultural más amplio (Kolstø 2008). Igual que las grandes obras literarias o artísticas, el conocimiento científico es un producto cultural (Snow, 1977) y, como en ellas, la importancia de sus logros y la comprensión de su naturaleza se ve reforzada por el conocimiento de su contexto histórico (Monk y Osborne, 1997).

El uso de la HDC se suele justificar también por el posible efecto beneficioso para estimular la participación de los estudiantes. En efecto, el empleo de la HDC puede favorecer que los estudiantes piensen y reflexionen sobre el contenido de casos reales de esta, escogidos adecuadamente para tal propósito. Con este fin, se han indicado diversas formas de hacerlo, tales como el uso de viñetas, dramatizaciones, narraciones de controversias, etc. (Stinner *et al.*, 2003). Al respecto, son de especial interés las controversias que han mantenido a lo largo de la HDC los científicos en la construcción del conocimiento científico. Por tanto, nuestra propuesta se basa en el estudio y análisis crítico-reflexivo de textos sobre controversias de HDC.

Una controversia científica es una disputa pública y 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 racionales propios de la ciencia) y no-epistémicos, tales como emociones, rasgos de personalidad, presiones institucionales o de grupos, influencias políticas, rivalidades nacionales, e incluso a veces con casos de fraude. McMullin (1987) 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 atribuya 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. (p. 51)

Este autor establece cuatro tipos de controversias científicas:

1. Controversias en torno a *hechos*, que se originan como consecuencia de los resultados obtenidos y su interpretación.
2. Controversias relativas a *teorías*, que surgen de desacuerdos sobre aspectos teóricos.
3. Controversias referidas a *principios*, que se deben a la confrontación de ciertos aspectos ontológicos y metodológicos subyacentes en toda actividad investigadora.
4. 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 (1971), se reconoce que en la resolución de las controversias científicas, en las que se decide qué conocimiento se acepta y cuál no por las comunidades científicas, también in-

tervienen de manera determinante factores sociales, personales y psicológicos<sup>19</sup>. 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.

Las comunidades científicas intentan resolver las controversias apelando a factores epistémicos (*e.g.*, evidencias e inferencias) que, dentro de lo posible, no estén distorsionados por las creencias personales, ideológicas, políticas o religiosas de los participantes (factores no-epistémicos). Sin embargo, historiadores, filósofos y sociólogos de la ciencia encuentran que la presencia de estos últimos aspectos, en la formación del juicio de una comunidad científica, es difícilmente evitable. 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 o racionales) como no-epistémicos (contextuales, personales y psicológicos), que están relacionados con las dimensiones sociales interna y externa de la ciencia.

Las controversias científicas son esenciales en la construcción del conocimiento científico, porque impulsan el avance de la ciencia y muestran el conflicto como algo connatural a la propia ciencia (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2017). Ponen de manifiesto lo que salió bien y lo que salió mal durante los procesos de su construcción (Moreno, 2006). 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, por tanto, 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).

En consecuencia, para que las personas puedan apropiarse de un conocimiento de la NDC más auténtico y holístico, la educación científica debe tener en cuenta los aspectos epistémicos y los no-epistémicos, tal y como venimos sosteniendo. 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.

Como hemos señalado, de las diferentes formas de utilizar la HDC en la enseñanza de la NDC, la que proponemos en nuestros planteamientos didácticos se basa en la lectura de relatos sobre controversias de HDC, mediante textos elaborados expresamente para ello. El uso didáctico de estas narraciones requiere de una adaptación al contexto educativo para facilitar su comprensión. Pero tales adaptaciones deben ser suficientemente detalladas y lo más rigurosas posible con la HDC, evitando que den lugar a un relato engañoso siguiendo la máxima de “que la realidad no te estropee una buena historia”.

Para ello, los hechos históricos se resumen en parte, pero cuidando que las omisiones que se hagan no conduzcan a una pseudohistoria (Allchin, 2004), evitando así una imagen deformada de la ciencia (Forato, Martins y Pietrocola, 2011). También se debe procurar que las narraciones incluyan, siempre que sea posible, palabras de los propios científicos para resaltar el lado humano de la ciencia y dotar

<sup>19</sup>La obra de Fleck (1986), contraria a la epistemología positivista de su época, es una precursora notable en el giro historicista de la epistemología de la ciencia.

de autenticidad a las ideas de NDC que ilustran (Clough, 2011b). Asimismo, debe evitarse mostrar una visión mítica de los científicos y de la ciencia (Numbers y Kampourakis, 2015), enfatizando unos aspectos, minimizando otros u omitiendo los errores y fracasos, tal y como sucede en los relatos con un tinte hagiográfico (Allchin, 2003). En las narraciones de las controversias de HDC que se presenten, no debería haber héroes y villanos; aunque el lector pueda tener más simpatía por unos científicos que por otros, estos se deben mostrar con sus virtudes y sus defectos, con sus éxitos y sus fracasos (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2017). Por último, tampoco debe promoverse una interpretación anacrónica del pasado, que exagere la importancia de su contribución a la ciencia contemporánea; esto es, dar una visión *whig* de la HDC<sup>20</sup>. Más bien, de lo que se trata es de mostrar la ciencia en el contexto social de su época y los factores contingentes de su desarrollo. De no ser así, se estará transmitiendo la idea falaz de que el progreso de la ciencia hasta nuestros días es acumulativo y lineal (Monk y Osborne, 1997).

### 3.1 Los textos de las narraciones de las controversias de HDC

Entre las cinco áreas principales señaladas en el libro de resúmenes de la reciente *IHPST Biennial Conference 2017* (Özcan, 2017), las dos siguientes están en sintonía plena con la propuesta que hacemos:

- a) La identificación de los métodos de investigación que han conducido a mejoras significativas en la comprensión del papel de la historia y filosofía de la ciencia (HFC), dentro de la educación científica, y la implementación de la enseñanza de la HFC.
- b) El grado en que los resultados de las investigaciones sobre la contribución de la historia, la filosofía y la sociología de la ciencia a la enseñanza de la ciencia dependen de contextos como la cultura, el país, la región, el nivel escolar, el contexto sociológico, la demografía y los recursos utilizados.

La primera es precisamente uno de los objetivos principales de nuestra línea de trabajo. Asimismo, nos parece de especial relevancia la segunda, porque los contextos escolares son muy diferentes en todo el mundo. En este sentido, nuestro trabajo se adapta a la realidad educativa actual en España, tanto respecto a sus peculiaridades como a sus limitaciones. Por tanto, se trata de una propuesta educativa realista que, como se verá más adelante, resulta factible para llevar a las clases de formación inicial del profesorado de ciencia y de la educación científica de los estudiantes de Secundaria.

Para el desarrollo de nuestra propuesta y su implementación en la formación inicial del profesorado de ciencia, hemos preparado cuatro textos de controversias de HDC, los cuales se describen a continuación con brevedad. La elaboración de estas narraciones se ha hecho de acuerdo con los criterios indicados anteriormente. Asimismo, se han adaptado ligeramente tres de ellos para su implementación con estudiantes de educación Secundaria (ESO y Bachillerato).

#### 3.1.1 Semmelweis y la fiebre puerperal

Circa 1840, las mujeres que parían en los hospitales corrían un gran riesgo de muerte por fiebre puerperal. La situación era muy grave cuando Semmelweis entró a trabajar en el Hospital General de Viena, en 1846. Según la etiología oficial de la época, la infección era debida a la transferencia de

<sup>20</sup> 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.

miasmas, que contenían partículas envenenadas, de la exhalación pútrida de una persona enferma a otra sana. Otra teoría médica de entonces era la del contagio, que convivía en armonía con la anterior; incluso se usaba a veces una combinación de ambas para explicar las enfermedades. Según esta teoría, el contagio solo podía provocarlo la misma enfermedad. Pero Semmelweis observó que la fiebre puerperal podía ser transmitida también por otras enfermedades como el carcinoma del útero, por lo que no se trataba de un contagio en el mismo sentido que el de la teoría del contagio.

Tras un intenso trabajo, Semmelweis propuso una práctica clínica basada en la desinfección de las manos mediante un lavado a fondo con una disolución de cloruro de calcio. A pesar de obtener buenos resultados y disminuir notablemente el número de muertes de parturientas, su propuesta no fue aceptada por la comunidad médica.

Se cuestiona la interpretación positivista y empirista del trabajo de Semmelweis. El rechazo de sus ideas se explica mediante factores epistémicos (e.g., carecer de una teoría alternativa; la ausencia de experimentos controlados en el laboratorio; etc.) y no-epistémicos (despreocupación por la comunicación científica; rasgos psicológicos de su personalidad; conflictos con las autoridades médicas y la mayoría de sus colegas; circunstancias políticas y nacionalistas de la época; etc.).

El texto de este relato de HDC, con unas 3000 palabras, se ha publicado en Acevedo, García-Carmona y Aragón (2016c)<sup>21</sup>. La adaptación para estudiantes de Secundaria está disponible en Acevedo-Díaz, García-Carmona y Aragón (2015).

### *3.1.2 La controversia entre Pasteur y Liebig sobre la fermentación*

Durante los siglos XVIII y XIX, algunos químicos intentaron formular la fermentación alcohólica mediante reacciones químicas. Liebig creía 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; es decir, no era un proceso biológico. Consideraba que la fermentación se producía por la transferencia de vibraciones moleculares (movimiento) del fermento (la levadura) a las moléculas de azúcar, que se mantenía mientras hubiera descomposición. Esta interpretación era coherente con la visión mecanicista del mundo, derivada de las contribuciones de Newton, que Lavoisier y otros introdujeron en la Química.

Una alternativa a la interpretación química de la fermentación era la vitalista, que consideraba a la levadura un organismo vivo que se nutre cuando el azúcar fermenta. A partir de esta idea, Pasteur desarrolló su teoría sobre la fermentación, asumiendo que la causa del fenómeno era la actividad biológica de ciertas levaduras (microorganismos). Al contrario que Liebig, consideraba que la levadura era un organismo vivo que participaba en el proceso, y que su acción sobre el azúcar no tenía que ver con procesos de desorganización o putrefacción.

En la controversia entre Pasteur y Liebig sobre la fermentación, se pone claramente de manifiesto la influencia de las creencias teóricas diferentes de ambos científicos con respecto a la interpretación del fenómeno que están observando. Pasteur lo considera un proceso biológico, mientras que Liebig cree que se trata de un proceso químico. Otro factor epistémico que influyó en las interpretaciones

<sup>21</sup> Quizá esta sea la controversia más conocida, pues la prueba de evaluación PISA 2006 incluyó un conjunto de cuestiones sobre la investigación de Semmelweis para valorar la comprensión de algunos aspectos epistémicos de la NDC, en el contexto de este caso histórico. Sin embargo, la narración que se ha elaborado para este proyecto es mucho más rica en información y matices (e.g., incluye varias citas textuales del diario y cartas de Semmelweis) que la utilizada en la prueba PISA, basada esencialmente en la del filósofo positivista Hempel (1973). Por tanto, como se acaba de describir, el texto que aquí se presenta es más propicio para la reflexión y discusión en el aula sobre un número amplio de aspectos epistémicos y no-epistémicos de la NDC.

distintas de ambos científicos sobre la fermentación, fue la manera diferente de clasificar las fermentaciones; más fecunda la de Pasteur. Sin embargo, no pasa inadvertida la influencia de diversos factores no-epistémicos que jugaron a favor de Pasteur en esta polémica, tales como sus habilidades retóricas y estrategias semánticas, en las que era un maestro; la repercusiones sociales, industriales y económicas de su teoría en distintos aspectos prácticos relativos 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; e incluso la influencia del patriotismo nacionalista, cuando Pasteur llegó a apelar a la oposición entre su “ciencia francesa” y la “ciencia alemana” de Liebig, en una época en la que Prusia (Alemania) y Francia eran enemigas.

El texto de la narración de esta controversia de HDC tiene unas 3300 palabras, y ha sido elaborado por Acevedo-Díaz y García-Carmona (2016c).

### 3.1.3 Rosalind Franklin y la doble hélice del ADN

La elucidación de la estructura molecular del ADN por Watson y Crick, en 1953, fue uno de los grandes descubrimientos científicos del siglo XX. Por tal motivo, recibieron, junto a Wilkins, el Premio Nobel de Medicina y Fisiología en 1962. 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, fallecida en 1958 con solo 38 años de edad.

Sin olvidar el trabajo de los científicos laureados con el Nobel, el relato se ocupa de las importantes contribuciones de Franklin a la elucidación de la estructura molecular del ADN mediante cuidadosas técnicas de difracción de rayos X. Se ponen de manifiesto los propósitos distintos de cristalógrafos y genetistas respecto a la elucidación de la estructura del ADN, así como las diferentes metodologías puestas en juego; de base empírica la de Franklin y más teórica, mediante la construcción de modelos hipotéticos, la de Watson y Crick.

Asimismo, salen a la luz otras cuestiones de la práctica científica real, ligadas a aspectos no-epistémicos, tales como las tensiones y falta de colaboración entre Franklin y Wilkins frente al gran espíritu de colaboración que mostraron Watson y Crick, dando lugar a un resultado científico más fructífero; la falta de ética de Watson y Crick al usar datos de Franklin sin su conocimiento y sin el reconocimiento debido; o las posibles dificultades que tuvo Franklin por el hecho de ser mujer en la ciencia de la época.

El texto de este caso de HDC, con unas 4300 palabras, está publicado en Acevedo-Díaz y García-Carmona (2016b). Asimismo, está disponible una adaptación para estudiantes de Secundaria (Acevedo-Díaz, García-Carmona y Aragón, 2016b).

### 3.1.4 La controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea

Durante siglos se creyó 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; e.g., 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 esta teoría. La creencia en la *generación espontánea* se revitalizó más adelante 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 los caldos de cultivo.

A principios del siglo XIX, Lamarck defendió la generación de organismos primitivos a partir de los cuales comenzaron las distintas líneas evolutivas (teoría transformista). Se produjo entonces un debate prolongado entre partidarios y contrarios a la generación espontánea asociada al transformismo. En esta controversia, no solo se dieron argumentos científicos, sino religiosos, filosóficos y políticos de carácter nacionalista. En 1859, Pouchet publicó un extenso tratado de su teoría sobre la generación espontánea, a la que llamó heterogénesis, la cual permitía explicar las discontinuidades y rupturas en las formas de vida después de las catástrofes geológicas. Pasteur era contrario a la generación espontánea, y se enfrentó a Pouchet en un largo y agrio debate entre 1859 y 1864.

Se muestra, pues, la controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea y los famosos experimentos involucrados en ella. En esta polémica no solo intervinieron los científicos, sino también filósofos, teólogos, políticos, periodistas y la ciudadanía en general, que influyeron de un modo u otro con mucha pasión. Se pone así de manifiesto la influencia de factores epistémicos y numerosos factores no-epistémicos en la controversia.

El texto de esta controversia de HDC tiene unas 3200 palabras, y fue elaborado por Acevedo-Díaz, García-Carmona y Aragón (2016a). También hay disponible una versión adaptada para estudiantes de Secundaria (Acevedo-Díaz, García-Carmona y Aragón, 2016b).



## 4. Aspectos de la naturaleza de la ciencia abordados con los textos de historia de la ciencia utilizados en el proyecto

Los textos de las controversias de HDC de nuestro proyecto permiten plantear diversas cuestiones sobre aspectos epistémicos y no-epistémicos de NDC, reconocibles en las narraciones.

**Tabla 2. Total de aspectos de NDC abordados en las cuatro controversias.**

Aspectos epistémicos: naturaleza de los procedimientos de la ciencia	Aspectos epistémicos: naturaleza del conocimiento científico
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Observación e inferencia.</li> <li>2. Metodologías científicas.</li> <li>3. Papel de las hipótesis.</li> <li>4. Creatividad e imaginación.</li> <li>5. Papel de la experimentación en la ciencia.</li> <li>6. Papel de los errores en el desarrollo de la ciencia.</li> <li>7. Influencia de las creencias personales, actitudes y habilidades de los científicos.</li> <li>8. Papel de los esquemas de clasificación.</li> <li>9. Interés de las controversias científicas para el avance de la ciencia.</li> <li>10. Diseños de investigación y resultados experimentales.</li> <li>11. Influencia de la especialidad del científico en la planificación y desarrollo de una investigación científica.</li> <li>12. Pregunta que dirige la investigación y objetivos perseguidos.</li> <li>13. Modelos y modelización en la ciencia.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Características de las teorías científicas.</li> <li>2. Diferencias entre leyes y teorías científicas.</li> <li>3. Diferencias en la interpretación científica de un mismo fenómeno.</li> <li>4. Provisionalidad de las teorías científicas.</li> <li>5. Dominancia de algunas teorías científicas sobre otras.</li> <li>6. Carácter tentativo y dinámico del conocimiento científico.</li> </ol>
Aspectos no-epistémicos: factores internos a la comunidad científica	Aspectos no-epistémicos: factores externos a la comunidad científica
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Papel de la comunicación científica.</li> <li>2. Relaciones profesionales dentro de la comunidad científica.</li> <li>3. Personalidad del científico.</li> <li>4. Relaciones personales entre científicos.</li> <li>5. Papel de la comunidad científica en la aceptación de las teorías científicas.</li> <li>6. Habilidad retórica y estrategias semánticas para persuadir de las ideas propias.</li> <li>7. Cooperación científica.</li> <li>8. Competitividad científica.</li> <li>9. Aspectos morales y éticos.</li> <li>10. Influencia del género.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Influencia de la política en la ciencia.</li> <li>2. Influencia del patriotismo nacionalista.</li> <li>3. Contexto histórico, social y cultural.</li> <li>4. Apoyo político a la investigación.</li> <li>5. Apoyo económico a la investigación.</li> <li>6. Influencia de la sociedad en la ciencia.</li> <li>7. Influencia de la ciencia en la sociedad.</li> <li>8. Impacto de la ciencia en asuntos socio-económicos.</li> <li>9. Ciencia y religión.</li> <li>10. Papel de la prensa en la divulgación de la ciencia.</li> </ol>

Tales aspectos de NDC se indican en la tabla 2. Por un lado, 19 epistémicos organizados en dos grupos (13 sobre naturaleza de los procedimientos de la ciencia y 6 relativos a la naturaleza del conocimiento científico); y, por otro, 20 no-epistémicos, clasificados en 10 factores internos y 10 externos a la comunidad científica. Cabe destacar que, si bien no es una lista exhaustiva de aspectos para caracterizar la NDC<sup>22</sup>, presenta un número de aspectos epistémicos y no-epistémicos más equilibrada que otras propuestas consultadas en la bibliografía internacional.

<sup>22</sup> Es posible que otras controversias de HDC permitan también el abordaje de otros aspectos distintos de NDC (e.g., precisión e incertidumbre; idealización; matematización; serendipia; simplicidad, elegancia y belleza; ciencia y tecnología; responsabilidad social de los científicos; empoderamiento social de la ciencia; ciencia y arte; etc.).

Diecinueve revisores anónimos (RA) han validado la relevancia de abordar los aspectos epistémicos y no-epistémicos de NDC compilados en el listado de la tabla 1, contextualizados en las controversias correspondientes. Ello se debe a que los trabajos sobre las controversias de HDC (algunos de ellos correspondientes a estudios de su implementación en las clases de ciencia) han sido revisados, mediante procesos de evaluación por pares anónimos, y publicados como artículos en cinco revistas diferentes de educación científica (13 RA) y comunicaciones en dos Congresos Internacionales (6 RA). Un resumen de algunos datos sobre la relevancia de las revistas donde se han publicado estos artículos son los siguientes:

*Science & Education*: Web of Science (Thomson Reuters) - JCR (History & Philosophy of Science): Q1; SCOPUS/SciMAGO – SJR (Education): Q1; ERIH PLUS.

*Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*: Emerging Sources Citation Index (Thomson Reuters); SCOPUS/SciMAGO – SJR (Education): Q3; ERIH PLUS.

*Revista Científica*: Emerging Sources Citation Index of Web of Science (Thomson Reuters); ERIH PLUS.

*Ciência & Educação*: SciELO Citation Index de la Web of Science (Thomson Reuters); Categoría A1 (máxima) en Qualis Capes (Ministerio de Educación de Brasil).

*Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*: indexada en SciELO Argentina; cumple 35 de los 36 criterios Latindex.

Por último, conviene aclarar que las cuestiones que proponemos en cada estudio se han seleccionado siempre teniendo en cuenta el contenido específico del texto de la narración de la controversia de HDC empleado, y no a partir de una lista de aspectos de NDC elaborada por algún educador o investigador en particular. Aun así, la gran mayoría de ellas son coherentes con las propuestas en la bibliografía internacional por diferentes educadores de ciencia<sup>23</sup>. Este modo de proceder en la selección de cuestiones de NDC es similar, aunque no idéntico, al seguido por Clough (2011b) en su proyecto *The Story Behind the Science*<sup>24</sup>.

<sup>23</sup> A pesar de reconocer que existen consensos sobre la NDC, Clough (2011a) se ha mostrado disconforme con que se consideren como una lista de principios o dogmas. No niega que exista cierto consenso sobre la NDC para la educación científica, pero su preocupación es que los principios pueden ser distorsionados por investigadores, profesores y estudiantes. Como todos los demás conocimientos científicos, los principios de NDC pueden convertirse fácilmente en un conocimiento declarativo; esto es, en algo que debe ser transmitido en vez de investigado en las clases de ciencia. Sin embargo, lo que se pretende no es adoctrinar sino explorar la NDC en forma de preguntas, de modo que profesores y estudiantes lleguen a comprender con más profundidad la NDC y su naturaleza contextual. Para ello, Clough (2011a) recomienda transformar los principios de NDC en preguntas sobre aspectos de NDC.

<sup>24</sup> Véase <https://www.storybehindthescience.org>

## 5. Aspectos metodológicos generales

En este capítulo exponemos los aspectos metodológicos de la investigación. Para ello, se describirán (i) la estrategia de implementación de las controversias en las clases de ciencia, (ii) el sistema de evaluación establecido para valorar la comprensión de los estudiantes sobre aspectos de la NDC en el contexto de las controversias de HDC que usamos, y (iii) las principales características de la metodología cualitativa aplicada en los estudios realizados.

### 5.1 Metodología seguida en la implementación de las controversias

Inspirados en la práctica científica real, en la implementación de las controversias en las clases de ciencia asumimos los siguientes *principios pedagógicos*:

- Si los científicos de hoy suelen trabajar en equipo, ¿por qué no han de hacerlo nuestros estudiantes? No es un obstáculo para el aprendizaje que pudiera haber un líder en los equipos de trabajo de los estudiantes; ¿acaso no lo hay también a menudo en los equipos de científicos? Nadie debería rasgarse las vestiduras por ello.
- Si los miembros de un equipo científico discuten sus ideas entre ellos (e.g., en seminarios), ¿no debería darse también una oportunidad de hacer algo similar a nuestros estudiantes? Con ello se contribuye a que valoren las ideas de los demás compañeros, intenten consensuar con razonamientos las ideas más representativas del grupo, y también el derecho a discrepar con buenos argumentos.
- Si los miembros de un equipo científico comunican sus ideas a otros científicos en congresos, ¿no resulta adecuado que también lo hagan nuestros estudiantes en una sesión en gran grupo? Con ello aprenden a exponer las ideas propias, intentar rebatir las posibles críticas de otros, escuchar las ideas de los demás y valorarlas, etc.
- Si los científicos realizan informes para comunicar sus resultados con los mejores argumentos posibles, ¿por qué no deberían hacer algo parecido nuestros estudiantes? Aprender a escribir sobre cuestiones científicas motivando las respuestas debe ser uno de los objetivos de la educación científica.
- Los errores son algo común en la investigación científica. Si los científicos pueden llegar a concebir sus errores como una oportunidad para reconducir o refinar sus investigaciones, ¿no deberían nuestros estudiantes tener la posibilidad de tomar conciencia de sus propios errores como algo difícilmente evitable, pero que les permiten aprender a partir de ellos? Se trata así de superar la idea negativa del error como un fracaso en el aprendizaje de la ciencia.

De acuerdo con tales principios, la clase se organiza con los estudiantes distribuidos en grupos de trabajo pequeños. La intervención educativa se desarrolla en tres fases consecutivas que se detallan, de forma sintetizada, en la tabla 3.

Las respuestas de los grupos a las cuestiones de NDC se deberán motivar en relación con el contenido del texto de la narración de HDC. Asimismo, estas deben emanar de una discusión reflexiva y consensuada entre los miembros del grupo. Si hubiera puntos de vista divergentes, que imposibilitaran consensuar una respuesta común, se pueden expresar las distintas posiciones razonadas del grupo ante una misma pregunta.

Durante la puesta en común, el papel del educador es moderar el debate entre los grupos, e introducir aquellas aclaraciones y preguntas que lo enriquezcan lo máximo posible. La intención es que se llegue a conclusiones comunes sobre los aspectos de NDC tratados, pero sin adoctrinamiento; es decir, sin imponer a los estudiantes visiones que pudieran ser más adecuadas o completas. En este sentido, y ante posibles ideas sobre NDC que pudieran estar demasiado alejadas de las que actualmente son más aceptadas, el educador procurará generar conflictos cognitivos para que los estudiantes se replanteen libremente sus puntos de vista.

**Tabla 3. Fases de desarrollo de la implementación de la actividad educativa.**

1) Lectura del texto de la controversia de HDC, sin mediar enseñanza previa, y respuestas de los grupos a las cuestiones de NDC planteadas. Cada grupo elabora un informe en el que registra sus respuestas, el cual se entregará al educador como primer documento para la evaluación.
2) Puesta en común con todos los grupos, dirigida y moderada por el educador, en la que se debaten las respuestas de los informes iniciales de cada grupo.
3) Conclusiones finales de los grupos tras la sesión anterior, que se concretan en un informe en el que se reafirmarán, completarán, matizarán o reelaborarán, según proceda, sus respuestas y argumentos iniciales. Este informe se entregará al educador como segundo documento para la evaluación.

En el caso de la formación inicial de profesorado de ciencia, cabe la posibilidad de que la moderación del debate en gran grupo se comparta entre el educador y un estudiante de profesorado. La razón es doble. Por una parte, la moderación de debates es una tarea que se supone que los futuros profesores deberán desempeñar como docentes. Por otra, permite que el educador se distancie algo de la gestión del debate y pueda centrarse mejor en tomar notas de las intervenciones, tanto para reconducir la discusión, en caso necesario, como para la evaluación posterior. Asimismo, se recomienda hacer una grabación de esta sesión en gran grupo, siempre que sea posible, para tener registrado el mayor número de detalles sobre lo acontecido en la misma con vistas a la evaluación.

Al final de la actividad, es interesante realizar una sesión con todos los participantes para que valoren su pertinencia, lo que han aprendido y la metodología de trabajo empleada, entre otros aspectos.

En los estudios que constituyen los próximos capítulos no repetiremos los aspectos metodológicos generales comunes a todas las implementaciones que acabamos de exponer. Solo se aludirá a algunos detalles concretos que pudieran haberse aplicado y no estén contemplados en lo que se ha descrito aquí.

### *5.2 Metodología usada en la evaluación de las respuestas de NDC*

La evaluación de las respuestas de los grupos a las cuestiones de NDC se realiza con un enfoque interpretativo riguroso, que no es muy habitual en el caso del aprendizaje de NDC. Esta metodología es una alternativa a las evaluaciones de la NDC realizadas con un enfoque declarativo, que están basadas en una lista de principios sobre NDC. Como hemos adelantado, Allchin (2011) ha sugerido este mismo tipo de enfoque de análisis interpretativo en el contexto de casos actuales e históricos de la ciencia: “*La evaluación modifica el enfoque de carácter declarativo a otro basado en un análisis funcional (o interpretativo).*” (p. 518). Sin embargo, no conocemos hasta ahora ningún ejemplo de su utilización en investigaciones empíricas sobre NDC.

Nuestra metodología de evaluación se desarrolla a partir del análisis inter- e intra-evaluadores de los informes de los participantes, por medio de rúbricas en las que se detallan los niveles de progresión de los participantes para cada aspecto de NDC tratado. Las rúbricas tienen 5 niveles (0 a 4). El nivel más alto (nivel 4) corresponde a las respuestas más completas, motivadas con citas adecuadas de los aspectos de NDC planteados, que son aludidos en la narración de HDC. La clasificación de las

respuestas va decreciendo de nivel, de acuerdo con lo incompletas que sean, hasta llegar al nivel más bajo (nivel 0), en donde se ubican las que son inadecuadas o no se refieren a ninguno de los rasgos indicados en el nivel 4 (Acevedo-Díaz, García-Carmona y Aragón, 2017a).

Puesto que la evaluación de los aspectos de NDC abordados está contextualizada en el contenido de cada uno de los textos de HDC empleados, los descriptores necesarios para establecer los niveles de progresión de las rúbricas hacen referencia necesariamente a la narración de cada controversia de HDC. El proceso de diseño de las rúbricas de evaluación ha sido el siguiente: uno de los investigadores del estudio elabora una primera versión de la rúbrica a partir del texto de la narración de HDC y de un análisis preliminar de las respuestas de los grupos, teniendo en cuenta, además, las diversas perspectivas actuales sobre NDC. A continuación, la propuesta se analiza por los otros investigadores para su valoración y determinación de acuerdos y desacuerdos. Los desacuerdos se someten a discusión entre los investigadores con el propósito de lograr un consenso. Todo ello, supone que la rúbrica se reescriba varias veces hasta conseguir una versión definitiva en la que el significado de los descriptores sea unívoco para todos los investigadores. En los estudios que se desarrollan en los próximos siete capítulos, se mostrarán las rúbricas de evaluación correspondientes.

El procedimiento seguido para la categorización de las respuestas de los estudiantes en los niveles correspondientes ha sido deductivo; es decir, los diferentes descriptores de las categorías se establecieron *a priori*, siendo función de los investigadores identificar y asignar las unidades de análisis (fragmentos de los informes escritos) en esas categorías ya establecidas.

### 5.3 Principales características de la metodología cualitativa seguida en los estudios realizados

La investigación cualitativa suele ser (i) holística, (ii) descriptiva, (iii) interpretativa, y (iv) aplica criterios especiales de validación y fiabilidad (*credibilidad, transferibilidad, dependencia y confirmabilidad*) en el análisis de los datos (Latorre, 2003; Lincoln y Guba, 1985). En nuestros siete estudios, se cumple con el primero (credibilidad) y el último (confirmabilidad).

El criterio de credibilidad se refiere a que las interpretaciones de los investigadores son creíbles y aceptables. Es el correspondiente en la investigación cualitativa al criterio de validez interna de la investigación cuantitativa. La *credibilidad interna* es el grado de concordancia entre varios investigadores participantes cuando estudian el mismo fenómeno; un criterio que se ha empleado con profusión en los estudios realizados. Cuanto mayor es el consenso, más alta es la credibilidad y la consistencia del estudio. La *credibilidad externa* se logra cuando investigadores externos a la investigación llegan a los mismos resultados al replicar un estudio; lo que está relacionado con el criterio de transferibilidad. Los criterios de credibilidad empleados han sido:

- Permanencia del investigador en el aula, que proporciona mayor garantía y verosimilitud a los datos recogidos, a la vez que permite profundizar en aquellos aspectos más característicos de la situación.
- Recogida de datos mediante informes escritos y grabaciones de audio.
- Utilización de categorías descriptivas de bajo nivel de inferencia; es decir, lo más concretas y precisas posible.
- Comentarios de pares por medido del sometimiento de los datos recogidos e interpretaciones realizadas al juicio crítico de otros investigadores y colegas.

Ligado al anterior, el criterio de *confirmabilidad* se corresponde con el de objetividad en la investigación cuantitativa. La aplicación de este criterio garantiza que los datos, interpretaciones y conclusio-

nes de la investigación no están sesgados por las opiniones, creencias o prejuicios de los investigadores. Los procedimientos de confirmabilidad empleados han sido:

- Explicación de la posición de los investigadores.
- Práctica reflexiva y crítica.
- Uso de descriptores de baja inferencia.
- Recogida sistemática de los datos.
- Posibilidad de revisión por agentes externos.

El criterio de *transferibilidad* es el equivalente al de generabilidad en la investigación cuantitativa. Es necesario decir que la generabilidad no es posible en investigaciones educativas como las que se han realizado en este proyecto, porque son estudios de caso con muestras de participantes no representativas. No obstante, de acuerdo con Elliot (2000), este criterio se puede cumplir parcialmente en la medida en que los resultados obtenidos puedan ser considerados como fuente de reflexión y orientación a otros investigadores, con vistas a plantearse investigaciones cualitativas similares. Consideramos que en los estudios realizados se da información suficiente, rigurosa y precisa para que ello sea posible.

Por último, el criterio de *dependencia*, se refiere a la replicabilidad por el mismo investigador, o equipo de investigadores, de los resultados en circunstancias similares. De otra forma, si se observa cierta estabilidad en los datos recogidos cuando la investigación se repite. Aunque se han aplicado tres de las controversias dos veces, no se ha cumplido con este criterio porque se ha hecho en niveles educativos diferentes.

## 6. Estudio de la implementación del caso Semmelweis y la fiebre puerperal en Secundaria

Se presenta un estudio cualitativo e interpretativo acerca de la comprensión de diversos aspectos epistémicos y no-epistémicos de NDC, a partir de un análisis del caso de HDC sobre Semmelweis y la fiebre puerperal<sup>25</sup>. La actividad se implementó, durante el curso 2015-16, en 4º curso de Educación Secundaria (15-16 años) con un enfoque explícito y reflexivo.

### 6.1 Preguntas que dirigen la investigación

El estudio se concretó en responder a las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Qué ideas tienen los estudiantes participantes sobre los aspectos de NDC tratados tras una primera lectura reflexiva del caso histórico?
2. ¿Qué cambios se producen en las ideas de los estudiantes participantes sobre los aspectos de NDC abordados una vez concluida la actividad?

### 6.2 Aspectos contextuales de la investigación

#### 6.2.1 Descripción de la actividad

La actividad, que se desarrolló en cuatro sesiones, propone la lectura de una narración histórica de la investigación de Semmelweis sobre la fiebre puerperal, y una reflexión sobre aspectos de NDC incluidos en ella. El texto de la narración se ha descrito con anterioridad brevemente en la sección 3.1.1. Este caso tiene interés didáctico para aprender NDC, y los contenidos científicos implicados en el mismo son relativamente asequibles para estudiantes de 4º curso de Educación Secundaria (15-16 años). Suele despertar interés y permite el análisis de aspectos epistémicos y no-epistémicos de la investigación científica. Su temática no guarda relación con los contenidos específicos de la materia de Física y Química, por lo que se planteó como una actividad transversal sobre la investigación científica.

#### 6.2.2 Participantes

La actividad fue implementada por la coautora con un grupo de 18 estudiantes del citado nivel, en la asignatura de Física y Química, de un Instituto de Enseñanza Secundaria urbano de nivel sociocultural medio. Los alumnos trabajaron en grupos pequeños (5 grupos con 3 o 4 alumnos), de acuerdo con los principios pedagógicos en los que se basa la propuesta didáctica.

#### 6.2.3 Objetivos de la actividad

Con esta actividad, se pretende el aprendizaje de los siguientes aspectos de NDC:

1. Identificar observaciones e inferencias, y sus diferencias.
2. Reconocer los principales rasgos de la metodología de investigación científica.
3. Reconocer muestras de creatividad y originalidad en los científicos.
4. Diferenciar entre hipótesis y teoría.

<sup>25</sup> Este estudio se ha publicado en *Revista Científica* (Aragón-Méndez, García-Carmona y Acevedo-Díaz, 2016).

5. Detectar factores epistémicos y no-epistémicos que dieron lugar al rechazo de las ideas de Semmelweis.
6. Valorar la importancia de los factores que influyeron más en el rechazo del conocimiento científico.

#### 6.2.4 Cuestiones de NDC planteadas.

Las cuestiones planteadas para reflexionar sobre los aspectos de NDC abordados en la actividad se indican en la tabla 4.

**Tabla 4. Cuestiones de NDC planteadas para el caso.**

C1. ¿Cuáles crees que fueron las observaciones realizadas por Semmelweis y cuáles crees que fueron sus inferencias en la investigación científica?
C2. ¿Cuáles crees que son las principales características de la metodología de investigación de Semmelweis?
C3. ¿Crees que Semmelweis fue original y creativo en su investigación? ¿Por qué?
C4. ¿Crees que la hipótesis de Semmelweis llegó a convertirse en una teoría? ¿Por qué?
C5. ¿Qué factores crees que influyeron negativamente en la aceptación de las propuestas de Semmelweis? ¿Por qué?
C6. ¿Cuáles de los factores anteriores crees que influyeron más?

#### 6.2.5 Evaluación de la comprensión de los aspectos de NDC abordados

Además de los informes elaborados por los grupos, la profesora usó como instrumento complementario de evaluación un diario, donde registró detalles de la puesta en común realizada durante la sesión en gran grupo.

La rúbrica se preparó de acuerdo con lo indicado en la sección 5.2 del capítulo 5. Los niveles de aprendizaje para cada uno de los aspectos de NDC, y los descriptores correspondientes, se recogen en la tabla 5.

Para asignar un determinado nivel de aprendizaje a las respuestas de los equipos, los autores siguieron el método de análisis basado en la consecución de acuerdos inter- e intra-evaluadores. En total, hubo 87 coincidencias de 90 posibles (96,7%) para los niveles iniciales en una primera ronda. Para los niveles finales, hubo 89 coincidencias (98,9%) en la primera ronda. El acuerdo fue total en ambos casos en segunda ronda. Esto es indicativo de que la categorización establecida es suficientemente unívoca, por lo que se considera que el instrumento de evaluación de aprendizaje de aspectos de NDC desarrollado es potencialmente fiable.

**Tabla 5. Rúbrica de evaluación de aspectos de NDC en el contexto del caso Semmelweis sobre la fiebre puerperal.**

Aspectos de NDC	Nivel 4	Nivel 3	Nivel 2	Nivel 1	Nivel 0
C1. Observación e inferencia	Indica la mayoría de las observaciones. Indica la mayoría de las inferencias. Relaciona ambas adecuadamente. Diferencia ambas adecuadamente.	Cumple de manera adecuada tres de los cuatro requisitos del nivel 4.	Cumple de manera adecuada dos de los cuatro requisitos del nivel 4.	Cumple de manera adecuada uno solo de los requisitos del nivel 4.	No cumple de manera adecuada ninguno de los requisitos del nivel 4.
C2. Rasgos de la metodología de investigación científica	Indica: La realización de observaciones. El análisis de datos. La formulación de hipótesis. La comprobación de hipótesis.	Indica de manera adecuada tres características del nivel 4.	Indica de manera adecuada dos características del nivel 4.	Indica de manera adecuada una característica del nivel 4.	No indica ninguna característica del nivel 4, o bien no lo hace de manera adecuada.

C3. Creatividad y originalidad	Indica que fue creativo, aportando más de dos razones, y no muestra ideas erróneas sobre el proceso de investigación.	Indica que fue creativo, aportando dos razones, y no muestra ideas erróneas sobre el proceso de investigación.	Indica que fue creativo y aporta una razón, sin mostrar ideas erróneas sobre el proceso de investigación.	Indica que fue creativo y aporta una o más razones, pero muestra ideas erróneas sobre el proceso de investigación.	No se indica que fuera creativo. O bien, aunque indique que lo fue, no se dan razones.
C4. Hipótesis y teorías	Indica que la hipótesis no llegó a convertirse en teoría científica porque no explicaba la naturaleza de la materia putrefacta, ni tampoco su relación causal con la fiebre puerperal.	Indica que la hipótesis de Semmelweis no llegó a convertirse en teoría científica, pero la justificación que da es solo una de las dos señaladas en el nivel 4.	Indica que la hipótesis de Semmelweis no llegó a convertirse en teoría científica, pero la justificación que da es simple.	Indica que la hipótesis de Semmelweis no llegó a convertirse en teoría científica, sin dar alguna justificación o es muy ingenua.	Indica que la hipótesis de Semmelweis llegó a convertirse en teoría científica, y lo justifica de manera ingenua.
C5. Factores epistémicos y no-epistémicos (contextuales) de rechazo	Indica cuatro factores, entre los que hay epistémicos y contextuales, con argumentos razonados.	Indica tres factores, entre los que hay epistémicos y contextuales, con argumentos razonados.	Indica dos factores epistémicos o contextuales, con argumentos razonados.	Indica un solo factor contextual o epistémico, con o sin argumentos razonados.	No se indica ningún factor.
C6. Valoración de factores de aceptación o rechazo	Indica al menos dos factores epistémicos y dos contextuales, dando argumentos válidos.	Indica un factor epistémico y uno contextual, dando argumentos válidos.	Indica un solo factor, epistémico o contextual, con argumentos válidos.	Indica algún factor, epistémico o contextual, sin argumentar.	No indica ningún factor, o bien cita alguno pero no da argumentos válidos.

### 6.3 Resultados

A continuación se describen y analizan los resultados obtenidos, con atención a la evolución de los niveles de aprendizaje logrados a partir de la comparación de las ideas iniciales y finales, expresadas por cada grupo, sobre los aspectos de NDC abordados (figura 2).

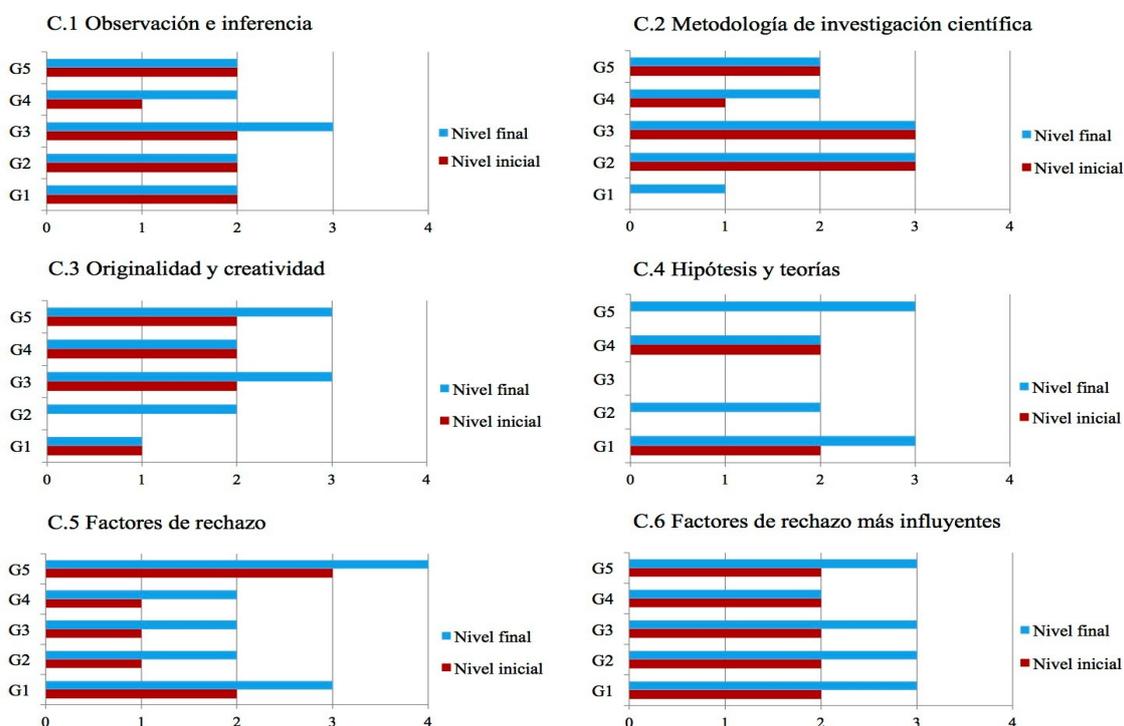


Figura 2. Evolución de niveles de aprendizaje para los aspectos de NDC abordados.

#### 6.3.1. Identificación de observaciones e inferencias, y sus diferencias

La profesora tuvo que aclarar el significado del término inferencia porque ningún estudiante conocía su significado. Después de la lectura, todos los grupos detectaron observaciones e inferencias, aun-

que fueron pocas en comparación con las que aparecen en el texto. Además, las explicaciones dadas mostraron que diferenciaban unas de otras, a excepción de un grupo. Cuatro grupos (G1, G2, G3 y G5) se situaron en el nivel 2 y uno (G4) en el nivel 1.

En la segunda fase de la implementación (puesta en común de las respuestas iniciales), se profundizó en la caracterización de ambos términos. Para favorecer la discusión, la profesora planteó dos preguntas: ¿todos los médicos observaban lo mismo?, y ¿todos los médicos inferían lo mismo? Algunos estudiantes comenzaron la discusión indicando que todos los médicos hacían las mismas observaciones sobre las muertes de las mujeres y las circunstancias que las rodeaban; pero que no todos realizaban las mismas inferencias. Incluso varios estudiantes apuntaron el hecho de que las observaciones realizadas por los científicos no coinciden en ocasiones, aunque no ocurriera así en este caso. También se procuró centrar la atención en otras observaciones e inferencias que no fueron explicitadas en el informe inicial. Para ello, se preguntó por las observaciones realizadas antes de la investigación de Semmelweis, las que fueron fruto de su investigación, y otras que surgieron de hechos paralelos.

En el informe final, tras la tercera fase, cuatro grupos indicaron más observaciones e inferencias, pero aun así insuficientes para considerar que hubo progresión en tres de ellos. Asimismo, las explicaciones del grupo que no diferenciaba entre observación e inferencia fueron mejores. Cuatro grupos mejoraron su comprensión del concepto de inferencia. Por ejemplo, G1 señaló que: *“Aunque los otros médicos podían ver lo mismo, no hicieron las mismas inferencias. Klein pensaba que había otras causas que provocaba que se muriesen más mujeres en el primer pabellón.”* Y G5 extrajo conclusiones más generales sobre la subjetividad de las inferencias: *“Si las inferencias que hacen los científicos son diferentes, puede que algunas de las teorías actuales no sean ciertas y haya alguien más adelante que haga inferencias diferentes.”*

Al final, cuatro grupos (G1, G2, G4 y G5) se situaron en el nivel 2 y uno (G3) en el nivel 3. Se produjo, pues, una mejora pequeña en la comprensión de la naturaleza de las observaciones e inferencias, aunque se identificaron un mayor número de estas en la narración.

### 6.3.2. Reconocimiento de los principales rasgos de la metodología de investigación científica

Se pretendía que los estudiantes identificasen cuatro rasgos de la metodología de investigación empleada por Semmelweis: la realización de observaciones, el análisis de los datos disponibles, la formulación de hipótesis para responder a interrogantes y la comprobación de hipótesis mediante pruebas experimentales (tabla 5).

Tras la primera lectura, un grupo (G1) no detectó ninguna característica de la metodología de Semmelweis; del resto de grupos, uno (G4) identificó una característica, otro (G5) reconoció dos, y dos (G2 y G3) detectaron tres.

En la segunda fase, los grupos expusieron sus ideas sobre la metodología seguida por Semmelweis. La principal dificultad fue la capacidad de generalizar; esto es, de expresar en qué consistía la metodología sin necesidad de detallar lo que Semmelweis hizo en concreto. Además, algunos estudiantes identificaban el método de Semmelweis con la manera de examinar a las parturientas, en vez de con la metodología de sus investigaciones. Esto pudo deberse a que no tuvieran una idea formada del concepto de metodología científica, y prestaran más atención a la práctica médica de Semmelweis que a su procedimiento de investigación. Las preguntas de la profesora durante la segunda fase se dirigieron a centrar la atención de los estudiantes en esto, incidiendo más en el *cómo* que en el *qué* de la investigación. También les preguntó si creían que todas las investigaciones se hacían del mismo

modo. Algunos dijeron que siempre habría que comprobar las hipótesis, pero la mayoría no supo qué responder. La finalidad era reflexionar sobre el hecho de que no existe un método único en la investigación científica, y que solo se estaba analizando un caso.

En la fase final se apreció una mejora pequeña respecto a las dificultades descritas antes, con la progresión de dos grupos hacia ideas mejor informadas. Centraron su atención en la investigación de Semmelweis y se expresaron de una forma más general sobre esta, aunque ningún grupo llegó a identificar todos los rasgos de su metodología. Todos los grupos se refirieron a la comprobación de hipótesis. Por ejemplo, G1, que inicialmente no había detectado ningún rasgo de la investigación, señaló que Semmelweis *“Iba comprobando una a una las suposiciones que hacía para comprobar si eran ciertas o no.”*; y G4, que en la fase inicial solo aludió al tratamiento estadístico de datos, apuntó que *“Empezó a buscar por qué se morían y fue probando poco a poco, cosa por cosa hasta que encontró por qué.”*

Otro aspecto que reconocieron mayoritariamente fue el análisis de datos, posiblemente influidos por la presencia en el texto de una gráfica que compara la mortalidad entre el primer y segundo pabellón. Aunque durante la discusión todos los grupos comentaron que Semmelweis hacía continuamente suposiciones buscando la razón por la que se morían las mujeres, solo uno citó la formulación de hipótesis como un rasgo de la investigación; aunque todos se refirieron a su comprobación.

### 6.3.3. Reconocimiento de muestras de creatividad y originalidad

Se esperaba que, después de la actividad, los estudiantes citasen muestras de creatividad y originalidad en el trabajo de Semmelweis, tales como: la aplicación de la estadística clínica, poco habitual en la investigación médica de entonces; la elaboración de hipótesis novedosas en aquella época; el establecimiento de relaciones nuevas entre enfermedades, como la que causó la muerte del profesor de anatomía patológica y la fiebre puerperal, etc.

En la fase inicial, cuatro grupos (G1, G3, G4 y G5) detectaron al menos una evidencia de creatividad y originalidad, aunque en algunos casos, al aportar las razones, mostraron creencias erróneas del procedimiento de investigación seguido por Semmelweis, o sobre sus interpretaciones. Por ejemplo, G1 creía que este asociaba la enfermedad con la transmisión de microorganismos: *“Era creativo y original el pensar en la transmisión de microorganismos y materia putrefacta a través de las manos de los estudiantes y el pensar en un método que destruya esas sustancias perjudiciales.”* Se estimó como nivel máximo de aprendizaje que los alumnos reconocieran más de dos muestras de creatividad y originalidad, aportando razones que no incluyeran ideas erróneas sobre la investigación (tabla 5); lo que no se produjo en ningún caso.

Durante la segunda fase, se comprobó que la mayoría de los grupos consideró a Semmelweis creativo, aunque algunos confundían creatividad con perseverancia. Para propiciar el debate, la profesora preguntó si pensaban que la creatividad era una característica de los artistas y no de los científicos; y si el trabajo de estos consistía sobre todo en seguir un procedimiento más metódico. En ningún caso mostraron esta creencia, manifestando que sin creatividad la ciencia no avanza.

En la tercera fase se evidenció algún progreso; tres grupos (G2, G3 y G5) mejoraron el nivel de aprendizaje y no mostraron ideas erróneas sobre la investigación de Semmelweis. En algunas de las explicaciones sobre creatividad, los estudiantes hicieron uso de conceptos nuevos como el de inferencia. Por ejemplo, G2 escribió: *“Fue original ya que no se dejó llevar por los demás médicos a pesar de las críticas y porque se negó a las teorías e inferencias de los otros médicos.”*

#### 6.3.4. Diferencia entre hipótesis y teoría

Se pretendía que los alumnos consiguieran diferenciar una hipótesis de una teoría. Para ello, debían indicar que la hipótesis de Semmelweis no llegó a convertirse en teoría científica porque no tenía capacidad explicativa; más en concreto, que no explicaba la naturaleza de la materia putrefacta, ni tampoco su relación causal con la fiebre puerperal. Estas afirmaciones corresponderían a un nivel 4 en la escala de progresión establecida (tabla 5).

Al preguntar si la hipótesis de Semmelweis llegó a convertirse en una teoría, el análisis de las respuestas dadas en la fase inicial reflejó ideas ingenuas de los estudiantes sobre el concepto de teoría. Tres grupos (G2, G3 y G5) señalaron que las hipótesis se convirtieron en una teoría porque actualmente se toman medidas de higiene similares a las propuestas, confundiendo así teoría con práctica médica, desde una perspectiva del presente. Estos grupos se situaron en un nivel 0. De los dos grupos (G1 y G4) que indicaron que las hipótesis no se convirtieron en una teoría, ninguno mencionó la capacidad de las teorías para explicar las observaciones y los hechos experimentales, ni para hacer predicciones. Las razones aportadas fueron simples, como la de G4: *“La hipótesis de Semmelweis no llegó a convertirse en una teoría porque no fue aceptada por muchos científicos, aunque se demostró que la mortalidad disminuía.”*

Durante la segunda fase, la profesora planteó preguntas que permitiesen una discusión que facilitara la evolución de las ideas de los estudiantes sobre el concepto de teoría. Por ejemplo, se preguntó si se elabora una teoría cada vez que se comprueba una hipótesis en una investigación experimental; si bastó con la comprobación de una hipótesis para la formulación de la teoría atómica; ¿por qué decimos que la teoría atómica o la teoría de la evolución son teorías?; o ¿por qué la teoría de cuerdas, que no está completamente aceptada, se considera una teoría? Después se volvió a preguntar si la hipótesis de Semmelweis llegó a convertirse en una teoría científica.

Al finalizar la tercera fase, las respuestas de los estudiantes mostraron cierta mejora en la comprensión del concepto de teoría. Solo el grupo G3 mantuvo que la hipótesis de Semmelweis se convirtió en teoría: *“Sí, porque como habíamos dicho antes se demostró que tenía razón y hoy en día todo el mundo se lava las manos.”* (G3), apoyándose en la aceptación de una práctica médica como criterio para considerarla una teoría, en vez de en su naturaleza explicativa y predictiva. Pese a la discusión sobre las teorías, parece que influye más el uso cotidiano que se hace del término. Dos grupos (G2 y G5) afirmaron ahora que las hipótesis de Semmelweis no se convirtieron en teoría, pero las razones que aportaron fueron simples. Por ejemplo, G2 respondió que fue Pasteur quien formuló una teoría sobre la transmisión de enfermedades, pero no discutió si las ideas de Semmelweis podían constituir una teoría o no:

No, más tarde se encontró que tenía una lógica porque transmitía microbios pero no era una teoría completa la conclusión de Semmelweis. Semmelweis no hizo una teoría sobre la fiebre puerperal, sino que cuando murió Luis Pasteur fue quien propuso la teoría germinal a base de las observaciones de Semmelweis. (G2)

Los otros dos grupos (G1 y G4) explicaron que las conclusiones de Semmelweis no tenían un carácter explicativo, aunque solo especificaron uno de los dos hechos clave que quedaron sin explicación. Por ejemplo, G1 señaló que: *“Una teoría tiene que ser más completa y Semmelweis no da motivos para explicar que la materia putrefacta causa las infecciones.”*

### 6.3.5. *Detección de factores epistémicos y no-epistémicos que dieron lugar al rechazo de las ideas de Semmelweis*

Se esperaba que los estudiantes citaran factores epistémicos que pudieron provocar el rechazo de las ideas de Semmelweis, tales como: carecer de una teoría sobre la naturaleza de la materia putrefacta; no establecer una relación causal entre la materia putrefacta y la fiebre puerperal; no realizar experimentos controlados en el laboratorio; no hacer una caracterización más precisa del principio activo presente en la materia cadavérica, basada en pruebas empíricas usando el microscopio; etc. Asimismo, como factores no-epistémicos podrían señalar, por ejemplo, desinterés de Semmelweis por la comunicación científica; dificultades para la comunicación de sus ideas; personalidad conflictiva y autoritaria; política nacionalista y separatista de su país de origen; etc.

La mayoría de los grupos (G3, G4 y G5) se situó en el nivel 1 en la fase inicial, y solo uno de ellos (G5) alcanzó el nivel 3. Esto es, la mayoría señaló un único factor de rechazo de las nuevas ideas, aportando o no argumentos.

En la puesta en común de esta cuestión se puso de manifiesto la existencia de diversas creencias sobre la aceptación de las ideas científicas. Los estudiantes no entendían que el acuerdo entre los científicos no hubiera sido inmediato ante los resultados presentados por Semmelweis, y les resultaba increíble que las nuevas ideas pudieran ser rechazadas. Razonaban mediante las teorías aceptadas actualmente, y no podían desprenderse de sus propios modelos sobre la transmisión de las enfermedades al valorar los resultados de Semmelweis.

Para que se cuestionaran la importancia de los modelos y las teorías que los científicos manejan, la profesora les pidió que se pusieran en el caso de un médico que había recibido formación en la que basaba su práctica profesional, y que les propusieran una práctica médica que contradijera su conocimiento médico. También les sugirió que analizaran una situación hipotética en la que les aconsejaran una práctica nueva sin una explicación bien fundamentada. Tras esto, un estudiante identificó las dificultades de los médicos de la época de Semmelweis para aceptar sus ideas nuevas con sus propias dificultades para entender aspectos de la Física que contradicen el sentido común.

La profesora promovió también la discusión sobre la importancia de la comunicación de la ciencia, el papel de los congresos y las publicaciones. Los estudiantes comprendieron la importancia de estos aspectos, pero no que pudiera ser clave para la aceptación de una teoría. Asimismo, trató el problema de la pertinencia de los procedimientos de investigación; por ejemplo, abordó el uso del microscopio, entre otros. Una dificultad encontrada fue que los estudiantes situaran históricamente la importancia del microscopio en la investigación de las enfermedades.

Durante la discusión, también se puso de manifiesto que los aspectos no-epistémicos de tipo psicológico, como la personalidad de Semmelweis, fueron los que más habían llamado la atención de los estudiantes. La mayoría no contempló inicialmente las cuestiones políticas, por lo que fue necesario orientar la discusión en este sentido. Para ello, se preguntó sobre la nacionalidad de Semmelweis y el contexto histórico. Algunos se mostraron contrarios a aceptar que los aspectos políticos o las relaciones humanas pudieran influir en la aceptación de las teorías científicas; pero otros destacaron citas del texto para rebatirlo.

Tras la tercera fase, se encontró una mejora en todos los grupos respecto a la detección de los factores que dieron lugar al rechazo de las ideas de Semmelweis. Prácticamente todos los grupos indica-

ron factores epistémicos y contextuales, aportando argumentos razonados. Por ejemplo, G5 señaló en su informe final que: *“No había una razón de lo que decía, no era lógico según las ideas que había entonces. Además no se llevaba bien con el director del hospital.”*

### 6.3.6. Valoración de la importancia de los factores que influyeron más en el rechazo del conocimiento científico

Por último, los estudiantes debían valorar la importancia de los factores epistémicos y no-epistémicos en el rechazo del conocimiento científico. Se pretendía que citaran al menos dos factores epistémicos (carecer de una teoría sobre la naturaleza de la materia putrefacta; no establecer una relación causal entre la materia putrefacta y la fiebre puerperal; no hacer experimentos de laboratorio controlados; no hacer una caracterización más precisa, basada en pruebas empíricas usando el microscopio, del principio activo presente en la materia cadavérica; etc.), y dos factores contextuales (desinterés por la comunicación científica; dificultad personal para la comunicación de las ideas; personalidad conflictiva y autoritaria de Semmelweis; política nacionalista y separatista; etc.), dando argumentos válidos en la valoración.

Inicialmente todos los grupos señalaron solo un factor determinante del rechazo de las ideas de Semmelweis en su época, sin que predominaran los factores de un tipo u otro.

Durante la segunda fase se pidió a los grupos que dieran razones para defender sus posiciones iniciales. Después, se les invitó a que considerasen los condicionantes y valorasen la importancia que pudieron tener. Un grupo destacó la dificultad de saber lo que más influyó, teniendo en cuenta que, además, era algo que ocurrió hace mucho tiempo. Otro grupo resaltó que incluso es difícil saber las causas de los sucesos actuales. Ante ello, la profesora indicó que se trataba de hacer una valoración personal, teniendo en cuenta lo que conocían del caso.

Concluida la tercera fase, cuatro grupos (G1, G2, G3 y G5) consideraron un factor más como mínimo, incluyendo al menos un factor epistémico y otro contextual. Por ejemplo, G5 había indicado inicialmente que influyó “[...] sobre todo su manera de llamar la atención a los demás miembros de la comunidad científica que no estaba de acuerdo con él, con insultos y llamándoles asesinos.”; y, posteriormente, añadió que “[...] pudo influir igualmente la mala comunicación científica y que lo que decía no se comprendía en su época porque no estaba de acuerdo con las teorías existentes.”

## 6.4 Conclusiones

Se han mostrado los resultados de la implementación de una actividad sobre el caso Semmelweis y la fiebre puerperal para aprender reflexivamente sobre algunos aspectos de NDC. Desde un punto de vista global, la actividad favoreció en los alumnos una mejor comprensión de los aspectos de NDC tratados. Tras la puesta en común, se logró un progreso de aprendizaje en algo más del 63% de los casos posibles<sup>26</sup> (figura 2). Asimismo, de acuerdo con las apreciaciones de la profesora en su diario, la actividad despertó un gran interés en los estudiantes, quienes valoraron muy positivamente aprender sobre el trabajo de los científicos y todo lo que rodea a la investigación científica.

Atendiendo a la primera cuestión de investigación, se puede decir que la lectura inicial de la controversia propició que emergieran creencias sobre la NDC, que fueron el punto de partida para promover su evolución hacia otras ideas más adecuadas. Por ejemplo, al principio muchos estudiantes manifestaron que las inferencias son objetivas si se basan en la experiencia, y que son independientes

<sup>26</sup> El porcentaje se ha calculado sobre 30 respuestas, que es el número máximo de respuestas de los 5 grupos en las 6 cuestiones.

del marco teórico; también que una hipótesis aceptada es una teoría; o que los factores sociales no influyen en la aceptación de las nuevas ideas científicas. Si bien, estas creencias ingenuas sobre la NDC, evolucionaron favorablemente a lo largo del desarrollo de la actividad con respuestas finales más elaboradas.

Haciendo un balance de los aprendizajes alcanzados, en respuesta a la segunda pregunta de investigación, los estudiantes mejoraron, al menos parcialmente, en la comprensión de aspectos epistémicos y no-epistémicos; estos últimos mucho menos habituales en las propuestas didácticas de aprendizaje sobre NDC. Concretamente diferenciaron y relacionaron los conceptos de inferencia y observación, aunque no llegaron a detectar todas las que se recogían en la narración. Asimismo, reconocieron algunos de los principales rasgos de la metodología científica seguida por Semmelweis en su investigación, siendo el análisis de datos y la verificación de hipótesis las características más aludidas. También identificaron la creatividad y originalidad como rasgos propios de la investigación científica; si bien no siempre fueron capaces de detectar muestras de ello en el relato del texto de HDC.

Consiguieron alguna mejora en la comprensión del concepto de teoría, reconociendo su carácter explicativo, pero las respuestas no se argumentaron lo suficiente al no identificar todos los hechos que las conclusiones de Semmelweis no explicaban. Citaron diversos factores de rechazo de las ideas de Semmelweis, tanto epistémicos como no-epistémicos, siendo en estos últimos donde hubo más progreso en el aprendizaje. La mayoría de los estudiantes llegó a comprender la complejidad del problema, valorando la importancia de los factores no-epistémicos en la generación del conocimiento, lo mismo que los epistémicos.

Entre las dificultades detectadas, se encontró cierta limitación para manejar cantidades relativamente grandes de información, como en el caso del reconocimiento de observaciones e inferencias en el relato. Para mejorar esto, se podría sugerir a los estudiantes el uso de instrumentos organizadores de la información, como tablas, esquemas, mapas conceptuales y ejes cronológicos. Además, la mayoría de los grupos se limitó, en primera instancia, a dar una respuesta simple e inmediata, como sucedió cuando debían aportar causas sobre la no aceptación de las propuestas de Semmelweis. Este tipo de respuestas es frecuente incluso entre estudiantes con mucha mayor formación científica cuando no están habituados a reflexionar argumentativamente (Justi y Mendonça, 2016). Asimismo, refleja de algún modo el razonamiento causal lineal y simple, propio de estudiantes de Secundaria (Acevedo, 1990), pese a que el texto muestra la complejidad que caracteriza a los problemas científicos reales. Los estudiantes también tuvieron algunas dificultades para situar históricamente algunos eventos científicos clave, para lo cual la actividad resultó una buena ocasión para mejorar también este aspecto.

Cabe resaltar que el trabajo en equipo y las discusiones del grupo-clase fueron esenciales para mejorar –en los términos señalados– la comprensión de los aspectos de NDC previstos. La intervención de la profesora se limitó básicamente a reconducir las ideas que iban surgiendo en esas discusiones; sin embargo, en los casos donde lo consideró pertinente planteó preguntas extras para generar conflictos cognitivos y ayudar a los estudiantes a que se replantearan sus opiniones. Aun así, quizá hubiera sido necesario un mayor grado de intervención en aquellos momentos en los que las dificultades fueron más notorias; por ejemplo, proponiendo la relectura conjunta y en voz alta de aquellas partes del texto más directamente relacionadas con el aspecto de NDC considerado, junto con la formulación de alguna pregunta adicional que ayude a los estudiantes a concretar y/o enriquecer sus argumentos al respecto. Hay que ser conscientes de que todo recurso empleado en el aula requiere de la mediación continua del profesor en los procesos que tienen lugar, más aún cuando se tratan problemáticas complejas como la NDC.

En suma, podemos decir que con la lectura y análisis reflexivos de narraciones históricas como la del caso Semmelweis y la fiebre puerperal es factible introducir aspectos de NDC en la ESO. Asimismo, los resultados de este estudio sugieren que los aspectos no-epistémicos podrían resultar los más apropiados para abordar el tópico en el currículo de ciencia escolar de esta etapa educativa, e iniciar a los estudiantes en la comprensión de algunos aspectos de NDC. Sería interesante, pues, continuar investigando más esta posibilidad con otros textos de HDC, puesto que no se suele dar cabida al aprendizaje de la NDC en la educación científica básica; y, cuando se hace, la atención se centra por lo general en la dimensión epistemológica casi exclusivamente.

## 7. Estudio de la implementación del caso Semmelweis y la fiebre puerperal en la formación inicial del profesorado de ciencia

Se presenta un estudio cualitativo, de perfil interpretativo, sobre la comprensión de diversos aspectos epistémicos y no-epistémicos de NDC, a partir de un análisis del caso de HDC sobre Semmelweis y la fiebre puerperal. La actividad se implementó, durante el curso 2015-16, en la formación de estudiantes de profesorado de Biología mediante un enfoque didáctico explícito y reflexivo.

### 7.1 Preguntas que dirigen la investigación

El estudio se concretó en responder a las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Qué ideas tienen los estudiantes participantes sobre los aspectos de NDC tratados tras una primera lectura reflexiva del caso histórico?
2. ¿Qué cambios se producen en las ideas de los estudiantes participantes sobre los aspectos de NDC abordados una vez concluida la actividad?

### 7.2 Aspectos contextuales de la investigación

#### 7.2.1 Descripción de la actividad

La actividad, que se implementó por la coautora mediante una intervención docente de cuatro sesiones de 1,5 horas cada una, propone la lectura de una narración histórica de la investigación de Semmelweis sobre la fiebre puerperal, junto a una discusión crítico-reflexiva de diversas cuestiones sobre aspectos epistémicos y no-epistémicos de NDC reconocibles en el relato. El texto de la narración se ha descrito con anterioridad brevemente en la sección 3.1.1.

#### 7.2.2 Participantes

El estudio se realizó durante el curso 2015-16 en la Universidad de Cádiz con estudiantes de profesorado de Biología del *Máster Universitario en Formación del Profesorado de Educación Secundaria* (MAES). El grupo-clase estaba compuesto por 12 mujeres y 5 hombres, graduados en Biología, Ciencias Ambientales, Ciencias del Mar, Farmacia y Bioquímica.

La asignatura para desarrollar la actividad fue *Aprendizaje y Enseñanza de la Biología y Geología*, de 12 créditos, impartida por uno de los autores. Su propósito es el análisis del currículo de Biología y Geología en la Enseñanza Secundaria, las dificultades de aprendizaje y el desarrollo de propuestas metodológicas que permitan concretar e implementar el currículo.

La actividad se implementó en la unidad *Análisis curricular*. El currículo de ciencia para Educación Secundaria en España no es muy explícito en sugerir la NDC como un contenido esencial de la educación científica. Sin embargo, el plan de estudios del citado Máster sí establece que los estudiantes de profesorado (estudiantes MAES, en lo sucesivo) adquieran una comprensión básica sobre NDC y su enseñanza, por lo que el planteamiento de la unidad respondía a esta necesidad.

#### 7.2.3 Objetivos de la actividad

Con esta actividad, se pretende el aprendizaje de los siguientes aspectos de NDC:

1. Identificar observaciones e inferencias, y sus diferencias.

2. Reconocer los principales rasgos de la metodología de investigación científica.
3. Reconocer muestras de creatividad y originalidad en los científicos.
4. Diferenciar entre hipótesis y teoría.
5. Reconocer la influencia del procedimiento de una investigación científica en los hallazgos.
6. Detectar factores epistémicos y no-epistémicos que dieron lugar al rechazo de las ideas de Semmelweis.
7. Reconocer la importancia de la comunicación científica.
8. Valorar la influencia de la personalidad de los científicos.
9. Detectar la influencia de la política en la construcción de la ciencia.
10. Valorar la importancia de los factores que influyeron más en el rechazo del conocimiento científico.

#### 7.2.4 Cuestiones de NDC planteadas.

Las cuestiones planteadas para reflexionar sobre los aspectos de NDC abordados en la actividad se indican en la tabla 6.

**Tabla 6. Cuestiones propuestas sobre aspectos de NDC para reflexionar a partir de la lectura del caso Semmelweis.**

C1. ¿Qué diferencia crees que hay entre observación e inferencia en la investigación científica?
C2. ¿Cuáles crees que son las principales características de la metodología de Semmelweis?
C3. ¿Crees que Semmelweis fue original y creativo en su investigación? ¿Por qué?
C4. ¿La hipótesis de Semmelweis llegó a convertirse en una teoría? ¿Por qué?
C5. ¿Crees que influyó el procedimiento que siguió en su investigación? ¿Por qué?
C6. ¿Por qué crees que tardaron tanto sus resultados en ser aceptados?
C7. ¿Crees que influyó la comunicación científica de los resultados obtenidos? ¿Por qué?
C8. ¿Crees que influyó la personalidad de Semmelweis? ¿Por qué?
C9. ¿Crees que influyeron las cuestiones políticas? ¿Por qué?
C10. ¿Cuáles de los factores anteriores crees que influyeron más?

#### 7.2.5 Evaluación de la comprensión de los aspectos de NDC abordados

La fuente de datos para la evaluación fueron los informes de los equipos donde registraron sus respuestas iniciales y finales a las cuestiones de NDC propuestas. Además, la educadora usó como instrumento complementario de evaluación un diario, donde registró detalles de la puesta en común realizada durante la sesión en gran grupo.

Para evaluar las ideas de los estudiantes MAES y la progresión de estas tras la actividad, los investigadores diseñaron la rúbrica de la tabla 7, que se preparó de acuerdo con lo indicado en la sección 5.2 del capítulo 5. Los niveles de aprendizaje para cada uno de los aspectos de NDC, y los descriptores correspondientes, se recogen en la tabla 7.

Tabla 7. Rúbrica de evaluación de aspectos de NDC en el contexto del caso Semmelweis sobre la fiebre puerperal.

Contenido de NDC	Nivel 4 (máximo)	Niveles 3 – 0
C1. Diferencias entre observación e inferencia	Se citan las cuatro razones siguientes: i) La observación depende de la percepción. ii) La inferencia consiste en una interpretación razonada de la observación, datos, etc. iii) Las inferencias científicas se construyen a partir de numerosas observaciones de un fenómeno. iv) El carácter subjetivo de la inferencia, dependiente sobre todo del modelo teórico que la sustenta.	Nivel 3: Se citan tres de las razones descritas en el nivel 4. Nivel 2: Se citan dos de las razones descritas en el nivel 4. Nivel 1: Se cita una de las razones descritas en el nivel 4. Nivel 0: No se cita ninguna de las razones descritas en el nivel 4, o se hace de un modo inconsistente con lo indicado.
C2. Principales características de la metodología de Semmelweis	Se citan las cuatro razones siguientes: i) La realización de observaciones. ii) El análisis de los datos disponibles. iii) La formulación de hipótesis para responder a cuestiones de la investigación. iv) La comprobación de hipótesis mediante pruebas experimentales.	Nivel 3: Se citan tres de las razones descritas en el nivel 4. Nivel 2: Se citan dos de las razones descritas en el nivel 4. Nivel 1: Se cita una de las razones descritas en el nivel 4. Nivel 0: No se cita ninguna de las razones descritas en el nivel 4, o se hace de un modo inconsistente con lo indicado.
C3. Creatividad e imaginación en la investigación de Semmelweis	Se indica que fue creativo, aportando más de dos razones*, y no muestra ideas erróneas del proceso de investigación. (* Por ejemplo, la aplicación de la estadística clínica, poco habitual en la investigación médica en aquella época; la elaboración de hipótesis novedosas en la época; el establecimiento de relaciones nuevas entre enfermedades, como la que causó la muerte del profesor de anatomía patológica y la fiebre puerperal; etc.	Nivel 3: Se indica que fue creativo, aportando dos razones, y no muestra ideas erróneas del proceso de investigación. Nivel 2: Se indica que fue creativo, aportando una razón, y no muestra ideas erróneas del proceso de investigación. Nivel 1: Se indica que fue creativo, aportando una o más razones, pero muestra ideas erróneas del proceso de investigación. Nivel 0: Se indica que no fue creativo. O bien, aunque se indique que lo fue, no se dan razones.
C4. Hipótesis de Semmelweis y teorías sobre la fiebre puerperal	Se indica que la hipótesis de Semmelweis no llegó a convertirse en una teoría científica porque no explicaba la naturaleza de la “materia putrefacta”, ni tampoco su relación causal con la fiebre puerperal.	Nivel 3: Se indica que la hipótesis de Semmelweis no llegó a convertirse en una teoría científica, pero la justificación es solo una de las dos señaladas en el nivel 4; o bien, se destaca como justificación el carácter explicativo de las teorías. Nivel 2: Se indica que la hipótesis de Semmelweis no llegó a convertirse en una teoría científica, pero la justificación que se da es simple (por ejemplo, porque no fue aceptada por la comunidad científica). Nivel 1: Se indica que la hipótesis de Semmelweis no llegó a convertirse en teoría científica sin dar alguna justificación, o esta es muy ingenua (por ejemplo, porque estaba enfrentado con la mayoría de los médicos). Nivel 0: Se indica que la hipótesis de Semmelweis llegó a convertirse en teoría, y se justifica de manera ingenua (por ejemplo, porque gracias a ello hoy día los médicos se lavan las manos en los quirófanos).
C5. Influencia del procedimiento seguido en la investigación de Semmelweis	Se citan los siguientes aspectos relativos al procedimiento científico: i) Coherencia con las teorías aceptadas. ii) Ausencia de experiencias de laboratorio rigurosas y reproducibles. iii) No caracterizar de forma más precisa el principio activo presente en la materia cadavérica usando el microscopio. iv) No contrastar sus investigaciones con otras.	Nivel 3: Se citan tres de las razones descritas en el nivel 4. Nivel 2: Se citan dos de las razones descritas en el nivel 4. Nivel 1: Se cita una de las razones descritas en el nivel 4. Nivel 0: No se cita ninguna de las razones descritas en el nivel 4, o se hace de un modo inconsistente con lo indicado.
C6. Factores que contribuyeron al rechazo de las ideas de Semmelweis	Indica factores con argumentos razonados, entre los que hay epistémicos* y contextuales**. (* Por ejemplo, carecer de una teoría sobre la naturaleza de la “materia putrefacta”; no establecer una relación causal entre la “materia putrefacta” y la fiebre puerperal; ausencia de experimentos controlados en el laboratorio; no hacer una caracterización más precisa del principio activo presente en la materia cadavérica, basada en pruebas empíricas usando el microscopio; etc. (** Por ejemplo, desinterés por la comunicación científica (publicaciones y participaciones en congresos o reuniones internacionales); dificultades para la comunicación de sus ideas; personalidad conflictiva y autoritaria; política nacionalista y separatista; etc.	Nivel 3: Se citan tres razones, incluyendo factores epistémicos y no-epistémicos. Nivel 1: Se citan un factor epistémico y uno no-epistémico; o bien varios factores de un solo tipo (epistémicos o no-epistémicos). Nivel 2: Se cita un solo factor epistémico o no-epistémico. Nivel 0: No se cita ningún factor; o se hace de un modo inconsistente con lo indicado en el nivel 4.

C7. Influencia de la comunicación científica	Se citan al menos cuatro de los siguientes aspectos relativos a la comunicación científica: i) Dificultades derivadas del idioma. ii) No comunicó los resultados de sus investigaciones en revistas y congresos. iii) No se interesó por las investigaciones de otros médicos. iv) La publicación de su único libro fue tardía. v) El libro que publicó era de lectura difícil.	Nivel 3: Se citan tres de las razones descritas en el nivel 4. Nivel 2: Se citan dos de las razones descritas en el nivel 4. Nivel 1: Se cita una de las razones descritas en el nivel 4. Nivel 0: No se cita ninguna de las razones descritas en el nivel 4, o se hace de un modo inconsistente con lo indicado.
C8. Influencia de la personalidad de Semmelweis	Se citan al menos cuatro de los siguientes aspectos relativos a la personalidad de Semmelweis: i) Personalidad conflictiva. ii) Dificultad en la relación con sus colegas. iii) Mala gestión de los aspectos intrapersonales: actitudes, creencias y expectativas del cuerpo médico. iv) Mala gestión de los conflictos laborales con su superior.	Nivel 3: Se citan tres de las razones descritas en el nivel 4. Nivel 2: Se citan dos de las razones descritas en el nivel 4. Nivel 1: Se cita una de las razones descritas en el nivel 4. Nivel 0: No se cita ninguna de las razones descritas en el nivel 4, o se hace de un modo inconsistente con lo indicado.
C9. Influencia de la política	Se citan al menos cuatro de las razones siguientes: i) Se sitúa el caso en su contexto histórico. ii) Desconfianza en Semmelweis por su ideología separatista. iii) Desconfianza en Semmelweis porque era extranjero. iv) Desconfianza de los médicos en las prácticas de los extranjeros (hipótesis alternativa). v) Estatus superior de Klein por cargo político.	Nivel 3: Se citan tres de las razones descritas en el nivel 4. Nivel 2: Se citan dos de las razones descritas en el nivel 4. Nivel 1: Se cita una de las razones descritas en el nivel 4. Nivel 0: No se cita ninguna de las razones descritas en el nivel 4, o se hace de un modo inconsistente con lo indicado.
C10. Factores más influyentes en el rechazo de las ideas de Semmelweis	Se citan razonadamente al menos dos factores epistémicos* y dos factores contextuales**. (* Por ejemplo, carecer de una teoría sobre la naturaleza de la "materia putrefacta"; no establecer una relación causal entre la "materia putrefacta" y la fiebre puerperal; ausencia de experimentos controlados en el laboratorio; no hacer una caracterización más precisa del principio activo presente en la materia cadavérica, basada en pruebas empíricas usando el microscopio; etc. (** Por ejemplo, desinterés por la comunicación científica (publicaciones y participaciones en congresos o reuniones internacionales); dificultades para la comunicación de sus ideas; personalidad conflictiva y autoritaria; política nacionalista y separatista; etc.	Nivel 3: Se cita razonadamente al menos un factor epistémico y un factor no-epistémico. Nivel 2: Se citan razonadamente solo factores del mismo tipo, epistémicos o no-epistémicos. Nivel 1: Se cita algún factor; epistémico o no-epistémicos, pero sin dar argumentos válidos. Nivel 0: No se cita ningún factor; o no se razona, o se hace de un modo inconsistente con lo indicado en el nivel 4.

Los investigadores evaluaron por separado las respuestas de los grupos. En la clasificación de las respuestas de los grupos en la fase inicial de la actividad, obtuvieron un acuerdo global del 94,3%, y del 94,1% en la clasificación de las respuestas de la fase final. Por tanto, fue necesario hacer una segunda ronda de análisis sobre los aspectos en los que se encontraron discrepancias. De esta surgió un acuerdo global del 98,4% en la clasificación de las respuestas iniciales de los grupos, y del 97,5% en la clasificación de las respuestas finales. Después de la segunda ronda, las escasas discrepancias que quedaron en la clasificación de las respuestas de cada fase fueron resueltas por un acuerdo de mayoría de evaluadores (2 vs. 1).

### 7.3. Resultados

La evolución de los niveles de comprensión de los grupos sobre los aspectos de NDC tratados se recoge en la figura 3. Si bien, dado el carácter cualitativo del estudio es preciso hacer además un análisis detallado de las respuestas de los grupos a cada cuestión, a fin de valorar mejor la eficacia educativa de la actividad.

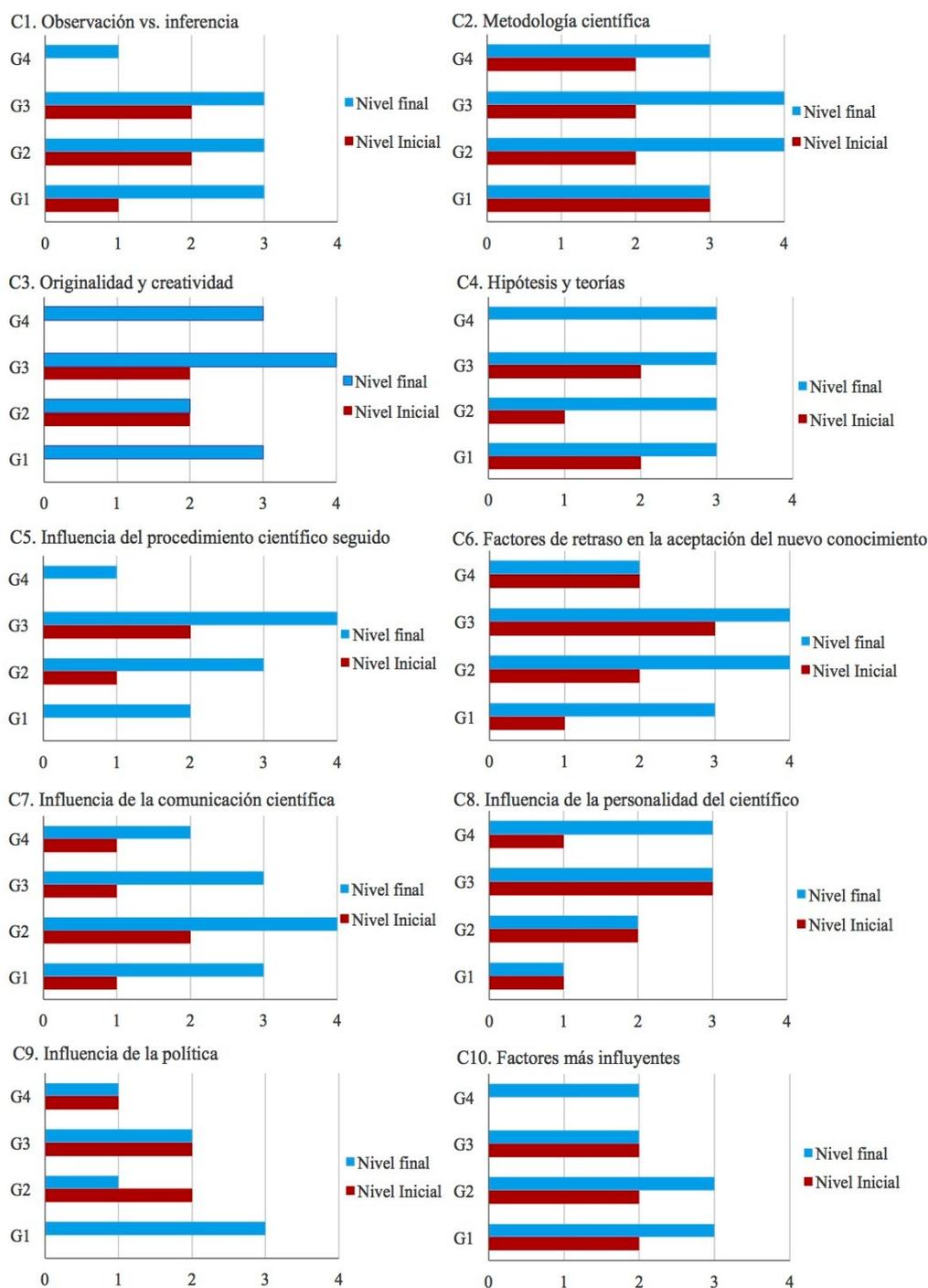


Figura 3. Evolución de los niveles de aprendizaje relativos a los aspectos de NDC abordados.

### 7.3.1 Diferencia entre observación e inferencia en la investigación científica

Se pretendía que los estudiantes MAES describieran la observación como dependiente de la percepción, y la inferencia como una interpretación razonada de diversas observaciones de un fenómeno. Además, cabía esperar que resaltaran el carácter subjetivo de las inferencias, dependientes del modelo teórico que las sustentan. Aunque las observaciones también pueden estar condicionadas por el modelo teórico, esto no fue abordado.

Las respuestas iniciales de los estudiantes MAES reflejaron algunas ideas ingenuas. Así, cuando se indica que *“La inferencia parte de datos para realizar el estudio, mientras que la observación parte con ausencia de datos.”* (G4), no se considera que los datos también se obtienen por observación; con lo cual, esta última parece concebirse solo como producto de la percepción directa. También es ingenuo pensar en la inferencia como una idea en vez de un proceso: *“La inferencia es una idea que tenemos preconcebida sobre algo, es decir, es algo que aceptamos que es así porque es evidente.”* (G2).

La respuesta siguiente establece diferencias claras entre observación e inferencia, pero no reconoce que las inferencias dependen del modelo teórico que las sustentan:

Inferir es interpretar, razonar, deducir, evaluar un fenómeno, es decir, sacar conclusiones basadas en una o varias observaciones, tras reflexionarlas y analizarlas. Mientras que con la observación simplemente se describe algo tal y como lo percibes. Por tanto, podríamos decir que la inferencia proviene de la observación y que con una buena observación se realiza una buena inferencia. (G3)

Durante la puesta en común se promovió el debate entre objetividad y subjetividad de las inferencias, preguntando si ante los mismos datos de un fenómeno, cualquier investigador haría siempre inferencias idénticas. Los estudiantes MAES mostraron diferentes opiniones; mientras algunos defendieron que si los datos estaban bien tomados estos llevarían de forma unívoca a las mismas conclusiones, otros sostuvieron que las inferencias dependen del marco teórico. Se pidió que buscaran ejemplos de la historia de la Biología, saliendo a relucir el caso de las múltiples evidencias sobre la evolución de las especies, y las diferentes interpretaciones según Lamarck y Darwin sobre las variaciones detectadas en los caracteres. Tras esto, hubo consenso en admitir la dependencia de las inferencias del modelo teórico. Después, se volvió al caso de la investigación de Semmelweis, y se preguntó por las diferentes interpretaciones de la transmisión de enfermedades. Se hicieron referencias a las teorías del contagio y miasmática mencionadas en el texto, pero hubo dificultades para realizar interpretaciones con estas dos teorías debido a que los estudiantes MAES no las conocían bien.

Tras la tercera fase de la actividad, se apreció una mejora en todos los casos al diferenciar observaciones e inferencias. Las respuestas recogieron más rasgos, situándose la mayoría en un nivel 3 (figura 3). Algunos aspectos discutidos en la segunda fase no se reflejaron en las respuestas finales, sobre todo aquellos en los que las opiniones no se debatieron porque eran similares. Así, no se manifestó que son precisas numerosas observaciones de un fenómeno para realizar inferencias. En cambio, tres grupos resaltaron la dependencia de las inferencias del marco teórico considerado.

### 7.3.2 Principales características de la metodología de Semmelweis

La intención era que los estudiantes MAES identificaran los principales rasgos de la metodología científica que aparecen en el relato del caso, y que se indican en la rúbrica (tabla 7). Tres grupos (G2, G3 y G4) señalaron dos rasgos, y un grupo (G1), tres: *“Las características del método hipotético-deductivo. Observación. Formulación de hipótesis, deducción y contrastación.”* (G1).

En la puesta en común, la discusión se derivó hacia el modelo metodológico predominante, identificándose un modelo positivista. Se preguntó si, en general, las investigaciones se desarrollaban siguiendo ese modelo, o mediante la reconstrucción que se hace cuando se comunican públicamente. Los estudiantes MAES que tenían experiencia en trabajos de investigación estuvieron de acuerdo con que el proceso real de una investigación es complejo y no sigue una secuencia lineal. Luego se

preguntó si no habría ocurrido lo mismo en la investigación de Semmelweis, a lo que respondieron que no se disponía de los datos necesarios para establecer cuál había sido la secuencia de investigación y que, en la mayoría de los casos, es difícil conocerla.

Sin embargo, estas reflexiones dirigidas a evitar una imagen ingenua de la investigación científica no se vieron reflejadas en las respuestas finales. Aun así, mostraron el avance de tres grupos (G2, G3 y G4), como se refleja en la respuesta de uno de ellos que alcanzó el nivel más alto:

En un principio rechazó algunas causas que no tenían explicaciones plausibles. Es una metodología por ensayo y error basada en observación y la experiencia, recopilación de datos, planteamiento de hipótesis, experimentación para su comprobación y conclusiones. También utilizó análisis estadísticos. (G3)

### 7.3.3 Originalidad y creatividad en la investigación de Semmelweis

Dos grupos (G1 y G4) señalaron que el trabajo de Semmelweis no fue creativo, o no aportaron una razón adecuada, mostrando además ideas erróneas sobre la construcción del conocimiento científico, como se puede observar en la siguiente respuesta: “*Creo que fue muy original, siendo de los primeros en utilizar la razón, no dejándose llevar por las corrientes de la época.*” (G1). En otras respuestas se indica como único rasgo propio de la creatividad la formulación de hipótesis novedosas:

[...] fue original y creativo, pues fue capaz de cuestionar la teoría miasmática y elaborar una hipótesis completamente nueva sobre el origen de una enfermedad basándose en una simple observación, que quedó desapercibida por el resto de personal del hospital [...] (G2)

Conviene resaltar otros aspectos de interés al respecto. Uno es la asociación de la creatividad con el cuestionamiento de las teorías de la época. Aunque esto podría desencadenar la formulación de nuevas ideas, incide más en el juicio crítico, que no siempre va seguido de creatividad. Otro es la idea de que la creatividad científica puede reflejarse en la aplicación de nuevos métodos, como efectivamente ocurrió. Aunque la metodología de Semmelweis careció de rigor, tuvo la virtud de emplear métodos estadísticos, que fue novedoso en la investigación clínica de entonces.

Fue este último asunto en el que más se incidió en la segunda fase de la actividad, en la que se pidió que se diferenciase entre rigor y creatividad, y si un procedimiento riguroso podía ser creativo. Además, se preguntó si había aportaciones originales en la metodología, y los estudiantes MAES se refirieron al análisis de datos por procedimientos estadísticos. También se cuestionó sobre la existencia de alguna idea novedosa en la investigación que fuera clave para establecer sus conclusiones, recordando algunos estudiantes MAES la relación establecida por Semmelweis entre los síntomas de la fiebre puerperal y los del profesor Kolletschka antes de morir.

Concluida la tercera fase, se puso de manifiesto un progreso en la mayoría de los grupos (G1, G3 y G4), como se pone de manifiesto en la respuesta siguiente, a la que se asignó el nivel máximo:

Utilizó métodos en estadística en la rama de medicina, cosa que nunca se había hecho antes. Además, fue pionero en el empleo de estudios epidemiológicos. También fue muy original a la hora de conectar la muerte del doctor que hizo la autopsia con los síntomas de fiebre. Por otro lado, destaca su creatividad a la hora de establecer las distintas hipótesis. (G3)

Al igual que se ha apreciado en otras cuestiones, las repuestas finales no siempre se hicieron eco de las ideas aceptadas durante la segunda fase, en particular de aquellas que no condujeron a debate.

### 7.3.4 Conceptos de hipótesis y de teoría científica

Al preguntar en la primera fase si la hipótesis de Semmelweis llegó a convertirse en una teoría, la mayoría de las respuestas fueron negativas; aunque los estudiantes MAES no aportaron razones para argumentar sus respuestas, o los motivos dados no fueron adecuados, lo que delata dificultades para caracterizar las teorías científicas. Por ejemplo, en la respuesta siguiente se indica que Semmelweis no estableció una teoría, aunque no se justifica que la razón fuera porque sus ideas carecieran de capacidad explicativa:

La hipótesis de Semmelweis no se llegó a convertir en teoría, fue Pasteur el que más tarde publicaría la teoría germinal sobre enfermedades infecciosas mediante microbios. A partir de este acontecimiento, la práctica quirúrgica higiénica de Semmelweis cobró sentido y se empezó a llevar a la práctica. (G3)

La discusión realizada en la segunda fase se focalizó en este aspecto. Para ello se pidió a los estudiantes MAES que citasen diferentes teorías científicas, y las comparasen con la propuesta de Semmelweis, identificando lo que tienen en común y lo que las diferencian. Se discutió tomando como ejemplo la teoría de la evolución, aunque algunos también citaron la teoría de la tectónica de placas. Pronto pusieron de manifiesto que una teoría no era una hipótesis confirmada, sino que está constituida por un conjunto de ideas con poder explicativo.

Después de la fase final, todos los grupos afirmaron que la hipótesis de Semmelweis no llegó a convertirse en una teoría porque no permitía explicar las observaciones realizadas, como se refleja en las dos respuestas siguientes: “No llegó a recopilar las evidencias necesarias para elaborar un modelo interpretativo y proponer una teoría. Él no es capaz de explicar el por qué y establece una técnica o protocolo más que una teoría.” (G3). Y “[...] no basta con una hipótesis confirmada para crear una teoría, una idea no da una teoría. Una teoría no es lo mismo que una técnica. Una teoría se forma a partir de un conjunto de ideas [...]” (G1)

No obstante, ningún grupo señaló los aspectos que Semmelweis no pudo explicar, tales como la naturaleza de la materia putrefacta y su relación causal con la fiebre puerperal; cuestiones que no se explicitaron en la segunda fase.

### 7.3.5 Influencia del procedimiento seguido por Semmelweis en su investigación

Cuando se cuestionó la incidencia del procedimiento seguido por Semmelweis en el rechazo de su investigación, se observó inicialmente que no se identificaron deficiencias en su metodología: “[...] Quizás fue demasiado original para aquella época y por eso fue rechazada. Siempre se tiende a rechazar todo aquello que supone un cambio.” (G1); o bien, no se aportaron en número suficiente como para justificar que este sea un factor influyente en el retraso de la aceptación de la investigación: “[...] porque no diseñó ningún experimento de forma adecuada cuyos resultados le permitiera aceptar o rechazar su hipótesis. Es decir, por la falta de pruebas empíricas, rigor y reproducibilidad.” (G2).

No se señalaron motivos como la falta de caracterización del principio activo presente en la materia cadavérica, y la falta de coherencia con las teorías aceptadas sobre la transmisión de enfermedades. Aunque se cita en el texto, no es de extrañar que no se indique este último factor, ya que los estudiantes MAES afirmaron desconocer explicaciones a las enfermedades infecciosas anteriores a la teoría de Pasteur. Además de la ausencia de experiencias de laboratorio rigurosas y reproducibles, también se indicó la falta de contrastación con otras investigaciones por Semmelweis: “[...] porque al no contrastar información realizando un estudio previo, ni realizar experimentos reproducibles en laboratorio, la comunidad científica no lo aceptó.” (G4).

Durante la puesta en común, la atención se centró en los dos motivos no citados. Se preguntó cuál era el primer aspecto que se trataba habitualmente en los artículos de investigación y la razón de ello, y si este estaba presente en la investigación de Semmelweis. No hubo dificultad en destacar la importancia del marco teórico en cualquier investigación. También se preguntó por la época en la que comenzó a emplearse el microscopio y su importancia. Aunque recordaban haber leído la referencia al microscopio en el texto, tenían dificultades para situar su uso en el tiempo. En cualquier caso, la discusión no condujo a debate alguno, sino a comentar y destacar hechos más o menos conocidos al respecto.

Finalizada la tercera fase, se apreció una mejora sensible en las respuestas de los grupos en todos los casos (figura 3), aunque solo uno (G3) dio una respuesta de nivel máximo:

[...] no consiguió evaluar su hipótesis con las teorías aceptadas [...] no procedió mediante experimentos controlados y fiables en el laboratorio, no llegó ni siquiera a considerar la posibilidad de utilizar el microscopio disponible [...] no fue capaz de contrastar y compartir adecuadamente sus experiencias con la comunidad científica. En conclusión, su procedimiento carecía de rigor científico. (G3)

### 7.3.6 Factores que influyeron en el retraso de la aceptación de la investigación

Tras la lectura del caso se pretendía la identificación de factores que pudieron haber influido en el rechazo o retraso de la aceptación de la investigación de Semmelweis por la comunidad médica de su época, tales como los indicados en la rúbrica (tabla 7). Las respuestas iniciales mostraron diversos motivos (entre uno y tres), aunque las referencias a los factores no-epistémicos fueron el doble que a los epistémicos. En la siguiente respuesta se citó como único factor la deficiente metodología de investigación seguida, un aspecto que es epistémico: *“Porque no tenía evidencia científica de lo que intentaba demostrar, no hizo experimentos controlados y fiables en el laboratorio, y no era suficiente la práctica clínica. De esta manera, los resultados no fueron aceptados [...]”* (G1).

En cambio, en esta otra se señaló que se debió a varias causas, tanto epistémicas como no-epistémicas:

Por una suma de acontecimientos: no demostró mediante un método fiable lo que estaba ocurriendo (no realizó recogida de muestras de diferentes grupos, no analizó las muestras... etc.); en ese momento la población estaba dividida ideológicamente y Semmelweis fue acusado del apoyo de la separación de Hungría, lo que en ese momento no le favorecía; no comunicó sus datos a la comunidad científica. (G3)

Durante la puesta en común se pusieron de manifiesto las múltiples causas que pudieron generar el rechazo del trabajo de Semmelweis en su época. La intervención de la educadora en esta fase se limitó a propiciar el debate sobre la importancia que pudieron tener estas causas (véase también C10), no a que los estudiantes MAES aportaran más factores de los que ya habían expresado. Solo fue motivo de discusión si las razones políticas pudieron influir en la valoración que la comunidad médica hizo del trabajo de Semmelweis. Para favorecer la reflexión se preguntó a los estudiantes MAES qué pensaban sobre si, en la actualidad, todos los científicos son considerados de igual manera, con independencia de su país de procedencia. Algunos reconocieron que la aprobación de proyectos científicos y el establecimiento de líneas prioritarias de investigación pueden depender de aspectos políticos.

Asimismo, y volviendo al caso analizado, muchos destacaron como causa de rechazo los problemas generados por el carácter difícil de Semmelweis; y otros, las deficiencias que mostró en la comunicación científica. En ambos argumentos, hubo acuerdo en considerar su influencia en el rechazo de las ideas de Semmelweis, por lo que no se formularon más preguntas.

Respecto a los factores epistémicos, se señaló la influencia de la metodología seguida por Semmelweis, siendo también general el acuerdo. Además, todos coincidieron en los problemas relacionados con su incapacidad para explicar sus conclusiones con claridad.

Tras la tercera fase se apreció una evolución positiva en tres grupos (G1, G2 y G3), logrando dos de ellos (G2 y G3) el nivel máximo al identificar un número suficiente de causas epistémicas y no-epistémicas, como se aprecia en la siguiente respuesta:

La mayoría de la comunidad científica rechazó sus resultados ya que no proporcionaban evidencias suficientes y carecían de rigor. Además, también influyeron injusticias sociales, circunstancias políticas del contexto histórico, factores nacionalistas, envidias personales, incomodidades laborales, dificultades expresivas, trabas a la investigación, rivalidades teóricas, y prejuicios. (G3)

En las respuestas finales también hubo más citas de factores no-epistémicos (9) que de epistémicos (6), aunque estas últimas fueron más numerosas que en la fase inicial inicial.

### *7.3.7 Influencia de la comunicación científica de los resultados en la aceptación de la investigación*

Esta cuestión estaba destinada a promover una reflexión sobre la importancia de la comunicación científica en la aceptación de las investigaciones por la comunidad científica, mediante la identificación y discusión de los diferentes aspectos indicados en la rúbrica (tabla 7).

Inicialmente, la mayoría de grupos (G1, G3 y G4) citó un solo aspecto, aunque no siempre el mismo. Unos se refirieron a la poca claridad del libro de Semmelweis como motivo del rechazo de su trabajo: “[...] cuando Semmelweis se decide a publicar sus ideas lo hace con un voluminoso documento de texto árido, reiterativo, confuso a veces y de lectura difícil [...]” (G2). Y otros a su desinterés por el trabajo de los demás colegas, o por dar a conocer sus resultados. Solo un grupo (G2) citó dos factores: “No se esforzó en comunicar personalmente sus descubrimientos en revistas especializadas ni en congresos o universidades y cuando se decide [...] a escribir sus ideas, publica un texto demasiado estéril, confuso y de difícil lectura.” (G2).

En la puesta en común se preguntó por la importancia de la comunicación en la investigación actual, los medios habituales y cómo debe fluir la comunicación científica. También se señaló el problema del idioma para algunos investigadores. Varios estudiantes MAES tenían experiencia en la publicación de trabajos científicos, y muchos estaban familiarizados con ello, de modo que manifestaron todos los aspectos que se pretendían tratar, limitándose la educadora a pedir que los trasladaran al caso de Semmelweis.

En la tercera fase todos los grupos mejoraron en mayor o menor medida, aunque solo G2 logró el nivel más alto: “[...] Escribió un libro tardío y de una manera poco clara, por otro lado no se preocupó en que sus estudios se divulgaran entre la comunidad científica, ni buscó aportaciones de otras personas que estudiaran el mismo tema.”

### 7.3.8 Influencia de la personalidad del investigador en la aceptación de su investigación

La cuestión permite discutir la influencia de la personalidad de un científico en la aceptación o el rechazo de su investigación. En la rúbrica (tabla 7) se indican diferentes aspectos de la personalidad de Semmelweis que aparecen en el relato.

Inicialmente se puso de manifiesto, de forma generalizada, que la personalidad de Semmelweis influyó en el rechazo de su trabajo, si bien se justificó con pocas razones, siendo la más repetida el conflicto entre Semmelweis y su superior Klein: “[...] *si hubiese tratado con más diplomacia a Klein [...] sus resultados habrían tenido más peso en la comunidad científica.*” (G1).

Solo el grupo G3 señaló tres motivos:

La personalidad intempestiva y errática y su falta de tacto no fueron de gran ayuda a la hora de imponer sus ideas, así como su enfrentamiento personal con la autoridad médica establecida... su tono no gustó a nadie y fue calificado como un loco [...] destacamos las cartas abiertas que escribe personalmente a los principales médicos de la época, acusándoles de “asesinos” de todas las muertes por sepsis que las fiebres causaron.

Durante la puesta en común emergieron todos los aspectos de la personalidad de Semmelweis que pudieron haber influido en el rechazo de su investigación, sin que ninguno de ellos supusiera conflicto entre los estudiantes MAES, quienes manifestaron que el relato los evidenciaba con claridad.

Sin embargo, pese a este acuerdo unánime, apenas se apreció progresión en los informes de la fase final. A excepción de un grupo (G4), todos justificaron la influencia de la personalidad con el mismo número de motivos que en la fase inicial, aunque a veces estos fueron distintos: “*Sí, ya que al desmoralizarse y abandonar Viena ‘de malas maneras’, y sobre todo al escribir su libro (confuso y de lectura difícil), solo hizo aumentar la animadversión de la comunidad médica.*” (G1).

### 7.3.9 Influencia de cuestiones políticas en la aceptación de la investigación

Un aspecto poco habitual cuando se enseña NDC es la influencia de las cuestiones políticas en la aceptación de una investigación. El caso Semmelweis es adecuado para ello, por el contexto histórico y social en el que se desarrolló y los factores que confluyeron, tal y como se indica en la rúbrica (tabla 7).

En la fase inicial, la mayoría de los grupos (G2, G3 y G4) mostró su acuerdo con la influencia de aspectos políticos, aportando uno o dos motivos. Esto también se puso de manifiesto en la cuestión C6, en la que se preguntó por los factores de rechazo del trabajo de Semmelweis. Al igual que en otras cuestiones, los grupos no mencionaron los mismos aspectos. Por ejemplo, las razones de la influencia de la política son diferentes en las respuestas siguientes. Mientras que la primera alude a la condición de extranjero, la segunda se refiere al complejo contexto histórico de la época y a las tendencias separatistas de Semmelweis.

[...] porque aquellos que consideraran a los húngaros inferiores le cuestionarían siempre. Eso haría difícil que dieran valor a su trabajo. Seguramente muchos pensarán que él estaba criticando la labor de otros que no eran húngaros y llevarán las discusiones a un tema más personal que científico. (G2)

[...] El contexto histórico y social en el que sucedieron las cosas era bastante particular: 1848 fue un año revolucionario en Europa. El imperio Austrohúngaro sufrió graves tendencias

separatistas. Semmelweis era de origen húngaro y trabajaba en Viena. Estalla la revolución y su jefe lo acusa de pro-húngaro y no le renueva el contrato. Todo su trabajo debe reiniciarse de nuevo. (G3)

Durante la puesta en común se admitió la influencia de la política de manera generalizada, a pesar de que un grupo se había mostrado en contra en las respuestas iniciales. La opinión de este grupo cambió en la discusión surgida sobre la cuestión C6, relativa a los factores que pudieron provocar el rechazo del trabajo de Semmelweis. Por tanto, no hubo más debate en esta ocasión. Los estudiantes MAES expusieron los diferentes motivos que habían citado tras la lectura del texto, e incluso comentaron otros no presentes en sus respuestas iniciales. Algunos de los motivos citados fueron: la mala opinión que se tenía de los estudiantes de medicina extranjeros en prácticas, a los que se atribuían las complicaciones del parto por su brusquedad en el examen clínico que hacían a las parturientas; la mala relación de Semmelweis con su superior Klein; y el estatus superior de este por ocupar la dirección del hospital como cargo político.

Pese a ello, los grupos no recogieron todos los aspectos anteriores en el informe final, y en algunos casos los señalados fueron diferentes de los citados inicialmente. Un grupo (G1) mejoró notablemente, pero dos (G3 y G4) no progresaron y otro (G2) empeoró.

#### 7.3.10 Valoración de la importancia de los diferentes factores en la aceptación de la investigación

Con esta última cuestión se trataba de determinar la importancia que los grupos conceden a cada uno de los factores epistémicos y no-epistémicos, indicados en la rúbrica (tabla 7), en el rechazo del trabajo de Semmelweis. Inicialmente, tras la lectura del caso, la mayoría de los grupos (G1, G2 y G3) señaló un solo tipo de factor, con casi el triple de citas de no-epistémicos que de epistémicos. Así se refleja en la respuesta siguiente, en la que los aspectos no-epistémicos son los únicos que se consideran: *“Los ideales políticos probablemente le influenciaron mucho [...] Si hubiera conseguido contactar con otros autores o realizar comunicaciones científicas, quizás hubiera ganado más fuerza.”* (G3). En cambio, lo epistémico es determinante en esta otra respuesta: *“El factor puramente científico [...] a pesar de que la naturaleza humana cree conflictos [...]”* (G2).

Durante la discusión que se produjo en la segunda fase, los grupos manifestaron sus opiniones sobre la importancia de las diversas causas que ya habían citado en la cuestión C6. Se concluyó que el caso abordado es complejo, y se reconoció la influencia de múltiples factores en el rechazo de la comunidad médica al trabajo de Semmelweis.

En las respuestas finales se mencionaron todos los ejemplos de factores no-epistémicos de la rúbrica de la tabla 7 (11 citas), mientras que solo se citó la metodología empleada por Semmelweis entre los epistémicos (2 veces). Dos grupos (G1 y G2) valoraron factores de ambos tipos como determinantes en el rechazo del trabajo de Semmelweis, como se aprecia en la respuesta de uno de ellos: *“Pensamos que hubo muchos condicionantes, pero los dos que tuvieron más peso fueron su falta de experimentación y difícil carácter.”* (G2).

Los otros dos grupos (G3 y G4) consideraron que los aspectos no-epistémicos fueron los que incidieron más:

El factor político y su falta de comunicación fueron muy influyentes. Merece la pena mencionar [...] la acusación implícita en sus hipótesis sobre el hecho de que los propios médicos pudieran transmitir la enfermedad a sus pacientes, lo cual no sentó bien a la comunidad médica. (G3)

Cada uno de los factores influyó de una manera u otra en que su investigación no fuera aceptada por nadie. Tanto por su fuerte personalidad, cuestiones políticas [...] problemas de comunicación con la comunidad científica [...] el texto que publicó era de difícil lectura y comprensión. Además del enfrentamiento con sus superiores y colegas del hospital, que fue un factor clave. (G4)

Estas respuestas muestran la idoneidad del caso Semmelweis para enfatizar la multiplicidad de factores que pueden condicionar las investigaciones científicas, así como la importancia de los no-epistémicos.

### 7.3.11 Recapitulación de la evolución de las respuestas de los grupos a las cuestiones de los aspectos de NDC abordados

Tras la lectura inicial del relato, la mayoría de las respuestas de los grupos a las distintas cuestiones se situó en el nivel 2 (47,5%), si bien el 45% no superó el nivel 1; es decir, no se citó ninguna razón (20%) o solo una (25%) de las indicadas en la rúbrica de la tabla 7. Además, el nivel 4 no se logró en ningún caso. Por tanto, los resultados globales fueron relativamente bajos, aunque no son homogéneos en todas las cuestiones. Las cuestiones en las que se consiguieron mejores resultados fueron C2 (metodología científica), con todas las respuestas por encima del nivel 1, y C6 (factores de retraso en la aceptación), con mayoría absoluta que superan el nivel 1; mientras que los peores se obtuvieron en la cuestión C5 (influencia del procedimiento científico), con mayoría de respuestas en el nivel 0, y mayoría absoluta que no superan el nivel 1 (figura 4).

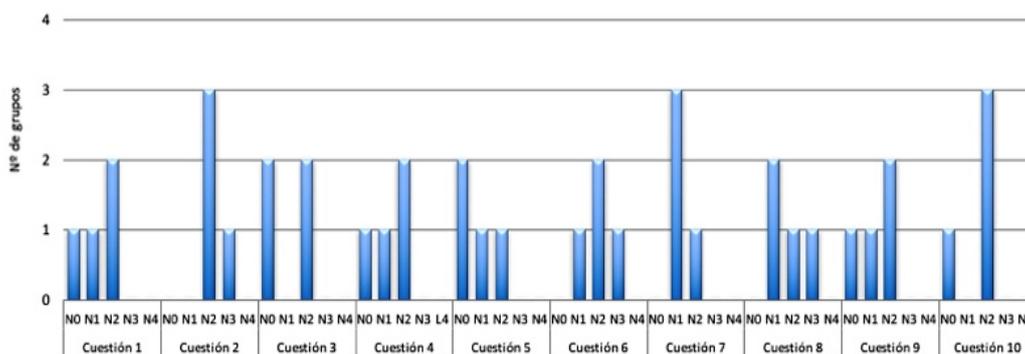
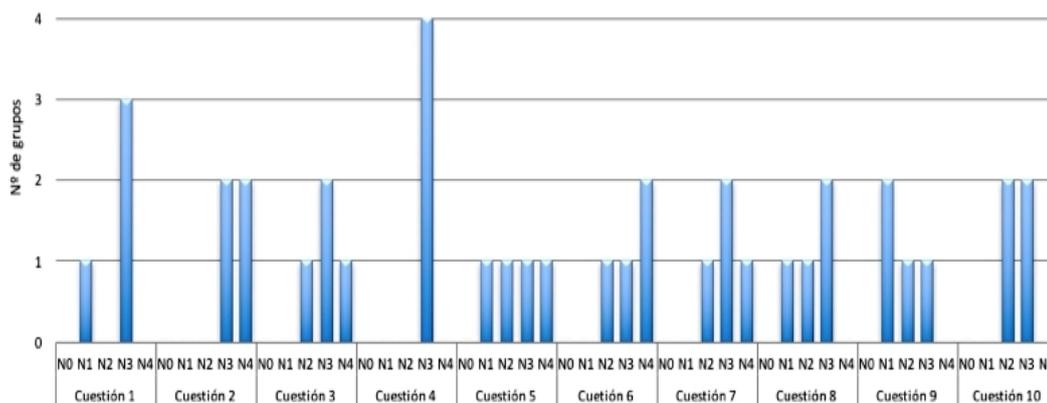


Figura 4. Niveles de las respuestas de los grupos en la fase inicial de la actividad.

En los informes finales, las respuestas de los grupos que no superaron el nivel 1 se redujeron notablemente (de 17 iniciales a 5 finales), no habiendo ninguna en el nivel 0. La mayoría de las respuestas a las distintas cuestiones lograron el nivel 3 (50%), y se alcanzó siete veces el nivel 4 (17,5%). Así pues, los resultados finales globales fueron mucho mejores que los iniciales. La mayor parte de las cuestiones presentaron una mayoría absoluta de repuestas en los niveles superiores (3 y 4), a saber: C2 (metodología científica), C6 (factores de retraso en la aceptación), C3 (originalidad y creatividad), C4 (hipótesis y teorías), C7 (influencia de la comunicación científica), y C1 (observación e inferencia). Por el contrario, con el mismo criterio anterior, el peor resultado se observó en la cuestión C9 (influencia de la política), donde solo un grupo logró el nivel 3 en su respuesta final, y dos grupos alcanzaron solo el nivel 1. Por tanto, puede afirmarse que los debates de la puesta en común influyeron decisivamente en mejorar notablemente las respuestas de los diferentes grupos (figura 5).



**Figura 5. Niveles de las respuestas de los grupos en la fase final de la actividad.**

Tal y como se ilustra en la figura 3, la progresión entre la fase inicial y final no fue homogénea en todas las cuestiones, destacando C3 (originalidad y creatividad), C4 (hipótesis y teorías), C5 (influencia del procedimiento científico), y C7 (influencia de la comunicación científica); si bien es cierto que en todas ellas se partía de niveles de logro iniciales bajos.

#### 7.4. Conclusiones

Respecto a la primera cuestión de investigación, cabe destacar, en primer lugar, que la lectura del texto del caso de HDC se ha mostrado eficaz para hacer un diagnóstico interpretativo de las concepciones iniciales de los estudiantes MAES sobre los aspectos de NDC tratados. Ello se vio favorecido al promover una reflexión crítica y dialogada en pequeño grupo sobre los mismos en un contexto concreto (el caso Semmelweis sobre la fiebre puerperal en este caso), en la línea sugerida por Clough (2011b) para evaluar la comprensión sobre NDC. El diagnóstico de ideas de NDC a partir de una lectura crítica y reflexiva de algún tema científico controvertido se ha mostrado también efectivo en otros trabajos (e.g., García-Carmona y Acevedo, 2016a; Kampurakis y Gripiotis, 2015; Shibley, 2003). Por tanto, el instrumento de evaluación empleado en la actividad tiene interés y utilidad para diagnosticar concepciones sobre NDC.

Los estudiantes MAES mostraron, en general, una comprensión inicial algo baja sobre los aspectos de NDC abordados en la mayoría de las cuestiones; si bien este es un resultado habitual cuando no se ha recibido instrucción previa al respecto (Golabek y Amrane-Cooper, 2011; Vázquez *et al.*, 2013). Las concepciones iniciales más inadecuadas de los estudiantes MAES se dieron en la influencia del procedimiento científico seguido por Semmelweis en el rechazo de sus ideas en la época, que globalmente se situó por debajo del nivel 1, y el papel de la creatividad y la imaginación en la investigación científica, que solo alcanzó el nivel 1 de manera global. Sobre esto último, cabe decir que la asociación de la creatividad con la actividad artística y literaria es más frecuente que con la ciencia. De hecho, los profesores de ciencia en formación suelen tener dificultades para identificar cuáles son los aspectos que caracterizan la creatividad científica (Golabek y Amrane-Cooper, 2011; Rudge, Cassidy, Fulford y Howe, 2014), sobre todo si nunca antes han reflexionado sobre este aspecto de la NDC, como sucede con los estudiantes MAES del presente estudio.

Del mismo modo que sucedió en la implementación de la actividad educativa con estudiantes de 4º de ESO (véase el capítulo 6), la fase inicial favoreció que aflorasen las ideas previas de los estudiantes sobre los aspectos de NDC tratados, las cuales fueron el punto de partida para promover su evolu-

ción hacia concepciones mejor informadas. Las discusiones promovidas por la educadora durante la puesta en común de todos los grupos tuvieron un papel determinante en la mayoría de los casos. Posibilitó que los grupos volvieran a meditar sus respuestas al disponer de más argumentos y puntos de vista. Por tanto, como en otros estudios (e.g., García-Carmona y Acevedo-Díaz, 2017; Williams y Rudge, 2016), la intervención de la educadora fue un factor clave para el buen desarrollo de la actividad. Desde el inicio de la actividad hubo que insistir a los estudiantes MAES en que debían argumentar las respuestas, con alusiones directas al caso histórico, pero esto no se consiguió siempre. Muchas personas con formación científica, como los participantes en esta actividad, no están habituadas a analizar aspectos de NDC, y menos aún a argumentarlos adecuadamente (Justi y Mendonça, 2016). Los participantes en el estudio no se habían enfrentado antes al análisis reflexivo de un caso histórico de la ciencia, de modo que hay aspectos que no habrían sido motivo de reflexión posterior de no haberse abordado explícitamente en la puesta en común. De ahí la importancia de los debates y las intervenciones de la educadora.

Fruto de la puesta en común con todos los grupos, y atendiendo a la segunda cuestión de investigación, se logró una mejora en el 75% de los casos posibles en las respuestas finales<sup>27</sup>. Aunque, como también muestran esos mismos resultados, el efecto de las discusiones no fue homogéneo, y en bastantes casos el progreso fue pequeño (27,5%) o nulo (22,5%). Incluso se dio la regresión de un grupo (G2) en una cuestión (C9). En otros trabajos también se han encontrado retrocesos en algunas respuestas del profesorado en formación, lo que a veces se ha atribuido a la dificultad para enseñar un tema tan complejo como la NDC y conseguir que los estudiantes mejoren sus concepciones sobre esta (Golabek y Amrane-Cooper, 2011); o bien a que la construcción del conocimiento no es generalmente lineal (Vázquez-Alonso y Manassero, 2013).

Como se ha señalado antes, los estudiantes MAES progresaron en el 75% de todos los casos posibles en las respuestas finales en el estudio presente (aproximadamente el 88% en los aspectos epistémicos y el 60% en los no-epistémicos). Ello, unido a los buenos resultados obtenidos en otro estudio (García-Carmona y Acevedo-Díaz, 2017), corrobora la fortaleza del uso de textos de HDC mediante intervenciones docentes cortas para aprender sobre aspectos epistémicos y no-epistémicos de NDC. En resumen, la actividad se mostró eficaz para mejorar la comprensión de los estudiantes MAES en la mayoría de los aspectos de NDC tratados, sobre todo en los epistémicos. Incluso los resultados finales podrían haber sido mejores en los no-epistémicos, si los grupos hubieran hecho referencias a ciertos descriptores de la rúbrica de la tabla 7, con los que los que dijeron estar de acuerdo en la puesta en común, pero que luego no registraron en sus respuestas finales, como sucedió en las cuestiones C8 y C9.

No obstante, la implementación de la actividad tuvo también limitaciones que deben ser consideradas en el futuro, con el fin de mejorar la eficacia de la lectura de casos de HDC para aprender sobre NDC. Por ejemplo, sería interesante añadir alguna pregunta que invite a los estudiantes MAES a hacer una evaluación metacognitiva del proceso, incidiendo en qué aspectos han entendido bien y cuáles no (García-Carmona, 2012b). Asimismo, es necesario insistir con frecuencia a los estudiantes MAES en que incluyan y argumenten todas sus respuestas con alusiones directas al caso histórico en los informes. De este modo, se podría evitar que se pierdan referencias a ciertos descriptores de la rúbrica con los que dijeron estar de acuerdo en la puesta en común, pero que luego no expresaron por escrito, como sucedió en algunas cuestiones. Además, el educador debería revisar todas las respuestas iniciales de los grupos antes de la puesta en común. De este modo, algunas de las ideas me-

<sup>27</sup> El porcentaje se ha calculado sobre 40 respuestas, que es el número máximo de respuestas de los 4 grupos en las 10 cuestiones.

nos adecuadas podrían ser identificadas para su discusión durante esa sesión, aunque no estuvieran explícitas en las preguntas de NDC inicialmente planteadas.

Por último, se puede decir que el uso de narraciones de HDC no solo es útil para mejorar la comprensión de estudiantes MAES de ciencia sobre aspectos epistémicos y no-epistémicos de NDC, sino también para que conozcan una posible estrategia de enseñanza con la que abordar tales aspectos en sus futuras clases de ciencia. Además, puede favorecer que se interesen por la NDC y, en consecuencia, le adjudiquen un estatus similar al de otros contenidos más clásicos del currículo de ciencia escolar. En cualquier caso, se necesitan más investigaciones para profundizar en todas estas cuestiones.

## 8. Estudio de la implementación de la controversia entre Pasteur y Liebig sobre la fermentación en la formación inicial del profesorado de ciencia

Este capítulo presenta un estudio cualitativo de tipo interpretativo, relativo a la comprensión de diversos aspectos epistémicos y no-epistémicos de NDC, a partir de un análisis crítico y reflexivo de la controversia de HDC entre Pasteur y Liebig sobre la fermentación<sup>28</sup>. La actividad se implementó, durante el curso 2015-16, con estudiantes de profesorado de Física y Química de Educación Secundaria.

### 8.1 Preguntas que dirigen la investigación

El estudio se concretó en responder a las siguientes preguntas de investigación

1. ¿Qué concepciones sobre NDC muestran los estudiantes de profesorado tras una primera lectura reflexiva de la controversia histórica?
2. ¿Qué papel juega la puesta en común y discusión crítica en clase de las primeras reflexiones de los estudiantes de profesorado sobre los aspectos de NDC tratados en la controversia?
3. ¿Qué cambios se producen en las concepciones de los estudiantes de profesorado sobre NDC después de concluir la actividad?

### 8.2 Aspectos contextuales de la investigación

#### 8.2.1 Descripción de la actividad

La actividad, que se implementó por uno de los coautores mediante una intervención docente de corta duración en cuatro sesiones, propone la lectura de una narración histórica de la controversia entre Pasteur y Liebig sobre la fermentación, junto a una discusión crítico-reflexiva de diversas cuestiones sobre aspectos epistémicos y no-epistémicos de NDC reconocibles en el relato. El texto de la narración se ha descrito con anterioridad brevemente en la sección 3.1.2.

#### 8.2.2 Participantes

En España es necesario obtener un título de postgrado denominado Máster Universitario en Profesorado de Educación Secundaria para poder ejercer la profesión docente en Educación Secundaria (MAES). Este consta de: (i) un módulo genérico para todas las especialidades docentes, que proporciona una formación psicopedagógica general; (ii) un módulo orientado a la formación específica de cada especialidad docente; y (iii) un módulo de prácticas en centros educativos. Para poder acceder al Máster, los estudiantes deben poseer, al menos, un título de graduado universitario.

El presente estudio se llevó a cabo durante el curso 2015-16 en la Universidad de Sevilla con estudiantes de la especialidad docente de Física y Química del citado Máster. El grupo-clase estaba compuesto por 19 estudiantes (10 mujeres y 9 hombres), de los que había 2 graduados en Ciencias Físicas, 2 graduados en Biotecnología, 13 graduados en Ciencias Químicas, y 2 graduados en Ingeniería Química.

<sup>28</sup> Este estudio se ha publicado en la revista *Science & Education* (García-Carmona y Acevedo-Díaz, 2017).

La asignatura elegida para implementar la actividad objeto de análisis fue *Aprendizaje y Enseñanza de las materias de Física y Química*, que cuenta con 60 horas presenciales. Esta tiene como propósito proporcionar a los estudiantes de profesorado (estudiante MAES, en lo sucesivo) una formación inicial sobre las finalidades de la educación científica básica; las concepciones de los alumnos y sus dificultades en el aprendizaje de la ciencia; el currículo de ciencia escolar; el diseño y desarrollo de unidades didácticas para enseñar ciencia; los materiales y recursos para la enseñanza de la ciencia; y la evaluación en la educación científica.

La actividad se llevó a cabo dentro de una unidad breve denominada *¿Qué es la Ciencia? Algunas reflexiones sobre la naturaleza de la ciencia y sus implicaciones didácticas*. El currículo de ciencia de Educación Secundaria en España no es muy explícito en sugerir la NDC como un contenido esencial de la educación científica. Sin embargo, el plan de estudios del Máster sí establece que los estudiantes MAES deban adquirir una comprensión básica sobre NDC y su enseñanza. Previamente, los estudiantes MAES no habían recibido formación explícita sobre NDC y su enseñanza.

### 8.2.3 Objetivos de la actividad

Con esta actividad, se pretende el aprendizaje de los siguientes aspectos de NDC:

1. Reconocer qué marcos teóricos diferentes implican interpretaciones diferentes de las observaciones científicas.
2. Establecer un significado preciso de teoría científica.
3. Comprender la complejidad de las metodologías científicas.
4. Valorar el papel de los errores en la investigación científica.
5. Reconocer el papel de la creatividad y la imaginación de los científicos en sus investigaciones.
6. Explicar por qué una teoría científica puede dominar sobre otras.
7. Valorar la influencia de factores extra-científicos o contextuales (aspectos no-epistémicos) en el desarrollo de la ciencia.
8. Reconocer la utilidad de las controversias científicas para el avance de la ciencia.

### 8.2.4 Cuestiones de NDC planteadas.

Las cuestiones planteadas para reflexionar sobre los aspectos de NDC abordados en la actividad se indican en la tabla 8.

**Tabla 8. Cuestiones propuestas sobre aspectos de NDC para reflexionar a partir de la lectura de la controversia entre Pasteur y Liebig sobre la fermentación.**

C1. ¿Por qué crees que pueden darse diferencias importantes en la interpretación científica de un fenómeno natural, como en el caso de Pasteur y Liebig respecto a la fermentación?
C2. De acuerdo con lo que has leído en el texto, ¿cómo explicarías qué es una teoría científica?
C3. Según lo expuesto en el texto, ¿en qué medida estás de acuerdo con que las investigaciones científicas se desarrollan básicamente mediante procesos sucesivos de experimentación y comprobación?
C4. A partir de lo leído sobre la controversia científica de la fermentación, ¿qué importancia crees que tienen los errores que comenten los científicos en el desarrollo de la ciencia?
C5. Según lo que has leído en el texto, ¿qué papel crees que tienen la creatividad e imaginación de los científicos en sus investigaciones?
C6. ¿Por qué motivos crees que las ideas de Pasteur sobre la fermentación tuvieron más éxito que las de Liebig en su época?
C7. ¿De qué manera crees que los contextos sociocultural, político, económico, etc. de cada época pueden influir en el desarrollo de la ciencia? Explicalo para este caso de la fermentación.
C8. ¿Qué interés crees que puede tener para el avance de la ciencia que existan disputas o desacuerdos entre científicos sobre un problema de investigación?

### 8.2.5 Evaluación de la comprensión de los aspectos de NDC abordados

La fuente de datos para la evaluación fueron los informes de los equipos donde registraron sus respuestas iniciales y finales a las cuestiones de NDC propuestas. Además, para valorar la contribución que tuvo la discusión en clase de las respuestas iniciales de los grupos en el cambio de sus concepciones sobre los aspectos de NDC tratados, el educador grabó en audio la sesión para su posterior análisis.

Para evaluar las ideas de los estudiantes MAES y la progresión de estas tras la actividad, los investigadores diseñaron la rúbrica de la tabla 9, que se preparó de acuerdo con lo indicado en la sección 5.2 del capítulo 5. Los niveles de aprendizaje para cada uno de los aspectos de NDC, y los descriptores correspondientes, se recogen en la tabla 9.

**Tabla 9. Rúbrica de evaluación de ideas sobre NDC en el contexto de la controversia entre Pasteur y Liebig sobre la fermentación.**

Contenido de NDC	Nivel 4(*)
C1. Diferencias en la interpretación científica de un mismo fenómeno	Se citan las cuatro razones siguientes: (i) Si los científicos se alinean con marcos teóricos diferentes, posiblemente interpretarán una misma observación de manera distinta. (ii) Si los científicos utilizan marcos teóricos diferentes, posiblemente diseñarán experimentos distintos y no observarán lo mismo. (iii) La naturaleza no ofrece datos y evidencias tan simples como para que puedan ser interpretados sin ambigüedades a partir de resultados empíricos. (iv) Las ideas científicas pueden ser interpretadas de manera diferente según el campo científico desde el que se está enfocando la investigación.
C2. Concepción de teoría científica	Se citan las cuatro razones siguientes: (i) Las teorías científicas son explicaciones de los fenómenos naturales. (ii) Las leyes y teorías científicas son conocimientos científicos diferentes; por tanto, ambas tienen distinto estatus epistemológico y no guardan una relación jerárquica. (iii) La validez de una teoría científica se determina por consenso en la comunidad científica tras muchas comprobaciones. (iv) Uno de los rasgos de las teorías científicas es su provisionalidad.
C3. Metodología de investigación científica	Se citan las cuatro razones siguientes: (i) No existe un método científico algorítmico y universal. Los científicos usan una diversidad de enfoques y estrategias para generar conocimiento, incluyendo observación, inferencia, experimentación, modelización, etc. (ii) El desarrollo de la investigación científica se ve influido por el marco teórico de referencia de los científicos. (iii) El desarrollo de una investigación se ve influido por las creencias personales, las actitudes y habilidades de los científicos, así como su creatividad y originalidad. (iv) Los diferentes esquemas de clasificación influyen en la metodología, porque orientan la investigación de una manera u otra.
C4. Papel de los errores en el desarrollo de la ciencia	Se citan las cuatro razones siguientes: (i) Muchos errores son inevitables en la investigación científica, y el error suele ser la regla más que la excepción; pero, a pesar de ello, la ciencia avanza así. (ii) Algunos errores pueden retrasar el progreso de la ciencia, pero otros pueden conducir a nuevos descubrimientos. (iii) Cuando los científicos aprenden de sus errores y los van corrigiendo, la ciencia progresa. (iv) 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. En muchas ocasiones se han hecho grandes descubrimientos refutando una teoría y aprendiendo de sus supuestos falsos.
C5. Papel de la creatividad e imaginación en la investigación científica	Se citan, al menos, cuatro de las razones siguientes: Los científicos son creativos cuando (i) formulan preguntas de investigación novedosas para el avance de la ciencia. (ii) establecen hipótesis imaginativas y originales (iii) diseñan experimentos ingeniosos y rigurosos. (iv) interpretan los hechos empíricos mediante la construcción de descripciones y modelos creativos sobre el comportamiento de la naturaleza.

C6. Dominancia de unas teorías frente a otras	Se citan las cuatro razones siguientes: La teoría (i) ha sido comprobada con éxito un número de veces mayor. (ii) explica los resultados experimentales con más sencillez que las teorías alternativas. (iii) abre el camino a nuevas investigaciones. (iv) tiene utilidad práctica para el desarrollo de alguna técnica o proceso tecnológico, o para resolver necesidades sociales.
C7. Influencia de factores extra-científicos o contextuales en el desarrollo de la ciencia	Se citan las cuatro razones siguientes: (i) Habilidad retórica y en estrategias semánticas de los científicos para persuadir de las ideas propias. (ii) Apoyo político a la investigación (e.g., apoyo del Emperador Napoleón III a las investigaciones de Pasteur). (iii) Impacto de la ciencia en asuntos socio-económicos (e.g., importancia de las investigaciones científicas para la resolución de ciertas necesidades industriales). (iv) Papel de la ciencia en asuntos socio-políticos (e.g., patriotismo nacionalista: “ciencia francesa” vs. “ciencia alemana”).
C8. Papel de las controversias entre científicos en el desarrollo de la ciencia	Se citan las cuatro razones siguientes: (i) La existencia de teorías diferentes sobre un mismo asunto científico es un gran estímulo para el avance de la ciencia. (ii) 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. (iii) Se suelen desarrollar técnicas experimentales novedosas en el transcurso de tales procesos (e.g., así sucedió con el trabajo realizado sobre la fermentación por Büchner). (iv) Las controversias científicas ponen de manifiesto el carácter tentativo y dinámico de la ciencia, en permanente (re)construcción, aunque a veces haya estancamientos
(*) Para los demás casos, y tomando el Nivel 4 como referente máximo, los restantes niveles de respuestas se establecen como sigue: Nivel 3: Se citan tres razones de las descritas en el Nivel 4. Nivel 2: Se citan dos razones de las descritas en el Nivel 4. Nivel 1: Se cita una razón de las descritas en el Nivel 4. Nivel 0: No se cita ninguna razón, o las que se dan son inconsistentes con las descritas en el Nivel 4.	

La rúbrica inicial, elaborada por uno de los investigadores, contenía un total de 35 descriptores que caracterizan los 8 aspectos de NDC seleccionados para el estudio. Esta primera rúbrica se sometió al escrutinio del otro investigador, que siguió un procedimiento similar al del primero y mostró su acuerdo con el 71% de los descriptores que la componían. Por consenso, se eliminaron 6 descriptores (uno en cada una de las cuestiones C1, C3 y C6, y tres en C7) y se añadieron 4 (uno en cada una de las cuestiones C1 y C3, y dos en C7). Por último, se acordó también unir dos descriptores de C5 en uno solo, así como ampliar el contenido de un descriptor de C3. Por tanto, la rúbrica final quedó constituida por un total de 32 descriptores para los niveles máximos (niveles 4) de los diferentes aspectos de NDC tratados (tabla 9).

Una vez obtenida la rúbrica definitiva, los investigadores volvieron a evaluar por separado las respuestas de los grupos. Al comparar los resultados, obtuvieron un grado de acuerdo global del 91% en la clasificación de las respuestas dadas por los grupos en la fase inicial de la actividad, y del 94% en la clasificación de las dadas en la fase final. Así pues, fue necesario hacer una segunda ronda de análisis sobre los aspectos en los que se encontraron discrepancias entre los investigadores. Para resolver estas discrepancias, los investigadores se dieron un tiempo para valorar de nuevo sus propias asignaciones de niveles y contrastarlas entre sí. Fruto de este proceso, y tras varias discusiones entre ambos investigadores, lograron alcanzar un acuerdo pleno de las clasificaciones.

Por último, con el fin de atender a la confirmabilidad del análisis realizado (esto es, el criterio de objetividad en análisis cualitativos), en el apéndice se muestran *descriptores de baja inferencia* (Seale, 1999). Estos se concretan en ejemplos de fragmentos de respuestas textuales de los grupos para ilustrar cómo fue aludida la mayoría de los 32 descriptores de los 8 aspectos de NDC abordados en la rúbrica (tabla 9).

<sup>29</sup> El porcentaje está calculado sobre 64, que es el número máximo de respuestas de los 8 grupos a las 8 cuestiones planteadas.

### 8.3 Resultados

#### 8.3.1 Concepciones de los grupos después de la lectura del texto de la controversia: diagnóstico de las ideas previas sobre NDC de los estudiantes MAES

Tras la lectura inicial del relato, la gran mayoría de las respuestas de los grupos a las distintas cuestiones no superó el nivel 1 (figura 6); esto es, no se citó ninguna razón (29,7 %<sup>29</sup> de las respuestas) o solo una (43,8% de las respuestas) de las indicadas en la rúbrica (tabla 9). Además, el nivel 4 no se logró en ningún caso. Por tanto, los resultados globales fueron mediocres, aunque no son homogéneos en todas las cuestiones. Así, en C4 (papel de los errores) y C8 (papel de las controversias), predominó el nivel 2 (se citan dos razones en las respuestas), mientras que en las restantes cuestiones la mayoría se situó entre los niveles 0 y 1. El peor resultado se obtuvo en C3 (metodología de investigación científica), seguido de las cuestiones C5 (creatividad) y C6 (dominancia de teorías).

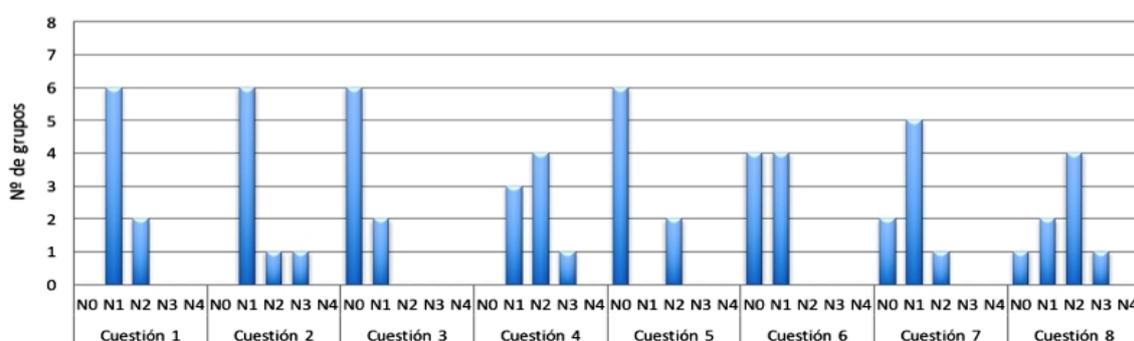


Figura 6. Niveles de respuestas alcanzados por los grupos en la fase inicial de la actividad.

Además de indicar los niveles alcanzados por los grupos en las distintas cuestiones, es interesante hacer referencia a las razones que fueron expresadas en sus respuestas, de acuerdo con la rúbrica de evaluación (en el apéndice se indica el número de grupos que citaron las diferentes razones para cada cuestión en las respuestas iniciales y finales). Así, en las respuestas de los grupos se encontraron alusiones a todas las razones establecidas como referentes en las cuestiones C1 (interpretación de un mismo fenómeno), C4 y C6. No obstante, la frecuencia de tales menciones fue dispar. En C1, la razón más citada (cuatro grupos) fue “*Si los científicos se alinean con marcos teóricos diferentes, posiblemente interpretarán una misma observación de manera distinta.*”, mientras que “*Si los científicos utilizan marcos teóricos diferentes, posiblemente diseñarán experimentos distintos y no observarán lo mismo.*” fue citada por un solo grupo. En C4, la razón citada por todos los grupos fue “*Cuando los científicos aprenden de sus errores y los van corrigiendo, la ciencia progresa*”, en cambio solo un grupo se refirió a la idea de que “*Muchos errores son inevitables en la investigación científica, y el error suele ser la regla más que la excepción [...]*”. En C6, cada una de las razones establecidas en la rúbrica para esta cuestión solo se citó una vez.

Cabe añadir que en las respuestas iniciales de los grupos no se hizo referencia a 9 de las 32 razones que se indican entre todas las cuestiones de la rúbrica (tabla 9). Estas 9 razones son las siguientes: “*Las leyes y teorías científicas son conocimientos científicos diferentes [...]*” (C2); “*No existe un método científico algorítmico y universal [...]*”, “*El desarrollo de una investigación se ve influido por las creencias personales, las actitudes y habilidades de los científicos [...]*”, y “*Los diferentes esquemas de clasificación influyen en la metodología [...]*” (C3); Los científicos creativos “*formulan preguntas de investigación novedosas para el avance de la ciencia.*”, e “*interpretan los hechos empíricos mediante la construcción de descripciones y modelos creativos [...]*” (C5); Influencia de la “*habilidad retórica y en estrategias semánticas de los científicos para persuadir de las ideas propias.*” y el “*Papel*”

de la ciencia en asuntos socio-políticos (e.g., patriotismo nacionalista: “ciencia francesa” vs. “ciencia alemana”).” (C7); y en las controversias científicas “se suelen desarrollar técnicas experimentales novedosas [...]” (C8).

En resumen, en las respuestas iniciales de los grupos no fueron aludidas algo más de la cuarta parte de las razones previstas en la rúbrica (tabla 9) como respuestas expertas a las cuestiones, a pesar de que todos esos aspectos estaban presentes en la narración. Este es otro indicativo de que la lectura inicial no fue todo lo eficaz que se deseaba.

Por último, hay que añadir que afloraron algunas concepciones ingenuas o poco informadas en las respuestas de algunos grupos. Así, respecto a C1, el grupo G2 hace referencia a las “etapas del método científico”: “*Es el resultado que se obtiene para explicar un fenómeno o proceso aplicando las etapas del método científico [...]*”. Y en C3, G3 parece identificar “experimentación y comprobación” con “ensayo y error”: “[...] *los errores, son también clave en este aspecto, puesto que son, en la mayoría de los casos, los hilos conductores para dirigir la experimentación (proceso de ensayo y error) [...]*”.

### 8.3.2 *Discusión de las concepciones iniciales de los grupos en la puesta en común*

Durante la sesión de puesta en común en clase, los grupos expusieron sus respuestas a las cuestiones de NDC, elaboradas después de leer la narración de la controversia de HDC y reflexionar críticamente sobre su contenido. Para cada cuestión, algunos grupos comenzaron presentando de manera voluntaria sus respuestas a los demás. Los demás grupos debían mostrar sus acuerdos o desacuerdos con el contenido de esas respuestas. Cuando había desacuerdos, el educador animaba al debate razonado entre los grupos. Sería muy prolijo detallar todo lo ocurrido durante la puesta en común. En los párrafos siguientes, se exponen algunas de las discusiones más interesantes para mostrar las principales estrategias del educador para promover la discusión cuando esta no se iniciaba o se atascaba, o bien cuando las ideas presentadas sobre la NDC estaban alejadas de las consideradas más adecuadas.

Surgieron algunas dudas entre los grupos respecto a la noción de teoría científica. Lo que sigue es un fragmento de la discusión que se produjo en clase al respecto, e ilustra cómo algunas concepciones equivocadas se intentaron reconducir, como la confusión de una ley o de un teorema con una teoría:

[...]

Estudiante de profesorado 6 (EP6): [Una teoría] es un hecho que se ha demostrado...

EP8: Bueno, decir que una teoría es un hecho [...] no me parece que sea correcto. Para mí, una teoría es un conjunto de ideas para explicar un hecho. Sería la explicación del hecho.

Educador (ED): ¿Podéis poner ejemplos de teorías científicas que conozcáis?

EP4: Teoría de la Evolución.

EP8: Teoría de la Relatividad.

[...]

EP16: Teoría de las fuerzas vivas en el estudio de la conservación de la energía.

ED: ¿Lo que alude el compañero [EP16] sobre las fuerzas vivas es una teoría?

EP8: Es un principio...

EP12: Yo creo que no es una teoría, porque una teoría intenta explicar un hecho natural [...] dar una explicación científica del hecho, una interpretación...

EP3: Es una ley, ¿no?

ED: Y... ¿qué es una ley? ¿Podéis dar algunos ejemplos?

EP3: Leyes de los gases ideales.

EP4: Las leyes de Newton.

ED: ¿Qué nos dicen estas leyes?

EP3: Establecen relaciones entre magnitudes.

ED: Entonces, ¿es lo mismo [establecer relaciones entre magnitudes] que la interpretación de un fenómeno?

EP3: Umm!! No.

A fin de reforzar la diferencia entre ley y teoría, el educador contó lo siguiente:

ED: Conocéis la ley de gravitación universal de Newton, ¿verdad? Pues una de las críticas que le hicieron a Newton cuando la formuló fue que no explicaba por qué existía la fuerza de la gravedad. Él se defendió diciendo que no sabía por qué existía dicha fuerza; que con su ley se limitaba a explicar cómo funciona esa fuerza mediante la relación de magnitudes que la integran.

Así pues, el educador hizo preguntas auxiliares en la discusión sobre la noción de teoría científica, para enriquecer el debate y generar conflictos cognitivos, y añadió cierta información (en este caso, un ejemplo de otro caso de HDC).

Otra parte destacable de la puesta en común fue la discusión del significado y papel del error en el contexto de la controversia entre Pasteur y Liebig. Lo siguiente es un extracto de lo que se discutió sobre ello y cómo el educador trató de encauzar el debate hacia ideas mejor informadas por medio de preguntas auxiliares para generar conflictos cognitivos principalmente<sup>30</sup>:

EM12:[...]La única forma que hay de profundizar experimentalmente es llegando a equivocarte. Si no te equivocas y aciertas a la primera, pues estupendo. Pero normalmente es ensayo y error...

ED: ¿Estás intentando decir que cuando se hace un experimento, si el investigador acierta a la primera con su hipótesis, se debe dar por satisfecho?

EM12: Bueno, es que es muy difícil que se compruebe a la primera.

ED: Y el error, ¿cómo lo detecta el investigador? ¿Sabe cuándo ha tenido un error?

EM11: En algunas ocasiones lo sabe, y si no, seguramente se lo dirán otros.

ED: ¿Puedes poner un ejemplo?

EM11: Por ejemplo, cuando estás en el laboratorio haciendo una reacción química y quieres obtener un resultado final, pero luego no lo obtienes.

ED: Eso es porque tú tienes un marco teórico en la cabeza y sabes lo que debería obtenerse, ¿no? Pero, ¿y si no existe un marco teórico sólido? En el caso de la controversia no había un marco teórico previo consistente, de hecho Liebig y Pasteur estaban siendo los precursores. Además, ninguno de los dos llegó a explicar bien el fenómeno de la fermentación.

EM4: Yo no entiendo a qué nos referimos con error en este contexto porque ellos [Pasteur y Liebig] no se estaban equivocando. Ellos estaban malinterpretando en función de lo que pensaban filosóficamente. En la época de estos señores había una discusión en todos los ámbitos de la ciencia entre el mecanicismo y el vitalismo. Así que ellos no se equivocaron, sino que dijeron: “sobre lo que yo sé, esto es lo que puedo concluir.”

ED: ¿Creéis que ellos pensaron que estaban equivocados en algún momento? Porque nosotros tenemos la ventaja de la perspectiva del tiempo para juzgar sus propuestas...

EM15: Tendemos a pensar que el error es algo malo, y en la ciencia realmente un error es un avance, te hace reconducir tus investigaciones...

<sup>30</sup> ED es educador. EM es estudiante MAES.

EM5: La prueba de que las interpretaciones de Pasteur y Liebig no eran un error total es que sirvieron de punto de partida para las investigaciones posteriores sobre el fenómeno [de la fermentación].

EM4: Yo es que pienso que los dos tenían razón.

EM8: A ver, la parte explicativa de sus teorías no era correctas. Habían hecho experimentos interesantes, pero no fueron bien explicados...

EM4: Pienso que cada uno dio una explicación parcial del fenómeno... Entonces, si juntas las dos... cuando se muele el fermento o la levadura encuentras que lo que hay dentro es una reacción química, que era lo que proponía Liebig. Pero al final necesita la participación de un ser vivo; con lo cual, es una superposición de explicaciones evidentemente mejorable. Porque eso es lo bueno de la ciencia, que como se construye por capas, al final llega uno [se refiere a Büchner] que te limpia de filosofía toda la explicación anterior y da una explicación científica más correcta que las de Pasteur y Liebig.

También resultó interesante la discusión mantenida en torno a la dominancia de una teoría frente a otra teoría en el contexto de la controversia. El siguiente fragmento ilustra parte de la conversación mantenida en clase sobre ello y la estrategia del educador para enriquecer el debate mediante preguntas auxiliares e información adicional:

[...]

ED: Imaginaos que ambos científicos [Liebig y Pasteur] publicaran sus trabajos en una revista científica, ¿en qué creéis que se fijarían los lectores para decantarse por una teoría u otra?

EM15: La comunicación de una teoría es importante para convencer. Si está bien explicada, los protocolos de la investigación están bien explicados, las veces que se hecho el experimento..., no sé. Cuanto mejor lo explique, quien dé más detalles... más posibilidades de convencer tendrá.

EM4: En este caso, lo que pasa es que Pasteur tenía una teoría muy clara: esto [la fermentación] lo produce un ser vivo, entonces dijo [Pasteur]: “*fijaos, el vino se pone malo, por qué, porque actúa un ser vivo. ¿Y cómo podemos arreglar eso? Matando al ser vivo.*” Entonces creó la pasteurización salvando el sector vinícola francés. Claro, todos los demás dijeron: “*¡Oh, funciona su teoría!*”, y esto lo puso en primera línea. Creó una nueva tecnología, la pasteurización que ha salvado bastantes vidas.

ED: O sea, que tuvo [la teoría de Pasteur] una aplicabilidad inmediata, ¿no? Además, tuvo un impacto social significativo por la importancia del vino en la sociedad francesa, ¿verdad?

De forma global, se puede decir que el educador empleó sobre todo tres estrategias durante la fase intermedia de la actividad: la generación de conflictos cognitivos, la formulación de nuevas preguntas para enriquecer los debates, y la introducción de información adicional en forma de ejemplos de otros casos de HDC. Después de esta sesión, los grupos revisaron sus respuestas iniciales para realizar los cambios que consideraron apropiados. Por tanto, la efectividad de estas estrategias puede ser valorada a partir de los resultados finales presentados en la sección que sigue.

### 8.3.3 Concepciones de los grupos después de la puesta en común

Las respuestas finales de los grupos que no superaron el nivel 1 se redujeron a algo más de la mitad (figura 7). La mayoría de las respuestas a las distintas cuestiones se situaron en el nivel 2 (43,8 % de las respuestas); esto es, se citaron 2 razones en las respuestas. Asimismo, se alcanzó cuatro veces el

nivel 4. En general, y atendiendo a los niveles de respuestas más altos (niveles 3 y 4), los resultados mejores fueron en las cuestiones C2 (concepto de teoría) y C8 (papel de las controversias) con cuatro grupos cada una. Por el contrario, con el mismo criterio anterior, los resultados más deficientes se observaron en las cuestiones C1 (interpretación de un mismo fenómeno), C3 (metodología de investigación científica) y C6 (dominancia de teorías), para las que ningún grupo logró situar sus respuestas finales en los niveles 3 o 4. Si bien, es cierto que en estas cuestiones entre cuatro y cinco grupos aumentaron, al menos, un nivel respecto a sus respuestas iniciales.

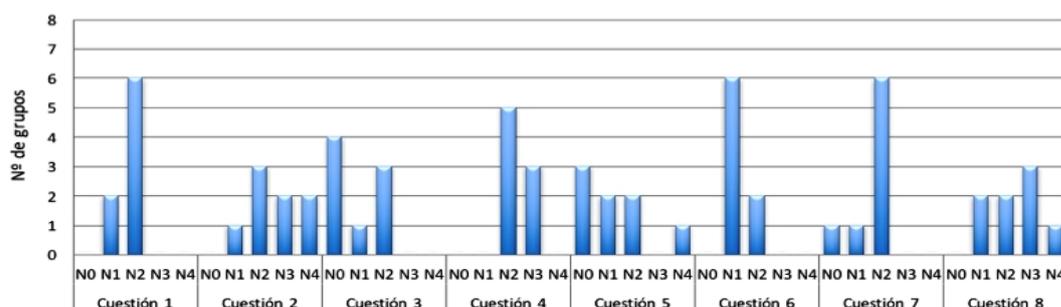


Figura 7. Niveles de respuestas alcanzados por los grupos en la fase final de la actividad.

Cabe resaltar que, tras la puesta en común en clase y revisión de los argumentos iniciales, las referencias de los grupos en sus respuestas a las distintas razones expuestas en la rúbrica (tabla 9) para las 8 cuestiones aumentaron de modo notable. Esto revela cierta progresión global en la comprensión de los estudiantes MAES sobre los aspectos de NDC tratados. Por citar aquí algunos ejemplos (todos los resultados al respecto se incluyen en el apéndice), en C2, la razón referida a que “Las leyes y teorías científicas son conocimientos científicos diferentes; por tanto, ambas tienen distinto estatus epistemológico y no guardan una relación jerárquica.”, no fue citada en las respuestas iniciales por ningún grupo, mientras que en las respuestas finales lo fue por tres grupos. Asimismo, “La validez de una teoría científica se determina por consenso en la comunidad científica tras muchas comprobaciones.” pasó de ser aludida por tres grupos en la fase inicial a seis grupos en la fase final. Y en C5, el descriptor que dice que los científicos “diseñan experimentos ingeniosos y rigurosos.” pasó de ser referido por dos grupos en la fase inicial a cinco grupos en la fase final. Es destacable también, como otro ejemplo de tal evolución, el aumento considerable en las respuestas a C6 de alusiones a que una teoría científica es dominante cuando “tiene utilidad práctica para el desarrollo de alguna técnica o proceso tecnológico, o para resolver necesidades sociales.”, que pasó de ser citada por un solo grupo en la fase inicial a serlo por seis grupos en la fase final.

Aun así, en las respuestas finales no se citaron 4 de las 32 razones o aspectos posibles indicados en la rúbrica; a saber: “No existe un método científico algorítmico y universal [...]”, y “Los diferentes esquemas de clasificación influyen en la metodología [...]” (C3); Influencia de la “habilidad retórica y las estrategias semánticas de los científicos para persuadir de las ideas propias.”, y el “Papel de la ciencia en asuntos socio-políticos (e.g., patriotismo nacionalista: “ciencia francesa” vs. “ciencia alemana”).” (C7).

Por otra parte, G2 sigue manteniendo una idea poco informada con respecto al “método científico” en sus respuestas a C1 y C2, asumiendo que este es un proceso de etapas algorítmicas: “... La primera etapa del método científico para explicar un fenómeno natural es...”. Asimismo, G3 asume, en su respuesta a C2, una relación jerárquica entre ley y teoría, con mayor rango para las leyes: “[las teorías] toman el carácter de leyes cuando es demostrada su veracidad...”.

Un resumen de las evoluciones positivas de los niveles de respuesta alcanzados por los grupos para cada cuestión de NDC abordada en este estudio se muestra en la tabla 10.

**Tabla 10. Evolución positiva de los niveles de respuesta alcanzados por los grupos en cada pregunta NOS después de concluir la actividad.**

Cuestiones	Evolución de niveles	Número de grupos
C1. Diferencias en la interpretación científica de un mismo fenómeno	N1 → N2	4
C2. Concepción de teoría científica	N1 → N2	3
	N1 → N3	1
	N1 → N4	1
	N2 → N3	1
	N3 → N4	1
C3. Metodología de investigación científica	N0 → N2	2
	N1 → N2	1
C4. Papel de los errores en el desarrollo de la ciencia	N1 → N2	3
	N2 → N3	2
C5. Papel de la creatividad e imaginación en la investigación científica	N0 → N1	2
	N0 → N4	1
C6. Dominancia de unas teorías frente a otras	N0 → N1	4
	N1 → N2	2
C7. Influencia de los factores extra-científicos o contextuales en el desarrollo de la ciencia	N0 → N2	1
	N1 → N2	4
C8. Papel de las controversias entre científicos en el desarrollo de la ciencia	N0 → N1	1
	N1 → N3	1
	N2 → N3	2

#### 8.4 Conclusiones

Con relación a la primera cuestión de investigación, este estudio confirma lo que hemos dicho en las conclusiones del capítulo anterior (7.4); esto es, la eficacia mostrada por la lectura de controversias de HDC para hacer un diagnóstico interpretativo de las concepciones iniciales de los estudiantes MAES sobre los aspectos de NDC abordados en la narración.

Los estudiantes MAES mostraron, en general, una comprensión inicial bastante pobre sobre los aspectos de NDC abordados en la mayoría de las cuestiones. Sin embargo, el nivel inicial bajo no se debía a que tuvieran muchas concepciones ingenuas o inadecuadas sobre esos aspectos, ya que fueron bastante minoritarias, sino más bien a la escasez de alusiones a diferentes razones informadas en cada respuesta, de acuerdo con la rúbrica de evaluación (tabla 9). Este hallazgo es consistente con las conclusiones derivadas del estudio de Abd-El-Khalick y Lederman (2000). Las concepciones peor informadas de los estudiantes MAES tras la lectura inicial se concentraron en los aspectos relativos a la metodología de investigación científica, el papel de la creatividad e imaginación en la investigación científica, la dominancia de unas teorías científicas frente a otras, y la influencia de factores extra-científicos o contextuales en el desarrollo de la ciencia, que globalmente se situaron por debajo del nivel 1.

La lectura y reflexión inicial promovidas con la actividad favorecieron la manifestación de las ideas previas de los estudiantes MAES sobre los aspectos de NDC abordados. Estas supusieron el punto de partida para promover su evolución hacia ideas más adecuadas. Y como sucedió en los estudios expuestos en los dos capítulos anteriores, la intervención del educador durante la fase de puesta en común fue clave. Gracias a esta fase, se logró cierto progreso de aprendizaje en casi el 58% de los casos posibles (tabla 10). Por tanto, se puede decir que han resultado efectivas las estrategias del educador

basadas en la introducción de información adicional, tales como proponer ejemplos de otros casos de HDC, y hacer preguntas adicionales para enriquecer los debates y generar un conflicto cognitivo. No obstante, como también indican esos mismos resultados, el efecto de las discusiones no fue homogéneo, y en algunos casos el progreso fue mayor que en otros. Es posible que los aspectos con niveles de comprensión más bajos no recibieran suficiente tiempo de discusión y andamiaje por parte del educador para mejorarlos. Pero el tiempo disponible para la sesión conjunta era limitado, y los grupos mostraron mayor interés en algunos aspectos que en otros, lo que se reflejó en su mayor intervención en las discusiones correspondientes, y condicionó también la distribución del tiempo dedicado a cada uno de los aspectos tratados. Ahora bien, hay que resaltar que hubo algunos aspectos a los que se dedicó algo más de tiempo de discusión (e.g., papel del error en ciencia) que a otros (e.g., concepto de teoría científica) y, sin embargo, el progreso de su comprensión se dio en menor proporción. Por tanto, no disponemos de datos suficientes y fiables para determinar con rigor una posible relación entre el tiempo dedicado a la discusión de cada aspecto y el grado final de mejora del aprendizaje alcanzado.

Respecto a la tercera cuestión de investigación, los niveles de respuestas finales más altos se lograron en la concepción de teoría científica, el papel de los errores en ciencia y el papel de las controversias científicas en el desarrollo de la ciencia, siendo la evolución mayor en el primero de estos aspectos al partir de un nivel global inicial más bajo que en las otras dos cuestiones. La evolución y los niveles finales de las concepciones correspondientes al resto de aspectos también fueron destacables, pero menos que los anteriores. El nivel final global más bajo correspondió al relativo a la metodología científica; y el progreso menor de la comprensión fue en lo concerniente a las diferencias en la interpretación científica de un mismo fenómeno, cuya dificultad ha sido detectada también en otros estudios anteriores con estudiantes de profesorado de primaria (García-Carmona y Acevedo, 2016a, b). En resumen, la actividad se mostró eficaz para mejorar la comprensión de los estudiantes MAES sobre algunos de los aspectos de NDC tratados, pero no en otros en los que tal eficacia ha sido mucho menor de la deseable. Por tanto, será necesario meditar propuestas de mejora para implementaciones futuras de la actividad, en la línea que se comentará después. Además, hay que ser conscientes de que conseguir grandes logros de comprensión de la NDC mediante el uso de la HDC no es tarea fácil, como revelan otros estudios realizados en la formación inicial del profesorado (e.g., Abd-El-Khalick y Lederman, 2000; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2009; Rudge *et al.*, 2014); y menos aún con intervenciones cortas como la presente.

Asimismo, cabe destacar que algunos aspectos de la NDC analizados en este estudio (e.g., el papel de los errores en la investigación científica, la influencia de factores contextuales o extracientíficos, y el papel de las controversias entre científicos en el desarrollo de la ciencia) apenas se han abordado en investigaciones empíricas anteriores. En nuestra opinión, tales aspectos son esenciales para orientar la formación inicial del profesorado de ciencia hacia métodos de enseñanza más próximos a la práctica científica real.

Por otra parte, con el fin de mejorar la eficacia de la lectura de controversias y casos de HDC para aprender sobre NDC en intervenciones futuras, se consideran de interés varias sugerencias. Por ejemplo, se podrían añadir algunas preguntas para que los estudiantes MAES hagan una autoevaluación metacognitiva tras la primera lectura de la narración, con el fin de que indiquen los aspectos que han entendido bien y los que no (García-Carmona, 2012b). También puede ser útil para el educador que los estudiantes MAES indiquen el grado de confianza con que han expresado sus respuestas iniciales a las cuestiones de NDC formuladas. Todo ello requiere que el educador disponga de tiempo suficiente para revisar las respuestas iniciales de los grupos, así como las dudas y el grado de confian-

za de estos al expresarlas, antes de hacer la sesión conjunta en clase. De este modo, las ideas menos informadas, o expresadas con menor confianza por los estudiantes MAES, podrían ser identificadas y discutidas con mayor atención durante esa sesión, que se ampliaría a dos sesiones si fuese necesario. Junto a la generación de conflictos cognitivos para intentar que las ideas equivocadas de los estudiantes MAES evolucionen hacia otras más adecuadas, puede ser útil también que el educador introduzca más ejemplos de HDC seleccionados convenientemente, aunque sean de otros temas diferentes al tratado en el caso. A la vista de la discusión mantenida en la puesta en común sobre las diferencias entre ley y teoría científica (véase el extracto presentado en la sección 8.3.2 del apartado de resultados), posiblemente la alusión que el educador hizo a las críticas que Newton recibió cuando formuló su ley de Gravitación Universal, ayudó a que los estudiantes MAES mejoraran su comprensión al respecto, según los resultados finales obtenidos esa cuestión.

**Apéndice: Descriptores de la rúbrica citados en las respuestas de los grupos a las cuestiones en las fases inicial y final.**

Contenidos de NDC de las cuestiones	Descriptores de la rúbrica	Número de citas – Fase inicial	Número de citas – Fase final	Fragmentos de respuestas de los grupos con alusiones a los descriptores
C1. Diferencias en la interpretación científica de un mismo fenómeno	(i) Si los científicos se alinean con marcos teóricos diferentes, posiblemente interpretarán una misma observación de manera distinta.	4/8	5/8	"Porque cada uno tiene una percepción de la realidad y lo intenta justificar de la manera más correcta acorde con sus conocimientos."
	(ii) Si los científicos utilizan marcos teóricos diferentes, posiblemente diseñarán experimentos distintos y no observarán lo mismo.	1/8	2/8	"Cada científico se mueve dentro de un paradigma, de un marco de referencia dentro del cual desarrolla su investigación [...]".
	(iii) La naturaleza no ofrece datos y evidencias tan simples como para que puedan ser interpretados sin ambigüedades a partir de resultados empíricos.	2/8	2/8	"Un fenómeno natural puede llegar a ser un proceso complejo que puede dar lugar a distintos puntos de vista sobre su explicación."
	(iv) Las ideas científicas pueden ser interpretadas de manera diferente según el campo científico desde el que se está enfocando la investigación.	3/8	5/8	"[...] un fenómeno cualquiera no será explicado de la misma forma por un biólogo, por un físico o por un químico, sino que cada uno intentará explicarlo en base a sus conocimientos [...]"
C2. Concepción de teoría científica	(i) Las teorías científicas son explicaciones de los fenómenos naturales.	6/8	7/8	"Es un conjunto de ideas coherentes entre sí que pretenden explicar un hecho o un fenómeno."
	(ii) Las leyes y teorías científicas son conocimientos científicos diferentes; por tanto, ambas tienen distinto estatus epistemológico y no guardan una relación jerárquica.	0	3/8	"Las teorías son constructos y, como tal, son provisionales y revisables [...] puede(n) englobar distintas leyes (relaciones entre magnitudes), principios, conceptos, de modo que tendrá(n) una cierta complejidad."
	(iii) La validez de una teoría científica se determina por consenso en la comunidad científica tras muchas comprobaciones.	3/8	6/8	"Una teoría científica es una explicación a un fenómeno o a varios que está consensuada por la comunidad científica [...]".
	(iv) Uno de los rasgos de las teorías científicas es su provisionalidad.	2/8	5/8	"[...] destacar el carácter temporal de las teorías. Estas son las que en un momento determinado mejor explican un fenómeno [...]".

C3. Metodología de investigación científica	(i) No existe un método científico algorítmico y universal. Los científicos usan una diversidad de enfoques y estrategias para generar conocimiento, incluyendo observación, inferencia, experimentación, modelización, etc.	0	0	
	(ii) El desarrollo de la investigación científica se ve influido por el marco teórico de referencia de los científicos.	2/8	4/8	"[...] la experimentación y comprobación son fundamentales en la investigación científica, sin embargo debe existir una base teórica previa [...]".
	(iii) El desarrollo de una investigación se ve influido por las creencias personales, las actitudes y habilidades de los científicos, así como su creatividad y originalidad.	0	3/8	"[...] también se requiere [...] de creatividad o ingenio para diseñar buenos experimentos y de experiencia en el campo de la investigación que te permitan primero detectar los errores, e incluso interpretarlos [...]".
	(iv) Los diferentes esquemas de clasificación influyen en la metodología, porque orientan la investigación de una manera u otra.	0	0	
C4. Papel de los errores en el desarrollo de la ciencia	(i) Muchos errores son inevitables en la investigación científica, y el error suele ser la regla más que la excepción; pero, a pesar de ello, la ciencia avanza así.	1/8	1/8	"Los errores son importantes porque hay que tomarlos como parte integrante de una investigación. Tenemos un concepto negativo de la palabra error; cuando en realidad solo es un resultado diferente al esperado [...]".
	(ii) Algunos errores pueden retrasar el progreso de la ciencia, pero otros pueden conducir a nuevos descubrimientos.	3/8	6/8	"Los errores ralentizan el avance de la investigación en un tema, al mismo tiempo que permiten que los científicos se involucren más en el tema y lleguen a una conclusión certera."
	(iii) Cuando los científicos aprenden de sus errores y los van corrigiendo, la ciencia progresa.	8/8	8/8	"[...] es importante detectar que un resultado es erróneo según los resultados esperados por el modelo propuesto, pero, además, estos errores pueden suponer grandes avances para la ciencia."
	(iv) 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. En muchas ocasiones se han hecho grandes descubrimientos refutando una teoría y aprendiendo de sus supuestos falsos.	2/8	4/8	"A veces no se trata de errores, sino de malinterpretaciones de resultados que posteriormente pueden servir de ideas previas para nuevas líneas de investigación."
C5. Papel de la creatividad e imaginación en la investigación científica	(i) Formulan preguntas de investigación novedosas para el avance de la ciencia.	0	1/8	"[...] ser creativos para plantear problemas [...] Un científico sin imaginación está condenado al fracaso."
	(ii) Establecen hipótesis imaginativas y originales.	2/8	3/8	"La creatividad y la imaginación permiten [...] formular nuevas hipótesis que pueden dar paso a nuevos experimentos."
	(iii) Diseñan experimentos ingeniosos y rigurosos.	2/8	5/8	"La creatividad e imaginación son importantes en los científicos para diseñar experimentos que ayuden a comprobar las hipótesis formuladas a partir de la observación de la realidad."
	(iv) Interpretan los hechos empíricos mediante la construcción de descripciones y modelos creativos sobre el comportamiento de la naturaleza.	0	1/8	"[el científico es] creativo al dar una nueva respuesta a la misma preguntas (piénsese en Planck y el espectro de emisión del cuerpo negro, por ejemplo) [...] para aceptar nuevas hipótesis y nuevas teorías."

C6. Dominancia de unas teorías frente a otras La teoría ...	(i) Ha sido comprobada con éxito un número de veces mayor.	1/8	1/8	"Porque Pasteur hizo más demostraciones experimentales que Liebig [...]".
	(ii) Explica los resultados experimentales con más sencillez que las teorías alternativas.	1/8	1/8	"Pensamos que en algunos puntos de su teoría, Liebig aportaba ideas... confusas y demasiados genéricos en algunos aspectos. Sin embargo, Pasteur [...] aporta una lógica en sus conclusiones y permite explicar la fermentación láctica y alcohólica [...]".
	(iii) Abre el camino a nuevas investigaciones.	1/8	1/8	"Pasteur explicaba el fenómeno de forma que dejaba varios caminos abiertos para posibles investigaciones."
	(iv) Tiene utilidad práctica para el desarrollo de alguna técnica o proceso tecnológico, o para resolver necesidades sociales.	1/8	7/8	"[...] las ideas de un científico serán más o menos aceptadas dependiendo de la repercusión social y la aplicación inmediata de estas ideas; por ejemplo la Francia de Napoleón III se caracterizaba por una economía sustentada en el vino, y los estudios de Pasteur permitieron el avance en la fermentación del vino levantando la economía del país."
C7. Influencia de los factores extra-científicos o contextuales en el desarrollo de la ciencia	(i) Habilidad retórica y en estrategias semánticas de los científicos para persuadir de las ideas propias.	0	0	
	(ii) Apoyo político a la investigación (e.g., apoyo del Emperador Napoleón III a las investigaciones de Pasteur).	6/8	7/8	"La influencia de los contextos sociocultural, político, económico, etc. influyen de manera muy significativa, ya que como se puede observar en esa época, las ideas de Pasteur tuvieron mejor aceptación [...] que las de Liebig, debido a que contaba con apoyo político y económico por parte de Napoleón."
	(iii) Impacto de la ciencia en asuntos socio-económicos (e.g., importancia de las investigaciones científicas para la resolución de ciertas necesidades industriales).	1/8	6/8	"Pasteur fue un científico de Estado ya que cambió su línea de investigación por otra más "urgente". Puesto que Francia estaba en guerra, la conservación de los alimentos tenía un interés notable, como ya se ha dicho, por lo que la técnica de la pasteurización [...] tuvo una gran acogida y utilidad."
	(iv) Papel de la ciencia en asuntos socio-políticos (e.g., patriotismo nacionalista: "ciencia francesa" vs. "ciencia alemana").	0	0	
C8. Papel de las controversias entre científicos en el desarrollo de la ciencia	(i) La existencia de teorías diferentes sobre un mismo asunto científico es un gran estímulo para el avance de la ciencia.	5/8	7/8	"Los desacuerdos entre científicos son positivos porque suponen una motivación para seguir investigando y tratar de demostrar su verdad [...] el conflicto en Ciencia es un poderoso aliciente."
	(ii) 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.	6/8	7/8	"Los desacuerdos entre científicos pueden crear debates en los cuales es difícil llegar a un acuerdo. Sin embargo como ocurre en este caso, las ideas distintas sobre el mismo problema puede llevar a científicos posteriores a cuestionarse el mismo problema y encontrar de esta forma una solución más acertada y correcta."
	(iii) Se suelen desarrollar técnicas experimentales novedosas en el transcurso de tales procesos (así sucedió, e.g., con el trabajo realizado sobre la fermentación por Büchner).	0	1/8	"Apoyándose en las teorías de Pasteur y Liebig, Büchner pudo partir de una serie de experimentos y resultados acerca de la fermentación que le permitieron esclarecer definitivamente el desacuerdo."
	(iv) Las controversias científicas ponen de manifiesto el carácter tentativo y dinámico de la ciencia, en permanente (re)construcción, aunque a veces haya estancamientos.	2/8	3/8	"Es enriquecedor que existan disputas si así se consigue una competitividad que genere debate y permita el avance de nuevas teorías. Pero es necesaria una buena actitud de ambas partes en esta disputa debido a que un obcecamiento excesivo en una idea puede llegar a retrasar el avance de la ciencia como puede verse en la controversia entre Liebig y Pasteur."

## 9. Estudio de la implementación del caso de Rosalind Franklin y la doble hélice del ADN en la formación inicial del profesorado de ciencia

Se presenta un estudio cualitativo, que utiliza un enfoque interpretativo, acerca de la comprensión de diversos aspectos epistémicos y no-epistémicos de NDC, a partir de un análisis del caso de HDC sobre Rosalind Franklin y la doble hélice del ADN. La actividad se implementó, durante el curso 2016-17, en la formación de estudiantes de profesorado de Biología con un enfoque explícito y reflexivo.

### 9.1 Preguntas que dirigen la investigación

El estudio se concretó en responder a las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Qué ideas tienen los estudiantes de profesorado sobre los aspectos de NDC tratados tras una primera lectura reflexiva del caso histórico?
2. ¿Qué cambios se producen en las ideas de los estudiantes de profesorado sobre los aspectos de NDC abordados una vez concluida la actividad?

### 9.2 Aspectos contextuales de la investigación

#### 9.2.1 Descripción de la actividad

La actividad propone la lectura de una narración histórica sobre el papel de Rosalind Franklin en la elucidación de la estructura molecular del ADN, junto a una discusión crítico-reflexiva de diversas cuestiones sobre aspectos epistémicos y no-epistémicos de NDC, que son reconocibles en el relato. El texto de la narración se ha descrito con anterioridad brevemente en la sección 3.1.3. La actividad fue implementada por la coautora en tres sesiones de clase de 1,5 horas cada una.

#### 9.2.2 Participantes

El estudio se llevó a cabo en la Universidad de Cádiz con estudiantes de profesorado de Biología y Geología del *Máster Universitario en Formación del Profesorado de Educación Secundaria* (estudiantes MAES, en lo sucesivo). El grupo-clase estaba formado por 17 estudiantes (14 mujeres y 3 hombres), licenciados o graduados en Ciencias Ambientales, Ciencias del Mar, Biología, Biotecnología, Biomedicina, Bioquímica y Veterinaria. Algunos de ellos tenían doble titulación, como Ciencias del Mar y Ciencias Ambientales.

La actividad se implementó en la asignatura *Complementos de Formación disciplinar de Biología y Geología*, de 6 créditos. Concretamente, en el bloque “Naturaleza e Historia de la Ciencia”, de 2,6 créditos. Los contenidos de este bloque giran en torno a diferentes episodios de HDC, sobre todo de Biología y Geología, como hilo conductor para ahondar en la filosofía de la ciencia. En el mismo, se realiza un recorrido por las corrientes más destacadas (empirismo fenomenológico, racionalismo, positivismo y la denominada Nueva Filosofía de la ciencia), que abordan aspectos epistemológicos, ontológicos y sociológicos de la ciencia. Con ello, se pretende mejorar la formación de los estudiantes MAES en la NDC y su importancia en la alfabetización científica de la ciudadanía.

Desde esta perspectiva, los textos de HDC, y en particular las actividades sobre controversias científicas como la que aquí se utiliza, suponen un excelente recurso para trabajar simultáneamente los diferentes objetivos previstos.

### 9.2.3 Objetivos de la actividad

Con esta actividad, se pretende el aprendizaje de los aspectos de NDC siguientes:

1. Identificar la pluralidad de metodologías posibles en una investigación científica.
2. Reconocer el papel de los objetivos de una investigación científica.
3. Identificar las fortalezas de un modelo científico, en concreto el de Watson y Crick.
4. Señalar factores epistémicos y no-epistémicos que puedan suponer un obstáculo para culminar con éxito una investigación científica, como sucedió en el caso de Rosalind Franklin.

### 9.2.4 Cuestiones de NDC planteadas

En la tabla 11, se indican las cuestiones planteadas para reflexionar sobre los aspectos de NDC abordados en la actividad.

**Tabla 11. Cuestiones de NDC planteadas en la implementación del caso Rosalind Franklin en la formación inicial del profesorado.**

C1. Es frecuente leer la expresión “el método científico” como un proceso universal en etapas para la construcción del conocimiento científico. ¿Crees que esto es adecuado? Razónalo.
C2. ¿Crees que los objetivos de la investigación sobre el ADN eran los mismos para todos los científicos implicados? Explicalo.
C3. ¿Cuáles crees que son las principales fortalezas del modelo del ADN de Watson y Crick? Justificalo.
C4. ¿Qué factores epistémicos y no-epistémicos crees que pudieron influir para que Rosalind Franklin no fuera la primera en dilucidar la estructura del ADN?

### 9.2.5 Evaluación de la comprensión de los aspectos de NDC abordados

Además de los informes iniciales y finales elaborados por los grupos, la educadora usó un diario como instrumento complementario de evaluación, en el que registró citas textuales y detalles de la puesta en común realizada durante la sesión en gran grupo.

Para la evaluación de las respuestas a cada una de las cuestiones de la tabla 11, se construyó una rúbrica de acuerdo con el procedimiento indicado en la sección 5.2. Los niveles de aprendizaje para cada uno de los aspectos de NDC, y los descriptores correspondientes que se consensuaron por los tres autores, se recogen en la tabla 12.

Con el fin de asignar un determinado nivel de aprendizaje a las respuestas de los grupos, los autores siguieron el método de análisis basado en la consecución de acuerdos inter- e intra-evaluadores. En primera ronda, el acuerdo alcanzado en la valoración de las respuestas iniciales y finales fue del 75%. En la segunda ronda, tras el cruce de valoraciones correspondiente, se consiguió un acuerdo del 88% para las respuestas iniciales, y del 81% para las finales. Los pocos casos que quedaron sin acuerdo se resolvieron por mayoría de evaluadores (2 vs. 1). Los consensos alcanzados pueden considerarse suficientemente altos como para estimar que el instrumento de evaluación empleado en la valoración del aprendizaje de los aspectos de NDC abordados es potencialmente fiable.

## 9.3 Resultados

A continuación, se describen y analizan los resultados obtenidos por cada grupo, en relación con los objetivos señalados de la actividad. Se muestra la evolución en los niveles de aprendizaje logrados para cada uno de los contenidos de NDC por comparación entre las ideas iniciales y finales de los grupos (figura 8). Asimismo, se dan detalles sobre cómo se desarrolló la puesta en común, en la que los estudiantes MAES debatieron cada uno de los aspectos tratados.

**Tabla 12. Rúbrica de evaluación de aspectos de NDC en el contexto del caso Rosalind Franklin y la doble hélice del ADN.**

Contenido de NDC	Nivel 4 (máximo)	Niveles 3 – 0
C1. Pluralidad de metodologías de las investigaciones científicas	Se explica que no hay un método científico único, y se describen las dos metodologías identificables en la narración histórica: 1) la empírica sistemática de Franklin, y 2) la de Watson y Crick basada en la elaboración de un modelo funcional; asimismo, 3) se argumenta, razonadamente, que ninguna metodología es <i>per se</i> mejor que la otra	Nivel 3: Se explica que no hay un método científico único, pero solo se describe una de las dos metodologías [(1) o 2)]. Se argumenta, razonadamente, que ninguna metodología es <i>per se</i> mejor que la otra [3]). Nivel 2: Se explica que no hay un método científico único, pero no se describe ninguna de las metodologías [(ni 1) ni 2)]. Se argumenta, razonadamente, que ninguna metodología es <i>per se</i> mejor que la otra [3]). Nivel 1: Se considera que son posibles varias metodologías científicas y, aunque se describan, se asume que una de ellas es <i>per se</i> mejor que otra. Nivel 0: Se considera que solo hay un único método científico válido.
C2. Objetivos de las investigaciones científicas	Se explica que los objetivos eran diferentes, y en la explicación se señalan tres de las razones siguientes: 1) Se explica el objetivo de Franklin. 2) Se explica el objetivo Watson y Crick. 3) Se relacionan los objetivos con la formación de los científicos. 4) Se relacionan los objetivos con las metodologías empleadas. 5) Se relacionan los objetivos con las prioridades de los centros de investigación.	Nivel 3: Se explica que los objetivos eran diferentes, y en la explicación se señalan dos de las razones anteriores. Nivel 2: Se explica que los objetivos eran diferentes, y en la explicación se señala una de las razones anteriores. Nivel 1. Se explica que los objetivos eran diferentes, pero no se aportan argumentos válidos. Nivel 0. No se identifican diferencias significativas entre los objetivos.
C3. Fortalezas del modelo de Watson y Crick	Se indican, de forma justificada, al menos tres fortalezas; por ejemplo: 1) Explica la estructura del ADN. 2) Permite dar explicaciones y hacer predicciones sobre el código genético. 3) Permite establecer una hipótesis fecunda para investigaciones futuras. 4) Da respuesta a problemas multidisciplinares.	Nivel 3: Se indican dos fortalezas de forma justificada. Nivel 2: Se indican una fortaleza y se justifica. Nivel 1: Se indica alguna fortaleza, pero no se justifica o la justificación no es válida. Nivel 0: No se indica ninguna fortaleza.
C4. . Obstáculos epistémicos y no-epistémicos en las investigaciones científicas	Indica más de dos factores, tanto epistémicos como no-epistémicos, con argumentos válidos. (i) Entre los factores epistémicos se señalan: (1) Los distintos propósitos de las investigaciones de Franklin y de Watson y Crick. (2) Las diferencias metodológicas entre ambas investigaciones sobre la estructura del ADN. (3) La creatividad mostrada por Watson y Crick para relacionar datos muy diversos. (4) La formación o área de especialización de los investigadores. (ii) Entre los factores no-epistémicos se señalan: a) La falta de ética de Watson y Crick al usar datos de Franklin sin su conocimiento ni reconocimiento. b) Las tensiones y falta de colaboración entre Franklin y Wilkins frente al gran espíritu de colaboración que mostraron Watson y Crick. c) El carácter competitivo de Watson y Crick. d) Las posibles dificultades que tuvo Franklin por ser mujer en la ciencia de la época.	Nivel 3 Indica razonadamente al menos un factor epistémico y un factor no-epistémico, dando argumentos válidos. Nivel 2: Indica razonadamente solo factores del mismo tipo, epistémicos o no-epistémicos, dando argumentos válidos. Nivel 1: Indica razonadamente un factor, epistémico o no-epistémico, dando argumentos válidos. Nivel 0: No indica ningún factor, o bien cita alguno, pero no se dan argumentos válidos

### 9.3.1 Reconocimiento de la pluralidad de metodologías de investigación científica

Se pretendía que, mediante la reflexión sobre la investigación del ADN, se distinguiesen dos metodologías diferentes. Por una parte, la seguida por Franklin, de base empírica, consistente en obtener imágenes de difracción de rayos X y, mediante cálculos, inferir a partir de ellas distancias y ángulos de enlace que permitiesen elucidar la estructura molecular del ADN. Por otra parte, la de Watson y Crick, de tipo más teórico, y basada en la construcción de un modelo hipotético de la estructura

molecular del ADN, que posteriormente debía ser contrastado mediante las técnicas experimentales disponibles. Aunque Watson y Crick fueron los primeros en llegar a un resultado, Franklin no estaba lejos de resolver el problema. Por tanto, una metodología no es *per se* mejor que la otra, y la existencia de un único método científico universal y algorítmico es una idea falaz. Esta es la explicación que correspondería al nivel 4 en la escala establecida (tabla 12).

En la primera fase, las explicaciones de los estudiantes MAES se situaron en los niveles más bajos<sup>31</sup>. Dos grupos (G3 y G4) en el nivel 0, porque consideraron que solo hay un único método científico válido y universal, y otros dos grupos (G1 y G2) en el nivel 1, ya que aunque afirmaron que la metodología científica no es única, los argumentos que dieron no eran adecuados, puesto que no se basaron en la narración, ni caracterizaron los dos procedimientos de investigación descritos en el relato. Además, todos los grupos obviaron hacer referencia a que ninguno de ambos métodos era *per se* mejor que el otro. En algunas de las respuestas de los informes iniciales se apreció que, en vez de identificar y usar los elementos detallados en el texto para elaborar los argumentos, los estudiantes MAES expresaron sus propias ideas sobre los métodos de investigación científica, evidenciando bastantes confusiones e imprecisiones. Estas ideas pudieron surgir de la experiencia previa de algunos de ellos como investigadores activos, así como de la estructuración y/o acomodación de las nuevas nociones sobre filosofía de la ciencia; las cuales habían sido abordadas previamente, pero que, al parecer, no se incorporaron de manera adecuada a los esquemas mentales personales.

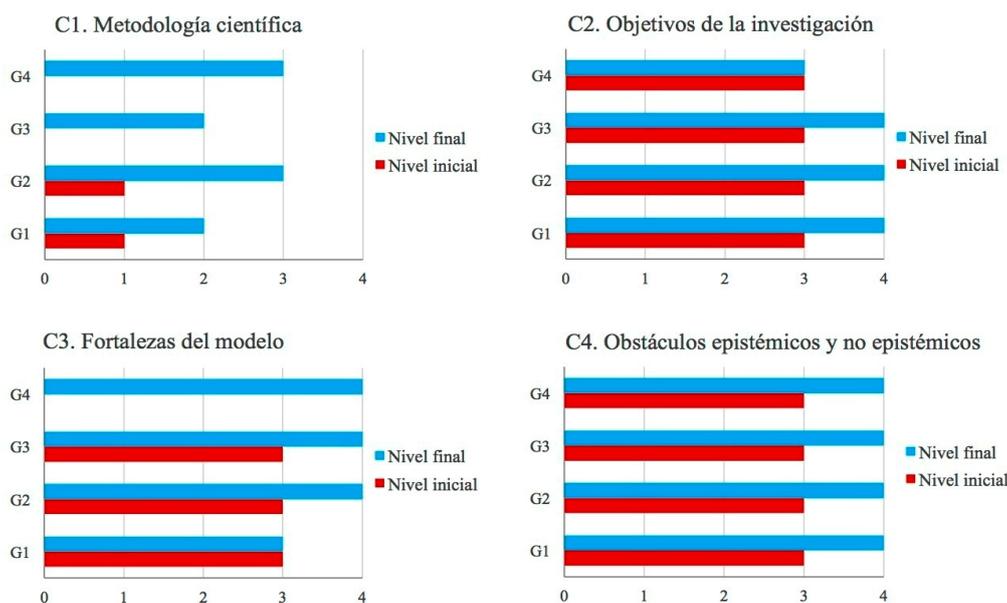


Figura 8. Evolución de los niveles de aprendizaje relativos a los aspectos de NDC abordados.

El grupo G1 señaló, en primer lugar, que lo que se conoce como el método científico universal se corresponde más bien con la estructura de los informes públicos de una investigación que con el trabajo que realizan los científicos: “[...] el método científico es adecuado para exponer y comunicar los resultados de la investigación (artículos científicos, comunicaciones, etc.) pero no es adecuado para avanzar en el conocimiento.” (G1). En segundo lugar, indicó que la Biología tiene peculiaridades metodológicas propias. Sin embargo, su respuesta fue imprecisa y puede inducir a errores de interpretación para otras ciencias: “La Biología tiene ciertas particularidades que hacen que el método científico

<sup>31</sup> En efecto, los grupos no hicieron referencia a dos de los tres descriptores de la rúbrica: “Se explica que no hay un método científico único, y se describe la metodología empírica sistemática de Franklin”, y “Se argumenta, razonadamente, que ninguna metodología es *per se* mejor que la otra”.

*tradicional no sea factible en la mayoría de las investigaciones.” (G1). Asimismo, el grupo G2 confundió la metodología seguida por Franklin con el método científico: “[...] Watson y Crick guiaron su investigación no según los pasos del método científico y Rosalind sí, sin embargo, estos consiguieron llegar a los resultados más rápido y luego reafirmarlo con datos científicos.” (G2).*

Durante la puesta en común, los grupos fueron exponiendo y discutiendo sus respuestas iniciales. Los grupos G3 y G4 no tardaron en aceptar que no existe un método científico universal, al señalar los otros dos grupos que tanto Franklin como Watson y Crick habían empleado metodologías muy diferentes. En este punto, el grupo G1 polarizó el debate, defendiendo los argumentos que habían expuesto inicialmente. Indicaron que los investigadores no siguen una metodología algorítmica, paso a paso, en sus trabajos, aunque luego los informes y publicaciones científicas presenten un esquema común: planteamiento del problema, formulación de hipótesis, diseño experimental para verificarlas y conclusiones. Con ello se estaría dando la impresión de que hay un método científico único. Uno de los miembros del grupo G2 señaló que, en ocasiones, todo el trabajo está condicionado por unas conclusiones que se intuyen de antemano; y una estudiante de este grupo añadió que las conclusiones se expresan en forma de leyes en el método científico tradicional, pero que eso no suele pasar en Biología. El resto de grupos se mostró de acuerdo con estos planteamientos. La educadora pidió que buscaran en la narración argumentos que justificaran la idea de que no existe un único método de investigación, puesto que esta había sido una de las deficiencias encontradas en las respuestas de los informes iniciales. El grupo G1 volvió a tomar la palabra y comentó que Rosalind Franklin había abordado el estudio de la molécula del ADN como si se tratase de una molécula cualquiera; y que intentaba determinar su estructura a partir del tratamiento matemático de la información obtenida mediante patrones de difracción, pero que la visión de Watson y Crick fue más amplia porque trabajaban desde una perspectiva más interdisciplinar, teniendo en cuenta las peculiaridades de la Biología. Añadieron que buscaban una explicación a la transmisión del código genético; es decir, que les interesaba la estructura de la molécula del ADN porque intuían la función que podría tener en los organismos vivos. Otro de los miembros del grupo G1 destacó que los sistemas de estudio son complejos en Biología, con múltiples relaciones entre sus partes; que el método empleado por Watson y Crick tenía en cuenta esta complejidad; y que ambos trabajaron de una forma más creativa, buscando respuesta al problema del origen de la vida. Todos los demás grupos se mostraron de acuerdo con lo expresado en estas intervenciones.

Como en la fase inicial, ningún grupo comparó la validez de las metodologías empleadas. Asimismo, parecía que consideraban el procedimiento metodológico de Franklin más débil. Entonces, la educadora preguntó si creían que Rosalind Franklin podría haber llegado a elucidar la estructura del ADN. Todos los grupos estuvieron de acuerdo en que se encontraba muy cerca de la solución y que habría acabado dando con ella. No obstante, el grupo G1 volvió a insistir en la importancia de considerar la complejidad y peculiaridad de los sistemas biológicos.

Posteriormente, la educadora pidió a los grupos que detallasen los métodos empleados por los investigadores en el estudio del ADN, ya que este aspecto no había quedado bien reflejado en los informes iniciales. El grupo G4 tomó la palabra y destacó que Rosalind Franklin, como cristalógrafa, se basaba en la interpretación de los diagramas de difracción por rayos X, mediante el tratamiento matemático de los datos obtenidos a partir de las imágenes. El grupo G2 añadió que consideraban el trabajo de Watson y Crick más creativo, y que lo que pretendían era elaborar un modelo que explicase la duplicación del ADN. Las ideas que expresaron los estudiantes MAES respecto a la caracterización de ambos métodos fueron aceptadas por el resto, sin que fuera necesario un intercambio de opiniones adicional.

La educadora preguntó en este momento qué consideraban que era un modelo. Los estudiantes MAES tenían claro que el concepto de modelo no se limita a una representación material, ni a una reconstrucción a escala de la realidad que se estudia. Además, se insistió en que Watson y Crick usaron su modelo como hipótesis de trabajo, que debían validarlo, y que los datos de Rosalind Franklin lo apoyaban; pero que no fue hasta unos años después cuando se aceptó definitivamente.

En los informes finales se apreciaron ciertas mejoras en las respuestas de los grupos. Así, todos reconocieron que no existe un único método científico válido y universal, aportando argumentos para justificarlo; aunque siguieron apareciendo imprecisiones en las explicaciones. Dos grupos (G1 y G3) se situaron en el nivel 2 y dos (G2 y G4) en el nivel 3. El grupo G4, que había aportado inicialmente menos ideas sobre la metodología científica, es el que más progresó, pasando del nivel 0 al 3. En sus explicaciones indicaron que *“Watson y Crick se apoyaron en el trabajo interdisciplinar y realmente desarrollaron un modelo propio, no desarrollando el método científico experimental, por lo tanto, no podemos aceptar el término la apelación de universal como único.”* (G4).

En una línea similar, el grupo G1 señaló que *“Podemos concluir que el método científico no es universal, prueba de ello es el método que siguieron Watson y Crick donde destaca la creatividad en la elaboración de modelos que funcionen.”* (G1). No obstante, este grupo, que es el que aportó inicialmente explicaciones más extensas, aunque imprecisas y erróneas, solo pasó del nivel 1 al nivel 2. En su informe final siguieron usando la peculiaridad de la Biología como argumento principal para justificar la pluralidad de metodologías, aunque esta no es una idea que se derive del texto. Asimismo, calificaron el método científico tradicional (el que suele presentarse en los libros de texto de ciencias) como inductivista, cuando es más bien hipotético-deductivo: *“El método científico tradicional es inductivista y no es adecuado para muchos problemas en Biología.”* (G1). Esta concepción errónea pudo haberse adquirido, inadecuadamente, durante el proceso de aprendizaje, previo a la actividad, en el propio máster. En efecto, como se ha indicado en la sección 9.2.2, en sesiones anteriores a las de la actividad que ahora es objeto de estudio, se hizo una crítica al inductivismo ingenuo, después de constatar la educadora que la mayoría de los estudiantes MAES mostraba una fe ciega en la construcción del conocimiento científico casi exclusivamente a partir de datos experimentales. Como también se analizaron otras posiciones de corte positivista, da la impresión de que el grupo G1 no fue capaz de diferenciar bien unas de otras.

### 9.3.2 Identificación de los objetivos de las investigaciones

Respecto a los objetivos de las investigaciones de los protagonistas de la narración, se esperaba que reconociesen tanto el de Franklin como el de Watson y Crick, así como que los relacionasen con: las metodologías que emplearon, la formación de los científicos implicados, y las prioridades de los centros de investigación donde trabajaban. Se consideró que no era necesario identificar la presencia de todos estos elementos para asignar un nivel 4, bastando con que fueran, al menos, tres para mostrar que se reconocen los objetivos de ambas investigaciones. Un hecho a destacar, al respecto, es que los grupos no se refirieron a dos de los descriptores de la rúbrica; en concreto, no relacionaron los objetivos de las investigaciones realizadas con las metodologías empleadas, ni con las prioridades de los centros de investigación.

Tras analizar los informes iniciales que siguieron a la lectura del texto, se asignó a todos los grupos el nivel 3. Tres grupos (G1, G2 y G4) identificaron los objetivos de los investigadores. Por ejemplo, el grupo G1 señaló lo siguiente:

Para Watson y Crick conocer la estructura del ADN era un medio para determinar las bases genéticas de la herencia, sin embargo, el objetivo de Franklin y Wilkins sí era dilucidar la estructura de la molécula de ADN con precisión. (G1)

Otro grupo (G3) especificó solo el objetivo de Rosalind Franklin, pero relacionó los problemas de investigación con la formación y las preocupaciones de los científicos.

La puesta en común de las respuestas a las cuestiones planteadas no generó conflictos especiales; las ideas que surgían eran comentadas por los grupos y eran aceptadas por el resto. Los objetivos de los dos equipos de investigación resultaron evidentes para todos. El grupo G3 destacó la diferente formación de los científicos, llamando la atención sobre la importancia de la interdisciplinariedad. La educadora preguntó entonces por la especialidad de cada uno de los investigadores, y el grupo G1 señaló que Watson era el único biólogo. Después, uno de los estudiantes MAES resaltó el interés que los físicos de la época mostraban por un tema central en Biología. En este punto, se profundizó en dos aspectos; por un lado, la influencia de científicos prestigiosos, como Schrödinger y Linus Pauling, en la dedicación a estos asuntos. Por otro, el desencanto y malestar tras el trágico desenlace del proyecto Manhattan con el lanzamiento de bombas atómicas sobre Hiroshima y Nagasaki, que focalizó el interés de bastantes físicos de la época hacia temas más centrados en la vida.

La discusión en común posterior se centró en resaltar los dos aspectos que no se habían puesto de manifiesto en los informes iniciales. En primer lugar, la relación de los objetivos con las metodologías de investigación, señalándose que la vía emprendida por Watson y Crick era lógica. El grupo G1 indicó que, puesto que la preocupación de estos científicos era determinar cómo se podría transmitir la información genética, el camino más evidente parecía que era desarrollar un modelo del ADN que lo explicara; los demás grupos se mostraron de acuerdo. En segundo lugar, y a instancia de la educadora, se abordó la influencia de las prioridades de los dos centros de investigación. El grupo G3 comentó que seguramente influyó, sobre todo en Rosalind Franklin durante su estancia en el King's College, pues en el caso de Watson y Crick era más una cuestión de interés personal, aunque el director del laboratorio Cavendish simplemente no la impedía.

En los informes de la fase final, casi todos los grupos (G1, G2 y G3) expresaron las mismas ideas iniciales de manera más completa, pasando del nivel 3 al 4. Solo el grupo G4 no mejoró. Sin embargo, ahora los grupos tampoco hicieron ninguna referencia a los dos mismos descriptores de la rúbrica que no habían citado en sus respuestas iniciales.

En las respuestas se dieron más detalles de la influencia de la formación de los científicos en los objetivos de las investigaciones, que es el tema que había centrado más la atención del debate anterior. Por ejemplo, el grupo G2 manifestó que:

[...] cada uno de los investigadores pertenecían a ramas de conocimiento diferentes y cada uno de ellos tenían un objetivo distinto. El King's College de Londres pretendió crear un equipo interdisciplinar [...] donde Rosalind Franklin contribuyó con un proyecto de investigación cuyo objetivo sería analizar la estructura del ADN mediante técnicas cristalográficas, mientras que Watson y Crick se interesaban por la función genética del ADN, que era una preocupación de los biólogos de la época y en concreto de los que investigaban en Genética. (G2)

Aunque este grupo hizo una referencia directa al centro de investigación, no explicitó la línea que se seguía, ni concretó cómo pudo influir en los objetivos de la investigación. En la fase final, ningún grupo hizo referencia directa a la relación entre los objetivos y la metodología, a pesar de haberse

analizado durante el debate; si bien, durante este los grupos dieron la impresión de que consideraban que ese asunto era redundante con lo que se había planteado en la primera cuestión.

### 9.3.3 Identificación de fortalezas del modelo de Watson y Crick

Con la actividad se esperaba que los estudiantes MAES identificaran las fortalezas del modelo de Watson y Crick. Entre ellas, que la estructura propuesta del ADN permite: interpretar los datos disponibles hasta entonces, ajustándose bien a ellos; explicar la transmisión de la información genética; hacer predicciones sobre el código genético, a la vez que posibilita establecer una hipótesis fecunda para investigaciones futuras; y dar respuesta a problemas multidisciplinares. En conjunto, los grupos hicieron referencia a los cuatro descriptores de la rúbrica.

De los informes iniciales se concluyó que tres grupos (G1, G2 y G3) fueron capaces de identificar suficientes fortalezas del modelo de Watson y Crick, situándose así en el nivel 3. Estos grupos prestaron atención a distintos aspectos. Así, el grupo G3 se centró en los estructurales y funcionales del modelo del ADN:

[...] utilizando las estructuras del ADN investigadas por Rosalind. Se esforzaban en encajar las aportaciones de otros investigadores y así predecir y ajustar el modelo hasta que encajara con el patrón observado. Buscaban averiguar la función genética del ADN y como se replicaban los genes. (G3)

En cambio, el grupo G2 lo hizo basándose en el potencial del modelo para abrir investigaciones futuras, así como responder a problemas multidisciplinares: *“Estaba fundamentado desde muchas perspectivas diferentes que se complementaban entre sí y además sentaba las bases de conceptos futuros como la replicación. La multidisciplinariedad es uno de sus grandes fuertes.”* (G2). Solo el grupo G4 dio una respuesta poco coherente, por lo que se consideró en el nivel 0.

Durante la puesta en común, los grupos fueron exponiendo sus aportaciones iniciales y comentándolas para completar las informaciones que daban unos con las de los otros. Como principal resultado de ello, el grupo G4 consiguió aclarar su posición inicial. El grupo G1 destacó de nuevo las ideas discutidas en las cuestiones anteriores, indicando que el modelo de Watson y Crick era el resultado del objetivo que estos se plantearon y de la metodología de investigación seguida; también, que una fortaleza clara para ellos era que predecía la posibilidad de la replicación del ADN y daba sentido a toda la información conocida sobre su estructura. El grupo G4 indicó que estaban especialmente de acuerdo con este último aspecto. Para los miembros de este grupo era necesaria la elaboración de un modelo que diera sentido a los numerosos datos disponibles. El grupo G3 precisó que el trabajo de Watson y Crick no fue definitivo respecto a la capacidad de replicación del ADN, sino que fueron necesarias más investigaciones posteriores. La educadora preguntó si esto lo consideraban una debilidad o una fortaleza, a lo que respondieron que era un punto fuerte porque los modelos son mejores si dan lugar a nuevas investigaciones. El grupo G2 destacó que el modelo daba soluciones interesantes a problemas cristalográficos, químicos y biológicos, y que eso fue posible por la visión más interdisciplinar del equipo formado por Watson y Crick. El grupo G4 resaltó la importancia de los grupos de investigación interdisciplinares en la actualidad, y la necesidad de trabajar de forma cooperativa. La sesión finalizó, a instancias de la educadora, con una síntesis de las diferentes aportaciones.

El análisis de los informes finales reveló una mejora en tres grupos (G2, G3, y G4). El grupo G1 amplió su respuesta, pero se limitó a dar más detalles de los mismos aspectos expuestos en el informe inicial.

Por el contrario, el grupo G2 destacó ahora todos los puntos fuertes del modelo de Watson y Crick que habían sido discutidos en la sesión anterior:

[El modelo] estaba fundamentado desde muchas perspectivas diferentes que se complementaban entre sí, explicando no solo la estructura del ADN sino que también proponían una explicación a la transmisión de la información genética, que es la clave de la vida, y además sentaba las bases de conceptos futuros como la replicación. La multidisciplinariedad es uno de sus grandes fuertes [...] (G2)

El grupo G4 logró pasar del nivel 0 al 4, lo que supuso un gran progreso, debido posiblemente a las reflexiones que hicieron sobre las aportaciones de los otros grupos en la puesta en común. Así lo expresaron en su respuesta:

[Watson y Crick] manejaron los resultados de otros trabajos relacionados con su investigación [...] consiguieron proponer una estructura del ADN coherente con los resultados de estos trabajos [...] trabajaron de forma cooperada y multidisciplinar, dando así una respuesta a un problema de la química [cristalografía], pero también a uno central en la biología, cómo se transmite la información genética. (G4)

#### *9.3.4 Obstáculos epistémicos y no-epistémicos que condicionaron la investigación de Rosalind Franklin*

El caso de la investigación de la estructura molecular del ADN abre la posibilidad de obtener una visión más holística de la NDC, permitiendo analizar factores epistémicos y no-epistémicos que pueden condicionar el éxito de una investigación científica. En concreto, con esta cuestión se esperaba que los estudiantes MAES detectasen obstáculos que impidieron a Rosalind Franklin culminar con éxito su investigación para elucidar la estructura del ADN. Entre los factores epistémicos, mostrados en la narración, están: los distintos propósitos de las investigaciones de Franklin y de Watson y Crick; las diferencias metodológicas entre ambas investigaciones; la creatividad mostrada por Watson y Crick para relacionar datos muy diversos; y la formación o área de especialización de los investigadores implicados. Los factores no-epistémicos que confluieron en este caso, expuestos en el relato, son los siguientes: la falta de ética de Watson y Crick al usar datos de Franklin sin su conocimiento, ni reconocimiento posterior; las tensiones y falta de colaboración entre Franklin y Wilkins frente al gran espíritu de colaboración que mostraron Watson y Crick; el carácter competitivo de Watson y Crick; y las posibles dificultades que tuvo Franklin por ser mujer en la ciencia de la época. Se ha considerado que en el nivel 4 debían identificarse al menos dos factores epistémicos y dos no-epistémicos.

En la primera fase, los estudiantes MAES fueron capaces de detectar mayoritariamente al menos un factor de cada tipo, situándose todos los grupos en el nivel 3. En concreto, el número de factores no-epistémicos citados (8) fue el doble que el de epistémicos (4). Además, ningún grupo hizo referencia a los dos descriptores epistémicos siguientes: la creatividad mostrada por Watson y Crick para relacionar datos muy diversos; y la formación o área de especialización de los investigadores.

El obstáculo epistémico más citado fue la diferencia metodológica entre ambas investigaciones, mencionado por tres grupos (G2, G3 y G4). Por ejemplo, el grupo G2 argumentó que “[Franklin] desde su perspectiva de química [especialista en cristalografía] consideraba que necesitaba más resultados empíricos y sus inferencias correspondientes para ser capaz de desarrollar un modelo.” (G2).

Solo el grupo G1 indicó la influencia de los diferentes objetivos de investigación:

Franklin se centró únicamente en la estructura de la molécula de ADN sin percatarse de la importancia que pudiera tener la función del ADN para determinar la estructura de la

molécula; puede que esta doble visión fuese clave para que Watson y Crick determinasen finalmente la estructura del ADN. (G1)

Al contrario de lo que sucedió en el caso de los obstáculos epistémicos, todos los descriptores de las dificultades no-epistémicas señaladas en la rúbrica fueron citados. Uno de los dos más aludidos fue el relativo a la tensión y falta de colaboración entre Franklin y Wilkins, mencionado por tres grupos (G1, G2 y G4). Por ejemplo, el grupo G2 argumentó que “[Franklin] *se encontraba en un ambiente de trabajo hostil sin capacidad, no había trabajo cooperativo por lo que resultaba más complicado realizar verdaderos avances.*” (G2).

También tres grupos (G2, G3 y G4) consideraron los problemas que Franklin pudo tener por ser mujer. Así, el grupo G2 señaló que “*Además, sin olvidar que ella era mujer en una sociedad en la que podía haber pensamientos misóginos.*” (G2). Y el grupo G3 lo razonó del modo siguiente:

Un factor no-epistémico fue la cuestión del género, Rosalind entendió que se le ofrecía 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 incorporó. (G3)

Solo el grupo G1 se refirió al carácter competitivo de Watson y Crick: “*La de Franklin y Wilkins era una situación opuesta a la de Watson y Crick que formaban un verdadero equipo. Además, Watson y Crick competían con Wilkins y Franklin; sin embargo, Franklin estaba al margen de esta competición.*” (G1).

Por su parte, el grupo G2 fue el único que señaló la actuación poco ética de Watson y Crick al usar datos de Franklin sin su conocimiento ni el reconocimiento debido: “*Incluso el traspaso de información influye en la dilucidación de la estructura del ADN ya que se realizó de manera poco ética.*” (G2).

Durante la puesta en común, los grupos fueron exponiendo los aspectos detectados que pudieron ser un obstáculo para que Franklin culminara con éxito su investigación sobre el ADN. La educadora formuló preguntas que dieran ocasión a profundizar en los aspectos abordados y analizar los factores epistémicos que no habían sido considerados inicialmente. Así, preguntó en qué medida la especialidad de Franklin condicionó su investigación. Hubo un acuerdo general en considerar que ella, como experta en cristalografía, estaba interesada en el uso de técnicas de su especialidad, el análisis riguroso de los datos, y el uso de procedimientos matemáticos que permitiesen proponer, a partir de ellos, una estructura molecular para el ADN. El otro aspecto no citado en las respuestas iniciales, que se abordó en esta sesión, fue el de la creatividad de Watson y Crick para relacionar datos muy diversos. Los grupos se mostraron de acuerdo en considerar que fue un factor que favoreció a estos investigadores para finalizar con éxito su investigación antes que Franklin.

Respecto a los factores no-epistémicos, se discutió especialmente la posibilidad de que influyera el que Franklin fuera mujer. Se dio especial importancia a su situación en el King’s College, y la mayoría de los grupos opinó que en el caso de haber sido hombre no habría tenido tantos problemas con Wilkins, que la consideraba una subordinada suya. La educadora intentó que los estudiantes MAES reflexionaran sobre las dificultades de las relaciones laborales, entre ellas, el fuerte carácter de Franklin. Si bien, procuró que se comprendiera la complejidad de la situación sin caer en simplificaciones excesivas, evitando así convertir el caso en una historia de héroes y villanos. Los estudiantes

MAES insistieron en las tensiones entre Franklin y Wilkins, que imposibilitaban un trabajo colaborativo, y que, sin duda, supuso una traba para la investigación en el King's College.

Además, se comentó la influencia que tuvo el hecho de que Franklin fuese mujer en su relación con Wilkins y Watson, la falta de ética en el uso que hicieron Watson y Crick de los datos conseguidos por Franklin, y lo que hubiese ocurrido en el caso de que Franklin hubiera sido un hombre. En este punto, la educadora indicó que se entraba en el terreno de las especulaciones, pero ningún grupo tenía dudas sobre las dificultades adicionales del trabajo de las científicas en la época. Una estudiante MAES, que había investigado en España y en el Reino Unido, destacó la dificultad de las mujeres para dirigir equipos de investigación, sobre todo en nuestro país; lo que también –añadió– pudo ocurrirle a Franklin<sup>32</sup>.

También se discutió el que solo Watson, Crick y Wilkins recibieran el premio Nobel por sus descubrimientos sobre la estructura molecular del ADN y su trascendencia en la transferencia de la información genética<sup>33</sup>, así como la descripción misógina que Watson hizo de Franklin. Aunque esto fue muy posterior a la investigación, para los estudiantes MAES suponía una evidencia de las dificultades que Rosalind Franklin pudo haber tenido por ser mujer.

Es de destacar que esta cuestión fue de las que más interés despertó en la fase de puesta en común; y que, si bien no se presentaron situaciones de conflicto en los debates, se expusieron argumentos muy diversos que resultaron enriquecedores para todos.

Tras la sesión anterior, en los informes finales se citaron todos los descriptores de la rúbrica. Se apreció una mejora de todos los grupos, que hicieron referencia, al menos, a dos factores epistémicos y dos no-epistémicos como obstáculos, progresando así todos ellos del nivel 3 al 4. En conjunto, mencionaron 12 factores epistémicos y 13 no-epistémicos.

Respecto a los factores epistémicos, las referencias a los dos descriptores que no habían sido citados por los grupos en las respuestas iniciales fueron lo más destacable. Dos grupos (G1 y G4) mencionaron ahora la influencia de la formación y especialización de los investigadores. Por ejemplo, el grupo G1 señaló que “[...] como cristalógrafa, Franklin estaba más centrada en problemas estructurales, mientras que Watson era biólogo y, aunque Crick no lo era, estaba preocupado por resolver el problema del origen de la vida.” (G1). Asimismo, dos grupos (G2 y G4) citaron la creatividad mostrada por Watson y Crick en su investigación. Al respecto, el grupo G2 argumentó que “Watson y Crick [...] supieron afrontar con creatividad este problema, considerando los datos disponibles con una nueva perspectiva.” (G2).

En cuanto a los otros dos descriptores, cabe resaltar que el relativo a los distintos propósitos de las investigaciones de Franklin y de Watson y Crick, que solo había sido aportado por un grupo (G1), ahora

<sup>32</sup> Para poner un contrapunto y contribuir a deshacer mitos sobre el carácter difícil de Franklin, y su estatus como científica en la Inglaterra de su época, aportaremos unos datos posteriores a su investigación sobre el ADN en el King's College. En 1953, Rosalind Franklin entró a trabajar en el Birkbeck Laboratory, en Londres, dirigido por el prestigioso cristalógrafo e historiador de la ciencia John D. Bernal. Este la nombró directora de un grupo de investigación para elucidar la estructura general de virus que contenían ácido ribonucleico (ARN). Concentró sus estudios principalmente en el virus del mosaico del tabaco, pero su grupo resolvió también la estructura general de varios virus que contenían ARN. Durante los cinco años que Franklin estuvo en el Birkbeck, publicó 17 artículos y fue considerada una de las mejores figuras mundiales que trabajaban con estructuras helicoidales. Asimismo, Rosalind Franklin demostró ser una excelente directora de grupo, admirada y querida por sus alumnos; y fue capaz de relacionarse bien con las personas que la rodeaban. De este modo, la leyenda de su personalidad complicada se desvaneció en un ambiente tan radicalmente diferente al del King's College (Martínez-Pulido, 2000).

<sup>33</sup> Es necesario advertir que el premio Nobel solo se concede a científicos o científicas que estén vivos. Se concedió a los científicos señalados en 1962, y Rosalind Franklin había fallecido en 1958.

lo fue por todos. Un ejemplo de respuesta sobre ello es la del grupo G2: “*Watson y Crick, que tenían otras pretensiones, desarrollaron un modelo para explicar que la molécula era capaz de replicarse, esto les interesaba más que la estructura. La preocupación era más biológica y global que química.*” (G2).

Centrándonos ahora en los factores no-epistémicos reflejados en el informe final, todos los grupos hicieron referencia a las tensiones y falta de cooperación entre Franklin y Wilkins, en contraposición a las buenas relaciones mantenidas por Watson y Crick; asimismo, mencionaron las dificultades que pudo haber tenido Franklin como científica por ser mujer. Tres grupos (G1, G2 y G4) destacaron la falta de ética por parte de Watson y Crick en el uso de la información; un factor que solo había sido citado por un grupo en las respuestas iniciales. Por último, hay que destacar que el grupo G1 fue el único que hizo referencia a todos los descriptores no-epistémicos de la rúbrica:

En relación a los factores no-epistémicos, las relaciones personales con sus compañeros dificultaron que se tuviesen en cuenta sus opiniones y que los demás le informasen de los avances en sus investigaciones, ella llevaba a cabo su propia investigación. En esto también pudieron influir los problemas que tuvo Rosalind Franklin por ser mujer. Su trabajo y las relaciones con Wilkins, es decir, la marcha de toda la investigación, estuvieron muy condicionadas por este hecho. La de Franklin y Wilkins era una situación opuesta a la de Watson y Crick que formaban un verdadero equipo. Además, Watson y Crick competían con Wilkins y Franklin, sin embargo, Franklin estaba al margen de esta competición. Además, parece que Watson y Crick fueron poco éticos en el uso de los datos que Rosalind había conseguido. (G1)

### *9.3.5 Recapitulación de la evolución de las respuestas de los grupos a las cuestiones de los aspectos de NDC abordados*

Tras la lectura inicial del relato, la mayoría de las respuestas de los grupos a las distintas cuestiones se situó en el nivel 3 (11 de 16), mientras que las otras 5 no superaron el nivel 1. Además, el nivel 4 no se logró en ningún caso. Por tanto, los resultados globales iniciales pueden considerarse bastante aceptables, así como homogéneos en todas las cuestiones, excepto en la primera sobre la metodología científica. Las cuestiones en las que se consiguieron mejores resultados fueron C2 (objetivos de las investigaciones científicas) y C4 (obstáculos epistémicos y no-epistémicos en las investigaciones científicas), con todos los grupos situados en el nivel 3. Los peores resultados se obtuvieron en la cuestión C1 (pluralidad de metodologías de las investigaciones científicas), con todos los grupos por debajo del nivel 2 (figura 8).

En los informes finales, las respuestas de todos los grupos superaron el nivel 1. La mayoría de las respuestas a las distintas cuestiones lograron el nivel 4 (10 de 16). Así pues, los resultados finales globales fueron bastante mejores que los iniciales. Dos cuestiones tuvieron mayoría absoluta de respuestas del nivel 4, a saber: C2 (objetivos de las investigaciones científicas), y C3 (fortalezas del modelo de Watson y Crick). Asimismo, todas las respuestas de la cuestión C4 (obstáculos epistémicos y no-epistémicos en las investigaciones científicas) consiguieron el nivel 4. Aunque se produjo una mejora importante en la cuestión C1 (pluralidad de metodologías de las investigaciones científicas), con todos los grupos por encima del nivel 1, esta cuestión fue otra vez la que peores resultados produjo (figura 8).

Tal y como puede verse en la figura 8, hubo una progresión global entre las respuestas iniciales y finales de los grupos en 14 de 16 casos; siendo la transición más frecuente la que va del nivel 3 al 4 (9 veces).

#### 9.4 Conclusiones

Retomando las preguntas que dirigen esta investigación, y en relación con las ideas que tienen los estudiantes MAES sobre los aspectos de NDC tratados, tras una primera lectura reflexiva del caso histórico, podemos concluir que:

1. Como en los estudios correspondientes a capítulos anteriores (véanse 7.4 y 8.4), se confirma la eficacia mostrada por la lectura de controversias de HDC para hacer un diagnóstico interpretativo de las concepciones iniciales de estudiantes MAES sobre los aspectos de NDC abordados en la narración.
2. La lectura de la narración contribuyó a que todos los grupos mostraran una comprensión suficiente de la importancia de los objetivos que se plantearon los investigadores de la estructura del ADN, y del papel que tuvieron ciertos aspectos epistémicos y no-epistémicos para obstaculizar el éxito de la investigación de Rosalind Franklin. Asimismo, la mayoría de los grupos fue capaz de identificar algunas fortalezas del modelo del ADN de Watson y Crick.
3. Se apreciaron algunas concepciones ingenuas relativas a la metodología de las investigaciones científicas. La mitad de los estudiantes MAES consideraron que existe un método científico único y universal, algorítmico, que se desarrolla en etapas; mientras que la otra mitad admitió la existencia de una pluralidad de metodologías, pero tuvieron dificultades para argumentarlo. En comparación con los demás contenidos abordados, este sobre la metodología científica es el que presentó una peor comprensión. Por tal motivo, dedicaremos unos párrafos a comentarlo más ampliamente y dar una posible interpretación de ello.

Algunos estudiantes MAES trataron de justificar la pluralidad de los métodos científicos mediante argumentos de carácter general, en lugar de utilizar los elementos presentes en el texto de la actividad. Este hecho puede estar poniendo de manifiesto la relevancia de que los estudiantes MAES darían a las ideas que han adquirido sobre NDC previamente, haciendo uso de ellas a veces de un modo inadecuado. Esto es un síntoma de que se encuentran en un nivel cognitivo de transición en cuanto a la comprensión de tales aspectos de NDC. Los resultados obtenidos en el estudio abren puertas a una posible vía de mejora al respecto. Por ejemplo, profundizar más en las metodologías de investigación puestas en juego en los estudios del ADN; especialmente en la empleada por Rosalind Franklin, que es la que peor describen los estudiantes MAES. Y resaltar lo cerca que Franklin estuvo de concluir con éxito su investigación; un hecho que parece haber pasado desapercibido para los estudiantes MAES. Ello podría conducir a la idea de que una metodología de investigación no es *per se* mejor que otra, y a descartar la creencia de que existe un método científico universal, o uno predominante.

Además, hay que tener en cuenta que, si bien el uso de un enfoque explícito y reflexivo en la enseñanza de la NDC es clave, el aprendizaje de los aspectos de la NDC es sobre todo una cuestión de cambio conceptual. A partir de las demandas que exige este (Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982; Tyson, Venville, Harrison y Treagust, 1997), Clough (2006) ha intentado dar una explicación sobre algunos de los motivos por los que los estudiantes pueden continuar con ideas inadecuadas de NDC, o tan solo cambiarlas ligeramente, a pesar de haber recibido un tratamiento educativo explícito y reflexivo:

El significado de las experiencias sobre NDC muy contextualizadas puede ser rechazado fácilmente porque los estudiantes y los profesores las interpretan usando un conocimiento previo inadecuado. El desarrollo y el cambio conceptuales, y la enseñanza para conseguir estos objetivos, son extraordinariamente complejos [...] (p. 489).

En suma, la evolución de las concepciones sobre NDC está condicionada por las ideas que los estudiantes MAES poseen sobre esta; bien sea por la imagen que se han forjado implícitamente durante sus estudios científicos, sus experiencias como investigadores, o bien como resultado de los procesos de asimilación y acomodación de las nuevas ideas, que han incorporado durante el aprendizaje en el máster a sus propios esquemas mentales desarrollados previamente.

Respecto a los cambios en las ideas de los estudiantes MAES sobre los aspectos de NDC abordados una vez concluida la actividad, podemos afirmar que:

1. A pesar de que, como se ha señalado más arriba, la gran mayoría de las respuestas iniciales de los grupos se habían situado en el nivel 3 (11 de 16), se produjeron mejoras en todos los aspectos de NDC abordados, y en casi todos los casos posibles (14 de 16).
2. Los resultados finales obtenidos también nos permiten concluir que, como en los estudios de las implementaciones de otras controversias de HDC mostrados en capítulos anteriores, la sesión de la puesta en común de todos los grupos resultó ser clave.

Por último, hay que destacar que, desde un primer momento, los estudiantes MAES dieron una gran importancia a la influencia de los factores no-epistémicos en la investigación científica, incluso por encima de los epistémicos. Por una parte, ello debería hacer reflexionar seriamente a los investigadores y educadores de NDC que minusvaloran la inclusión de los aspectos no-epistémicos en la enseñanza de la NDC. Por otra, pone de manifiesto el potencial de la narración utilizada en cuanto a su eficacia para valorar la importancia de ambos aspectos, epistémicos y no-epistémicos, en los procesos de construcción del conocimiento científico.

## 10. Estudio de la implementación del caso Rosalind Franklin y la doble hélice del ADN en Bachillerato

Se presenta un estudio cualitativo, de naturaleza interpretativa, sobre la comprensión de diversos aspectos epistémicos y no-epistémicos de NDC, a partir de un análisis de la controversia de HDC sobre el papel de Rosalind Franklin en la elucidación de la estructura molecular del ADN. La actividad se implementó, durante el curso 2016-17, en la formación de estudiantes de 2º de Bachillerato (17-18 años) con un enfoque explícito y reflexivo.

### 10.1 Preguntas que dirigen la investigación

Del estudio anterior (capítulo 9), en el que se implementó la misma actividad en el MAES, se desprende la importancia de la discusión de las ideas generadas tras la lectura de esta narración de HDC en el aprendizaje de algunos aspectos de NDC. En este estudio, con estudiantes de Bachillerato (estudiantes BAC, en lo sucesivo), se pretende dar respuesta a las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Qué ideas tienen los estudiantes BAC participantes sobre los aspectos de NDC tratados tras una primera lectura reflexiva del caso histórico?
2. ¿Cómo contribuye la puesta en común y la discusión crítica de las primeras reflexiones de los estudiantes BAC sobre los aspectos de NDC encarados?
3. ¿Qué cambios se producen en las ideas de los estudiantes BAC sobre los aspectos de NDC abordados, una vez concluida la actividad?

### 10.2 Aspectos contextuales de la investigación

#### 10.2.1 Descripción de la actividad

La actividad fue implementada por la coautora a lo largo de una intervención educativa de tres sesiones: las dos primeras de 1,5 horas, y la última de 1 hora. Se propone la lectura de una narración histórica de la investigación de Rosalind Franklin sobre la elucidación de la estructura molecular del ADN, a la que sigue una reflexión en pequeño grupo sobre aspectos de NDC incluidos en el texto. Esta sesión concluye con la elaboración de un primer informe. Posteriormente, se realizó una puesta en común con todos los grupos, para finalizar con una revisión en los grupos pequeños de las cuestiones abordadas y la redacción de un segundo informe. El texto de la narración ha sido descrito con anterioridad brevemente en la sección 3.1.3. Consideramos que este caso tiene interés didáctico para aprender ciertos aspectos de NDC. Además, los contenidos científicos implicados en el mismo son abordables para estudiantes BAC de la rama de Ciencias.

#### 10.2.2 Participantes

El estudio se llevó a cabo con un grupo de estudiantes de 2º de Bachillerato formado por 8 hombres y 6 mujeres, en un instituto público de Enseñanza Secundaria de entorno urbano y nivel sociocultural medio. Los estudiantes BAC trabajaron en grupos pequeños (cuatro grupos con 3 o 4 alumnos).

Todos los estudiantes BAC cursaban la modalidad de Ciencias, pero las materias troncales optativas eran diferentes: 6 estudiantes, con orientación científico-sanitaria, estaban matriculados en Química y Biología, y 8 de orientación científico-tecnológica, cursaban Física y Dibujo Técnico. El grupo era heterogéneo en cuanto al rendimiento académico. La mayoría no estaba familiarizada con el trabajo

en el laboratorio, ni con la realización de trabajos prácticos como actividades de indagación científica. Tampoco había abordado previamente el análisis de casos y controversias de HDC.

La implementación de la actividad se realizó en una asignatura de libre configuración denominada “Investigación Científica”, de 2 horas semanales. Los estudiantes BAC optaron por esta materia entre otras ofertadas por el centro educativo. Los objetivos de la asignatura son: (i) el desarrollo de habilidades y destrezas básicas propias de las metodologías científicas; (ii) el conocimiento de procedimientos fundamentales que constituyen los métodos de la ciencia; (iii) la comprensión de elementos relacionados con las dimensiones sociales interna y externa de la ciencia, que influyen en el desarrollo de las investigaciones científicas; y (iv) la valoración crítica de las relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente. Por tanto, las actividades de reflexión crítica sobre aspectos de NDC, a partir de narraciones de controversias de HDC, son de interés para la consecución de gran parte de estos objetivos.

Puesto que no todos los estudiantes BAC cursaban la materia de Biología, con anterioridad a la lectura de la narración se llevó a cabo una actividad que permitiese la familiarización con conceptos de Bioquímica implicados en el tema. Esta consistió en la fundamentación de un protocolo de extracción del ADN, la mejora de dicho protocolo mediante una actividad experimental de indagación científica, la separación del ADN obtenido previamente, y su visualización con un microscopio óptico.

### 10.2.3 Objetivos de la actividad

Con esta actividad, se pretende el aprendizaje de los siguientes aspectos de NDC:

1. Identificar la pluralidad de metodologías posibles en una investigación científica.
2. Reconocer el papel de los objetivos de una investigación científica.
3. Identificar las fortalezas de un modelo científico, en concreto el de Watson y Crick.
4. Señalar factores epistémicos y no-epistémicos que puedan suponer un obstáculo para culminar con éxito una investigación científica, como sucedió en el caso de Rosalind Franklin.

### 10.2.4 Cuestiones de NDC planteadas.

Las cuestiones planteadas para reflexionar sobre los aspectos de NDC abordados en la actividad se indican en la tabla 13.

**Tabla 13. Cuestiones de NDC planteadas en la implementación del caso Rosalind Franklin en Bachillerato.**

C1. Es frecuente leer la expresión “el método científico” como un proceso universal en etapas para la construcción del conocimiento científico. ¿Crees que esto es adecuado? Razónalo.
C2. ¿Crees que los objetivos de la investigación sobre el ADN eran los mismos para todos los científicos implicados? Explicalo.
C3. ¿Cuáles crees que son las principales fortalezas del modelo del ADN de Watson y Crick? Justificalo.
C4. ¿Qué factores epistémicos y no-epistémicos crees que pudieron influir para que Rosalind Franklin no fuera la primera en dilucidar la estructura del ADN?

### 10.2.5 Evaluación de la comprensión de los aspectos de NDC abordados

Las fuentes de información que proporcionaron los datos para este estudio fueron los informes iniciales y finales elaborados por los grupos, así como una grabación de audio, realizada por la educadora, de la puesta en común llevada a cabo durante la sesión en gran grupo.

Para analizar la información recogida en los informes, se diseñó una rúbrica según lo indicado en la sección 5.2; es decir, sometiendo a discusión una primera propuesta, que se fue modificando en sucesivos turnos hasta alcanzar un acuerdo por parte de los investigadores. Los niveles de aprendizaje para cada uno de los aspectos de NDC, y los descriptores correspondientes que se consensuaron, se recogen en la tabla 14.

Puesto que la rúbrica es la misma que la del estudio del capítulo anterior, no se repetirá aquí el procedimiento de asignación de niveles de aprendizaje a las respuestas de los grupos (véase la sección 9.2.5).

**Tabla 14. Rúbrica de evaluación de aspectos de NDC en el contexto del caso Rosalind Franklin y la doble hélice del ADN.**

Contenido de NDC	Nivel 4 (máximo)	Niveles 3 – 0
C1. Pluralidad de metodologías de las investigaciones científicas	Se explica que no hay un método científico único, y se describen las dos metodologías identificables en la narración histórica: 1) la empírica sistemática de Franklin, y 2) la de Watson y Crick basada en la elaboración de un modelo funcional; asimismo, 3) se argumenta, razonadamente, que ninguna metodología es <i>per se</i> mejor que la otra.	Nivel 3: Se explica que no hay un método científico único, pero solo se describe una de las dos metodologías [1] o 2)]. Se argumenta, razonadamente, que ninguna metodología es <i>per se</i> mejor que la otra [3]). Nivel 2: Se explica que no hay un método científico único, pero no se describe ninguna de las metodologías [ni 1) ni 2)]. Se argumenta, razonadamente, que ninguna metodología es <i>per se</i> mejor que la otra [3]). Nivel 1: Se considera que son posibles varias metodologías científicas y, aunque se describan, se asume que una de ellas es <i>per se</i> mejor que otra. Nivel 0: Se considera que solo hay un único método científico válido.
C2. Objetivos de las investigaciones científicas	Se explica que los objetivos eran diferentes, y en la explicación se señalan tres de las razones siguientes: 1) Se explica el objetivo de Franklin. 2) Se explica el objetivo Watson y Crick. 3) Se relacionan los objetivos con la formación de los científicos. 4) Se relacionan los objetivos con las metodologías empleadas. 5) Se relacionan los objetivos con las prioridades de los centros de investigación.	Nivel 3: Se explica que los objetivos eran diferentes, y en la explicación se señalan dos de las razones anteriores. Nivel 2: Se explica que los objetivos eran diferentes, y en la explicación se señala una de las razones anteriores. Nivel 1: Se explica que los objetivos eran diferentes, pero no se aportan argumentos válidos. Nivel 0: No se identifican diferencias significativas entre los objetivos.
C3. Fortalezas del modelo de Watson y Crick	Se indican, de forma justificada, al menos tres fortalezas; por ejemplo: 1) Explica la estructura del ADN. 2) Permite dar explicaciones y hacer predicciones sobre el código genético. 3) Permite establecer una hipótesis fecunda para investigaciones futuras. 4) Da respuesta a problemas multidisciplinarios.	Nivel 3: Se indican dos fortalezas de forma justificada. Nivel 2: Se indican una fortaleza y se justifica. Nivel 1: Se indica alguna fortaleza, pero no se justifica o la justificación no es válida. Nivel 0: No se indica ninguna fortaleza.
C4. Obstáculos epistémicos y no-epistémicos en las investigaciones científicas	Indica más de dos factores, tanto epistémicos como no-epistémicos, con argumentos válidos. (i) Entre los factores epistémicos se señalan: (1) Los distintos propósitos de las investigaciones de Franklin y de Watson y Crick. (2) Las diferencias metodológicas entre ambas investigaciones sobre la estructura del ADN. (3) La creatividad mostrada por Watson y Crick para relacionar datos muy diversos. (4) La formación o área de especialización de los investigadores. (ii) Entre los factores no-epistémicos se señalan: a) La falta de ética de Watson y Crick al usar datos de Franklin sin su conocimiento ni reconocimiento. b) Las tensiones y falta de colaboración entre Franklin y Wilkins frente al gran espíritu de colaboración que mostraron Watson y Crick. c) El carácter competitivo de Watson y Crick. d) Las posibles dificultades que tuvo Franklin por ser mujer en la ciencia de la época.	Nivel 3: Indica razonadamente al menos un factor epistémico y un factor no-epistémico, dando argumentos válidos. Nivel 2: Indica razonadamente solo factores del mismo tipo, epistémicos o no-epistémicos, dando argumentos válidos. Nivel 1: Indica razonadamente un factor; epistémico o no-epistémico, dando argumentos válidos. Nivel 0: No indica ningún factor, o bien cita alguno, pero no se dan argumentos válidos.

### 10.3 Resultados y discusión

A continuación se describen y analizan los resultados obtenidos por los grupos en cada una de las fases de la actividad, con la intención de mostrar la evolución general de los niveles de aprendizaje logrados para el conjunto de contenidos de NDC tratados. Un resumen de los resultados, organizados según los objetivos y cuestiones de la actividad, se muestra en la figura 9.

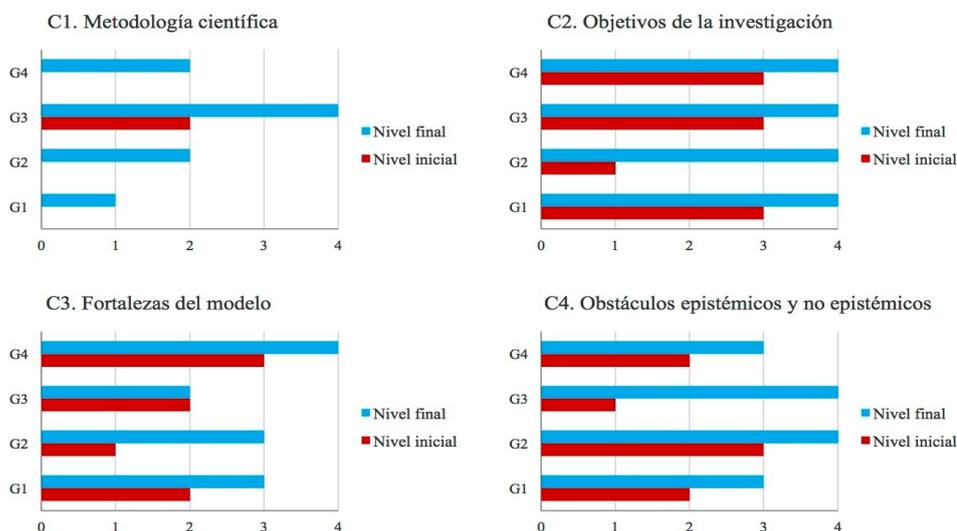


Figura 9. Evolución de niveles de aprendizaje para los aspectos de NDC abordados.

#### 10.3.1 Concepciones de los grupos después de la lectura del texto de la controversia: diagnóstico de las ideas previas sobre NDC de los estudiantes de Bachillerato

Las respuestas iniciales a las cuestiones, tras una primera lectura de la narración, indicaron que las ideas de los estudiantes BAC sobre los aspectos de NDC abordados estaban algo alejadas de las deseables. Seis de las 16 respuestas posibles se repartieron por igual entre los niveles 0 y 1, y las diez restantes entre los niveles 2 y 3 del mismo modo (figura 10). Respecto al número de argumentos aportados en las respuestas, solo fueron citados la mitad de los descriptores de la rúbrica (véase el apéndice). Desde el punto de vista de los objetivos de la actividad, los resultados mostraron una comprensión desigual de los distintos aspectos de NDC tratados (figura 10 y apéndice).

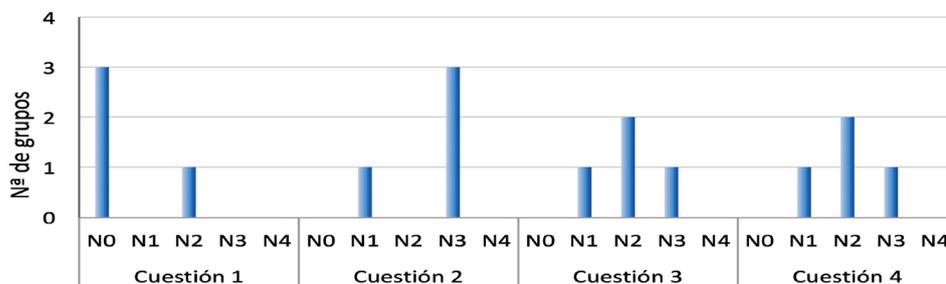


Figura 10. Niveles de respuestas alcanzados por los grupos en la fase inicial de la actividad.

Los niveles más bajos se dieron en la cuestión C1, donde todos los grupos, excepto uno (G3), se situaron en el nivel 0. En efecto, tres grupos (G1, G2 y G4) consideraron que existe un único método

científico válido, predominando la idea de que es un procedimiento algorítmico, consistente en una serie ordenada de pasos que lleva a la construcción del conocimiento científico, tal y como se observa en la respuesta siguiente: “[...] *ya que el método científico es una serie ordenada de procedimientos que hace uso de la investigación científica para aumentar nuestro conocimiento.*” (G1). Solo un grupo (G3) consideró la posibilidad de diversas metodologías de investigación, aunque no detalló las dos descritas en la narración: “*Los científicos no cuentan con pasos a seguir para conocer lo que investigan, sino que cada uno crea su propio guión para llegar a una misma finalidad, llegar a conocer el objeto de su investigación.*” (G3).

La pregunta que inicialmente resultó más asequible fue la segunda, alcanzando tres grupos (G1, G3 y G4) el nivel 3, identificando y argumentando suficientemente los objetivos de las investigaciones sobre la estructura del ADN, tal y como se aprecia en la respuesta siguiente:

No, claramente [los objetivos] no eran los mismos, y evidentemente esto puede influir en el desarrollo de la investigación. En este caso, la finalidad de la investigación, llevada a cabo en el Cavendish era distinta a la del King's College. Watson y Crick que trabajaban en el Cavendish tenían como propósito explicar la transmisión de la información genética y el código genético en sí, de modo que la estructura del ADN tan solo era un paso en la investigación, una baldosa en el camino, pero no era objetivo final. Por otro lado, Franklin y Wilkins, que trabajaban en el King's College, sí tenían como propósito principal establecer la estructura del ADN. (G1)

No obstante, los estudiantes BAC no relacionaron los objetivos con los tres descriptores de la rúbrica siguientes (véase el apéndice): la formación de los científicos, las metodologías empleadas, y las prioridades de los centros de investigación.

En las cuestiones C3 y C4 se obtuvieron resultados globales similares (figura 10). En la cuestión C3, tres grupos (G1, G3 y G4) señalaron como fortaleza del modelo de Watson y Crick su capacidad para explicar la replicación del ADN: “*la principal fortaleza fue descubrir cómo se emparejaban las bases nitrogenadas y, a partir de esto, llegar a que el ADN se autoreplica para poder transmitir la información genética.*” (G1). En cambio, solo el grupo G4 destacó como ventaja del modelo que proponía una estructura para el ADN coherente con todos los datos disponibles. En ningún caso se hicieron referencias a estos dos descriptores de la rúbrica (véase el apéndice): la fecundidad de la hipótesis para investigaciones futuras; y la capacidad para interpretar problemas interdisciplinares.

Respecto a la cuestión C4, cabe destacar que inicialmente se hicieron 5 referencias a factores no epistémicos, frente a solo 2 epistémicos. Como puede verse en el apéndice, no se citaron los dos aspectos epistémicos siguientes: los distintos propósitos de las investigaciones de Franklin y de Watson y Crick, y la creatividad mostrada por Watson y Crick para relacionar datos muy diversos. Tampoco se hizo alusión al aspecto no-epistémico relativo a la falta de ética de Watson y Crick, al usar datos de Franklin sin su conocimiento ni el oportuno reconocimiento.

Con relación a los factores epistémicos, el grupo G3 fue el único que hizo referencia a las diferencias metodológicas entre ambas investigaciones: “*Franklin se opuso a la creación prematura de modelos teóricos hasta que se hubiese recabado información suficiente para guiar correctamente la creación de modelos [...]*” (G3). Mientras que el grupo G2 fue el único que hizo referencia a la formación o área de especialización de los investigadores: “[...] *Watson y Crick congeniaron desde un principio lo cual hizo que la investigación fluyera más y se complementaban conocimientos ya que uno era físico y otro biólogo.*” (G2).

El factor no-epistémico más citado por los grupos (G1, G2 y G4) fue la falta de cooperación y las desavenencias entre Franklin y Wilkins, como se muestra en la respuesta siguiente: “*La situación en el King’s College era deplorable debido a las tensiones y diferencias entre Franklin y Wilkins que perjudicaban el proceso científico.*” (G1). Cabe resaltar también que tres grupos (G2, G3 y G4) consideraron el género como un factor determinante en los obstáculos que tuvo Franklin en su investigación, pero solo se consideró válido el argumento siguiente: “*Wilkins la trataba como a una vulgar ayudante y no le reconocía ningún mérito en la investigación.*” (G4). Las razones de los otros dos grupos tenían que ver más con la percepción general que se tiene sobre el problema del género en la sociedad que con la información aportada en el texto.

Por último, es necesario señalar que, en los informes iniciales, se encontraron algunas muestras de comprensión insuficiente del texto por los estudiantes BAC, tanto de contenidos bioquímicos como de algunos relacionados con la propia investigación científica presentada.

### 10.3.2 *Discusión de las concepciones iniciales de los grupos en la puesta en común*

Las ideas que los estudiantes BAC plasmaron en el primer informe, fruto de la lectura de la narración del caso de HDC y de la reflexión crítica sobre su contenido, fueron expuestas por los grupos durante la sesión de puesta en común. Esta exposición, que se iba produciendo de forma voluntaria, constituyó el punto de partida de más reflexiones que implicaron a todos los grupos. La educadora animaba al debate cuando había desacuerdos, o formulaba preguntas que reconducían la discusión si las respuestas no tomaban la dirección pretendida. Asimismo, planteó cuestiones que generaban una situación de conflicto cognitivo cuando las ideas expuestas mostraban visiones ingenuas o se alejaban de las esperadas. En otras ocasiones, la educadora realizó preguntas que invitaban a profundizar en aspectos que los estudiantes BAC no habían abordado suficientemente y, en caso necesario, aportó información adicional para enriquecer el debate.

A continuación, expondremos algunas de las intervenciones para ilustrar cómo la discusión crítica de las primeras reflexiones de los estudiantes BAC (EB) puede contribuir a la evolución de las ideas iniciales sobre NDC.

Los primeros desacuerdos surgieron en torno a la universalidad y unicidad del método científico frente a la pluralidad de metodologías de investigación. El grupo G3 indicó que no existe un único método, contrariamente a la opinión del resto, por lo que, en principio, no fue necesario que la educadora (ED) crease un conflicto cognitivo para que aflorase esta idea. Los siguientes son algunos fragmentos de la discusión:

[...]

Estudiante BAC 8 (EB8): [...] Pero Watson y Crick no trabajaban para nada como Franklin, en el texto dice que Franklin se basaba en interpretar las imágenes de rayos X y que Watson y Crick suponían modelos para explicar que el ADN podía transmitir la información genética, y eso no es lo mismo.

EB2: No es lo mismo, claro, y hasta en la fotocopia [texto de la controversia] pone dos enfoques metodológicos, pero dos enfoques no es lo mismo que decir dos métodos diferentes. En el fondo el método en sí era el mismo, porque necesitaban los rayos X. Pero Watson y Crick iban probando, y lo primero que dijeron era que la molécula de ADN tenía tres hélices, vamos, que se imaginaban la molécula sin tener datos suficientes. Además, después usaron la foto de rayos X de Rosalind Franklin.

EB3: Sí, y fue Rosalind Franklin quien les corrigió [...] La que sabía por dónde iba la cosa porque la que tenía más datos era Franklin. Además, separó la forma del ADN que interesaba.

EB10: Bueno, ella sabía lo que no estaba bien porque de química sabía más que los demás, pero no dijo cómo era la molécula, solo cómo no era.

Educadora (ED): Tengo un par de preguntas para vosotros. Vamos por partes. Habéis comentado que usaban el mismo método porque en los dos estudios hacían uso de las imágenes obtenidas por rayos X, pero ¿eso quiere decir que el método es el mismo? ¿Qué entendéis por método?

EB6: Yo creo que el método es cómo haces las cosas, el orden, los pasos que das. Es verdad lo que dice el grupo de EB8, la forma en la que trabajaban no era la misma, aunque Watson y Crick usaron la foto de rayos X de Rosalind Franklin.

ED: Entonces, ¿los rayos X son un método? ¿Qué son?

EB7: A mí me parece que los rayos X no son un método, que necesitan usar ese instrumento porque la estructura del ADN no se ve al microscopio, como vimos en el laboratorio [...]

En el fragmento anterior se aprecia que los estudiantes BAC intercambiaron opiniones sobre los procedimientos científicos, siendo la intervención de la educadora necesaria para llamar la atención y obligar a reflexionar sobre ideas inapropiadas que fueron surgiendo. A continuación, la educadora trató de reconducir la discusión para que los grupos diferenciases las dos metodologías de investigación que se muestran en la narración.

ED: ¿Para qué se usaron las imágenes de rayos X en los dos estudios? ¿Cuál era su utilidad para Franklin?

EB3: Eran datos.

ED: ¿Y para qué servían estos datos?

EB13: Pues quería reunir los datos para deducir cómo era la molécula, como se colocaban los grupos que forman el ADN.

ED: ¿Y para Watson y Crick?

EB2: Watson y Crick se aprovecharon de la foto.

ED: Pero, ¿cómo? En su investigación, ¿qué importancia tuvo? ¿Cómo la emplearon?

EB7: Gracias a la foto se comprobaba en parte el modelo de Watson y Crick.

ED: Es cierto, Watson y Crick necesitan evidencias de la validez de su modelo. Pero no solo. Cuando tuvieron noticia de la foto, ¿ya habían elaborado su modelo?

EB11: No, no, pero les dio la pista.

ED: ¿Qué pista?

EB9: La pista de la doble hélice, aunque yo la verdad sigo sin ver la doble hélice.

ED: ¿Y fue suficiente con esta pista?

EB6: No. En el texto dice que usaron la información de más investigadores y que también pusieron sus propias ideas.

ED: Exacto, como decíais al principio, ellos encajaron todas las piezas, pero hicieron sus propias aportaciones. Pero, ¿qué es lo que hace entonces que Watson y Crick encajen esas

piezas?, ¿vieron en la imagen de Franklin lo que EB9 no logra ver? Bueno, ni ella ni otros investigadores de la época.

EB9: Los conocimientos, porque ellos sabían del tema y yo no tengo mucha idea que digamos.

[...]

ED: Risas aparte, aquí hay algo que nos interesa, y es la importancia de la carga teórica del modelo de Watson y Crick. Pero hay un aspecto importante que les da la clave, algo que Watson y Crick consideran y Franklin no...

EB8: Es lo que ya decíamos, que Watson y Crick querían explicar que el ADN podía transmitir la información genética y Rosalind Franklin no.

ED: Sí. Ellos supusieron una estructura que explicase que el ADN almacenaba y transmitía la información genética. [...] Otra pregunta. ¿Las ideas y modelos que desarrollan los científicos se basan en datos, en meras suposiciones, en los conocimientos teóricos? Watson y Crick y Franklin, ¿cómo trabajaron?

La educadora consideró que en este momento era conveniente hacer una recapitulación y llegar a algunas conclusiones parciales. Algunos estudiantes BAC fueron tomando la palabra y expusieron de forma adecuada los principales rasgos de las dos metodologías. Tras el intercambio de ideas, todos estuvieron de acuerdo en afirmar que los métodos de investigación eran diferentes y válidos. No obstante, el grupo G1, manifestó algunas discrepancias.

[...]

EB2: Bueno, es verdad que no trabajaron del mismo modo, pero yo no veo el método de Watson y Crick muy científico, porque lo que tuvieron fue suerte. El método de Rosalind Franklin era mejor, más científico. Además de que los otros se aprovecharon de su trabajo. Como decía mi compañera ella sabía más. Me parece mejor tener más datos para estar más seguro, aunque sea más lento. Así tienes menos probabilidad de equivocarte.

ED: ¿Y los errores y el azar no tienen cabida en la investigación científica?

EB2: ¡Hum! Sí, seguro que hay errores. Pero los científicos tienen que procurar equivocarse lo menos posible.

EB12: ¡Cómo no se van a poder equivocarse!; además, que cuando tienen una idea no saben si se equivocan, tendrán que probar, ¿no? Si se han equivocado, se sabe después.

EB6: Si no le echas imaginación, aunque te equivoques, nunca dices nada nuevo.

EB14: Y si no te equivocas no aprendes, y con la ciencia tiene que ser igual.

EB2: Pero, si hay un método con el que te equivocas menos...

[...]

Tras el intercambio de ideas, la mayoría aceptó la importancia de los errores en la construcción del conocimiento en general, y en la investigación científica en particular. Los miembros de grupo G1, solo lo hicieron parcialmente, y parece que esto constituyó un obstáculo para considerar la posibilidad de otras metodologías científicas igualmente válidas. También podría haber influido un aspecto emocional, pues los estudiantes BAC de este grupo estaban indignados por el uso que Watson y Crick hicieron de la famosa foto 51, lo cual pudo tener como consecuencia que los componentes de este grupo no valorasen del mismo modo la forma de trabajo de Watson y Crick.

Otro aspecto destacable en esta fase fue la discusión sobre la fortaleza del modelo de Watson y Crick. Los grupos manifestaron sus dudas sobre el concepto de modelo, y la educadora realizó preguntas adicionales para aclarar y profundizar en este concepto:

EB6: Pues, aunque estamos hablando de los modelos, es que no veo del todo claro que son exactamente.

EB12: Yo la verdad tampoco lo veo muy claro.

ED: Y, cuando estamos hablando de modelo, ¿qué os viene a la mente?

EB6: Yo me acuerdo de los modelos que hemos estudiado, los modelos atómicos, el modelo cinético molecular. ¡Uf! Ahora mismo no me acuerdo de más.

EB12: Pero en la fotocopia [texto de la narración], en la imagen 3, que pone Watson y Crick con su modelo, hay una foto de una estructura metálica.

EB10: Pero eso es como el modelo cinético molecular, que lo puedes representar con bolas.

ED: ¿Por qué pensáis que Watson y Crick usaron la estructura metálica para el ADN o nosotros usamos las bolas para el modelo cinético molecular?

EB3: Para poder imaginarte las moléculas, porque no se pueden ver.

ED: Sí, los modelos son representaciones de una realidad que estamos estudiando, con la que trabajamos. Pero estas representaciones se pueden realizar de muchas maneras, con estructuras, como decís, mediante ideas. Pero también hay otras formas de representación. Además, tened en cuenta que con un modelo no nos limitamos a representar, podemos también trabajar con él. Volvamos entonces al modelo de Watson y Crick y a sus ventajas, sin perder de vista estas ideas

[...]

Del análisis de las discusiones anteriores podemos concluir que esta fase fue necesaria para que se produjera una reflexión crítica sobre los contenidos NDC. El intercambio de ideas entre todos los grupos favoreció su evolución, y permitió a la docente detectar obstáculos, concepciones poco informadas, así como reorientar y guiar el discurso hacia los aprendizajes esperados. Los resultados obtenidos en los informes finales pueden ser indicativos de la incidencia positiva que, efectivamente, esta fase tuvo en la evolución de las ideas de los estudiantes BAC sobre los aspectos de NDC tratados. No obstante, hay que tener en cuenta que, a pesar del tratamiento explícito y reflexivo, algunos logros son solo parciales, pudiendo requerir la comprensión de la NDC de un mayor número de intervenciones.

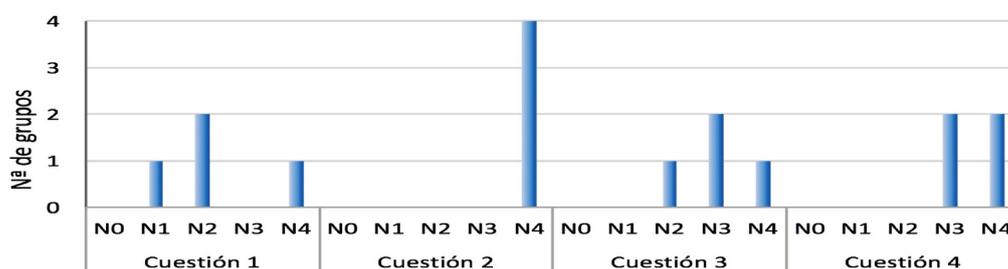
### *10.3.3 Concepciones de los grupos después de la puesta en común*

El análisis de los informes finales reflejó una mejora clara en los resultados (figura 9). Mientras que en la fase inicial aproximadamente una de cada tres respuestas superó el nivel 2 (figura 10), tres de cada cuatro respuestas lo superaron en la fase final (figura 11). En concreto, de 16 respuestas finales posibles, ocho alcanzaron el nivel 4, cuatro el nivel 3, tres el nivel 2, y solo una el nivel 1. Sin embargo, aunque mejoraron las respuestas a todas las cuestiones globalmente, los resultados finales fueron heterogéneos (figura 11).

Respecto a la evolución por niveles, la cuestión C1 sobre la metodología científica, que tuvo los peores resultados en la fase inicial, fue en la que más se progresó. Aun así, también fue la pregunta en la que se obtuvieron los niveles más bajos al final. En las cuestiones C2 y C4, que se refieren a los objetivos de las investigaciones y a los obstáculos epistémicos y no-epistémicos, respectivamente, la mejora fue muy similar; pero la cuestión C2 partía de niveles iniciales más altos y, de hecho, es en la que mejores resultados se lograron, alcanzando todos los grupos el nivel 4. También son buenos los

resultados de la cuestión C4, en la que dos grupos se situaron en el nivel 3 (G1 y G4) y otros dos en el nivel 4 (G2 y G3). La cuestión C3 es en la que menos se progresó, siendo además la única en la que un grupo (G3) no avanzó, permaneciendo en el nivel 2; mientras que los demás grupos se situaron en los niveles 3 (G1 y G2) o 4 (G4).

En las respuestas finales se citaron 18 de los 20 descriptores de la rúbrica (tabla 14), cuando inicialmente se hicieron referencia a 10 (véase el apéndice). Asimismo, la cantidad de alusiones a estos aumentó de manera considerable, pasando de 17 iniciales (de 80 posibles como máximo) a 42 finales (véase el apéndice). Estos datos reflejan una progresión notable de los estudiantes BAC en la comprensión de los contenidos de NDC abordados.



**Figura 11. Niveles de respuestas alcanzados por los grupos en la fase final de la actividad.**

Como se ha indicado antes, los progresos en la cuestión C1, relativa a la metodología científica, fueron mayores; posiblemente porque fue discutida con amplitud en la puesta en común. Tres grupos consideraron en la fase inicial que existe un método científico único, universal y algorítmico, mientras que ahora son tres los que reconocen claramente la pluralidad de metodologías de investigación y la argumentan (G2, G3 y G4). Por ejemplo, el grupo G2 pone de manifiesto que ninguna de las metodologías descritas en la controversia era *per se* mejor que la otra:

No es adecuado utilizar esta expresión como un proceso universal debido a que se puede llegar por varios caminos al conocimiento científico [...] se siguieron dos métodos diferentes y ambos podían llegar a resolver el problema que se investiga. Cada investigador puede enfocar la investigación según los problemas que se plantee inicialmente. (G2)

No obstante, siguieron detectándose algunas dificultades. Por ejemplo, no todos los grupos describieron las metodologías usadas por Watson y Crick y por Franklin. Tan solo lo hizo el grupo G3:

No es adecuado [un método científico único], pues los científicos no cuentan con pasos fijos a seguir para conocer lo que investigan, sino que cada uno va desarrollando los procedimientos y los caminos según el objeto de su investigación. Una prueba de esto son los procedimientos diferentes que siguieron Watson y Crick y Rosalind Franklin. Rosalind Franklin, después de aislar la forma B del ADN, que es la que se encuentra en los seres vivos, quería recabar información suficiente mediante técnicas cristalográficas para guiar correctamente la creación de un modelo de la estructura del ADN. Watson y Crick construyeron con distintos materiales un modelo hipotético que explicase que el ADN se duplicase, pero este modelo solo podía ser válido si se explicaba con las imágenes obtenidas por rayos X. Es decir, los métodos, aunque eran distintos, se complementaban. (G3)

El grupo G1 reconoció que los científicos pueden usar diversos procedimientos en su investigación: *“Pero el camino al conocimiento científico está lejos de ser único, es obvio que hay muchas formas de*

*llegar a él y todas pueden ser válidas.*” (G1). Sin embargo, no le otorgaron el mismo estatus a los dos expuestos en la narración, considerando que la metodología empírica de Franklin era superior, y que el procedimiento empleado por Watson y Crick era menos riguroso, tal como mantuvieron en el debate de la puesta en común: *“Watson y Crick tuvieron más suerte, pero su método era menos riguroso y menos científico que el de Franklin. Es preferible disponer de pruebas suficientes, aunque sea más lento, porque así hay menos posibilidad de error.”* (G1).

En relación con la cuestión C2, relativa a los objetivos de una investigación, se produjo un incremento importante del número de razones aportadas por los grupos, citándose ahora todos los descriptores de la rúbrica (véase el apéndice). La mayoría de los grupos indicó que los objetivos de las dos investigaciones eran diferentes, y explicaron los planteamientos de ambas. Asimismo, todos los grupos relacionaron los objetivos de las investigaciones con las metodologías empleadas, pudiendo este resultado ser fruto del debate que se produjo en torno a este asunto en la puesta en común. Así, por ejemplo, el grupo G2 manifestó que:

[...] Franklin y Wilkins tenían un enfoque analítico usando las matemáticas para resolver, a partir de las imágenes de rayos X, la estructura del ADN y Watson y Crick trataban de encajar las piezas como si se tratara de un rompecabezas, usando todos los datos disponibles, para responder a la pregunta de cómo se transmitía la información genética. (G2).

No obstante, los resultados son mejorables, ya que solo el grupo G2 relacionó los objetivos de las investigaciones con la formación o especialización de los científicos: *“Watson era biólogo, por eso le interesaba averiguar cómo se transmitía la información genética [...]”* (G2). También el grupo G3 fue el único que mencionó las prioridades de los centros de investigación en sus argumentos sobre esta cuestión: *“El King’s College de Londres, ofreció a Franklin un proyecto interdisciplinar de investigación cuyo objetivo era analizar el ADN mediante técnicas cristalográficas.”*(G3).

Como se ha indicado más arriba, la cuestión C3 sobre la fortaleza del modelo de Watson y Crick fue en la que hubo menos progresión en los niveles de los grupos.

La mayoría de los grupos destacó el éxito relacionado con los avances conceptuales del modelo. Todos los grupos señalaron que el modelo permite dar explicaciones y hacer predicciones sobre el código genético. Por ejemplo, el grupo G2 manifestó que *“[el modelo] podía explicar que el ADN almacenase y transmitiese la información genética.”* (G2). Dos grupos (G2 y G4) indicaron que el modelo aporta una explicación sobre la estructura del ADN. Así, el grupo G2 expuso que:

Watson y Crick elaboraron su modelo con gran creatividad a partir de ideas propias, como el apareamiento de las bases nitrogenadas [...] y con datos sobre el ADN, aportados por otros investigadores, por ejemplo, las imágenes de rayos X que había conseguido Rosalind Franklin. Propusieron un modelo de ADN que respondía a la mayoría de las cuestiones planteadas. (G2)

En cambio, apenas se hicieron referencias a otros aspectos, como la posibilidad del modelo para la formulación de hipótesis fecundas para investigaciones futuras, que solo mencionó el grupo G4: *“[...] su modelo [...] permitía hacer predicciones para investigaciones futuras [...] tuvo grandes consecuencias para el desarrollo de la Genética.”* (G4); o la capacidad de dar respuesta a problemas multidisciplinares, que no citó ningún grupo. Por tanto, estos aspectos son susceptibles de mejoras.

En cuanto a la existencia de obstáculos epistémicos y no-epistémicos para culminar con éxito una investigación, se produjo un importante aumento de las razones esgrimidas. Respecto a los factores

epistémicos, mientras que inicialmente solo se señalaron dos descriptores de la rúbrica (véase el apéndice), y cada uno de ellos solo fue citado por un grupo, en la fase final se citan tres de los cuatro descriptores de la misma (véase el apéndice). Asimismo, todos los grupos aludieron a uno o dos aspectos epistémicos, y destacaron las diferencias metodológicas entre ambas investigaciones. Por ejemplo, el grupo G1:

Franklin tenía un enfoque experimental y analítico, medía ángulos e intensidades de difracción e intentaba interpretar las longitudes de enlace y otras características mediante la aplicación de un detallado análisis matemático [...] Watson y Crick encajaban las piezas como un rompecabezas [...] (G1)

El grupo G2 siguió resaltando la influencia de la formación o área de especialización de los investigadores: “*Watson y Crick [...] complementaban [sus] conocimientos ya que uno era físico y otro biólogo.*” (G2). El grupo G3 consideró la influencia de los distintos propósitos de las investigaciones de Franklin y de Watson y Crick: “*Franklin creía que la construcción de un modelo debía realizarse únicamente hasta que se contara con información estructural suficiente [...] su objetivo era analizar el ADN mediante técnicas cristalográficas [...] pero Watson y Crick tenían otros objetivos [...]*” (G3). No obstante, ninguno de los grupos se refirió a la importancia de la creatividad mostrada por Watson y Crick para relacionar datos muy diversos, aunque fue un aspecto discutido en el debate de la puesta en común, y algunos habían hecho referencia al mismo en otras cuestiones.

Con relación a los factores no-epistémicos, inicialmente se hicieron referencia a tres de los cuatro tratados en la narración, y cada grupo destacó dos, uno o ninguno. En cambio, en los informes finales se citaron todos los factores no-epistémicos contemplados, y los grupos mencionaron en sus respuestas cuatro, tres o dos, al argumentar la influencia de los mismos como obstáculos para que Franklin culminara con éxito su investigación. Todos los grupos señalaron las tensiones y la falta de colaboración entre Franklin y Wilkins, frente al gran espíritu de colaboración de Watson y Crick. Por ejemplo, el grupo G3 señaló: “[...] *las malas relaciones entre Franklin y Wilkins les retrasó, mientras que Watson y Crick formaban un verdadero equipo.*” (G3). También todos los grupos comentaron las posibles dificultades que tuvo Franklin por ser mujer en la ciencia de la época, justificándolas ahora de manera adecuada, al contrario de lo que sucedió en las respuestas iniciales. Así se pone de manifiesto, por ejemplo, en la respuesta del grupo G4: “*Wilkins, debido a que Franklin era mujer, la considero como una mera ayudante, y se comportaba como si fuese el jefe de la investigación, lo que Franklin no aceptaba.*” (G4). Asimismo, dos grupos (G1 y G3) se refirieron a la falta de ética de Watson y Crick al usar datos de Franklin sin su conocimiento, además de no reconocer su trabajo. Por ejemplo, el grupo G1: “*Cuando Watson y Crick publicaron los resultados [...] no admitieron que el hecho de ser los primeros en publicar los resultados fue gracias a las investigaciones de ella [Franklin]*” (G1). Por último, dos grupos (G1 y G3) resaltaron el carácter competitivo de Watson y Crick. El grupo G3 lo destacó de este modo: “*Watson y Crick eran más competitivos, y querían ser los primeros en determinar la estructura del ADN.*” (G3).

A la vista de los resultados finales obtenidos, podemos afirmar que la controversia sobre Rosalind Franklin y el ADN resulta idónea para abordar la influencia de diversos factores, tanto epistémicos como no-epistémicos, que influyen en la culminación exitosa de las investigaciones científicas. Asimismo, hay que destacar la oportunidad que ofrece la narración para reflexionar sobre los factores no-epistémicos que, como se viene reiterando, son los grandes olvidados en la enseñanza habitual de la NDC, aporta un valor didáctico adicional al recurso utilizado.

Por último, en la tabla 15 se sintetizan las evoluciones de los niveles de respuesta logrados por los grupos para cada una de las cuestiones de NDC discutidas.

**Tabla 15. Evolución de los niveles de respuesta alcanzados por los grupos en cada cuestión de NDC después de concluir la actividad.**

Cuestiones	Evolución de niveles	Nº de grupos
C1. Metodología científica	N0 → N1	1
	N0 → N2	2
	N2 → N4	1
C2. Objetivos de las investigaciones	N1 → N4	1
	N3 → N4	3
C3. Fortalezas del modelo	N2 → N2	1
	N1 → N3	1
	N2 → N3	1
	N3 → N4	1
C4. Obstáculos epistémicos y no-epistémicos	N2 → N3	2
	N3 → N4	1
	N1 → N4	1

#### 10.4 Conclusiones

Respecto a la primera pregunta de investigación de este estudio, relacionada con las ideas que tienen los estudiantes BAC sobre los aspectos de NDC tratados, después de una primera lectura reflexiva de la narración de HDC empleada, se concluye que:

1. Al igual que lo señalado en el capítulo 6, se confirma la eficacia de las narraciones de HDC de nuestro proyecto para diagnosticar las concepciones iniciales de estudiantes de Educación Secundaria (ESO y BAC) sobre aspectos de NDC, a partir de la interpretación de sus primeras respuestas.
2. Los estudiantes BAC mostraron inicialmente, de forma mayoritaria, concepciones ingenuas sobre las metodologías de las investigaciones científicas, considerando que existe un método científico único, universal y algorítmico. Además, manifestaron una visión superficial sobre las dificultades de las científicas como investigadoras por su condición de mujer.
3. La lectura inicial de la narración contribuyó a que todos los grupos mostraran una comprensión suficiente de la importancia de los objetivos que se plantearon los investigadores de la estructura del ADN, así como del papel que tuvieron ciertos aspectos epistémicos y no-epistémicos para obstaculizar el éxito de la investigación de Rosalind Franklin.
4. En los informes iniciales se encontraron evidencias de una comprensión deficiente de algunos aspectos de NDC. Ello, unido a la existencia de concepciones ingenuas sobre NDC, hace imprescindible una fase de discusión y debate entre todos los grupos, que permita la reflexión crítica de las ideas iniciales detectadas.

Refiriéndonos a esto último, la contribución de la puesta en común y la discusión crítica de las primeras reflexiones de los estudiantes BAC sobre los aspectos de NDC tratados en el caso de HDC, destacamos lo siguiente:

1. Los estudiantes BAC fueron capaces de comprender los razonamientos de sus compañeros sobre los aspectos abordados de NDC, y expresaron sus propias opiniones. Se

apreciaron suficientes evidencias de la contribución de estos intercambios de ideas entre los grupos a la evolución de sus concepciones iniciales sobre NDC.

2. La fase de debate despertó interés entre los estudiantes BAC, y les animó a ahondar en los aspectos NDC tratados, lo que muy posiblemente contribuyó a la progresión en su aprendizaje.
3. Durante esta fase, el papel de la educadora fue como moderadora, realizando preguntas que ayudasen a la reflexión de los participantes y sirvieran de andamios para facilitar la evolución de las ideas de estos, sin imponerlas. Las posturas dogmáticas solo logran que los estudiantes declaren lo que se espera de ellos, sin que realmente integren las nuevas ideas en sus esquemas mentales.

En cuanto a la tercera pregunta de investigación, relativa a los cambios producidos en las ideas de los estudiantes BAC sobre los aspectos de NDC abordados, tras la puesta en común, concluimos lo siguiente:

1. La comprensión sobre la metodología de las investigaciones científicas resultó uno de los aspectos más complejos. Aunque la actividad contribuyó a la evolución de las ideas de los estudiantes BAC sobre la pluralidad de metodologías, consideramos que se preciaría de intervenciones más prolongadas para adquirir una visión acorde con una perspectiva más real sobre este asunto.
2. Los estudiantes BAC fueron capaces de aportar argumentos diversos para justificar sus ideas sobre los contenidos de NDC tratados, y progresaron en cuanto a su capacidad de análisis al respecto. Esta mejora se apreció de manera generalizada en todas las cuestiones planteadas.
3. La comprensión de los estudiantes BAC sobre la naturaleza y el papel de los modelos en la investigación científica solo mejoró parcialmente. Ello genera la necesidad de abrir una vía de mejora al respecto, que pudiera contribuir a un mejor entendimiento de este aspecto de la NDC.
4. Por último, hay que resaltar que el mayor número de referencias de los estudiantes BAC a descriptores no-epistémicos que a epistémicos en la cuestión C4 (véase el apéndice) está en sintonía plena con el obtenido en el estudio de la implementación del caso sobre Semmelweis y la fiebre puerperal con estudiantes de 4º ESO (capítulo 6). Si entonces señalábamos que *“los aspectos no-epistémicos podrían ser los más apropiados para abordar el tópico en el currículo de ciencia escolar de Secundaria”* (6.4), los datos aportados al respecto por este nuevo estudio se suman a los anteriores, y refuerzan lo que entonces era una primera conclusión provisional. Ello debería hacer reflexionar seriamente a aquellos educadores e investigadores de la NDC que son reacios a incluir, de manera explícita y rigurosa, los aspectos no-epistémicos de la NDC en la educación científica de Secundaria.

**Apéndice: Descriptores de la rúbrica citados en las respuestas de los grupos a las cuestiones en las fases inicial y final.**

Contenidos de NDC de las cuestiones	Descriptores de la rúbrica	Nº de citas – Fase inicial	Nº de citas – Fase final	Fragmentos de respuestas de los grupos con alusiones a los descriptores
C1. Metodología de investigación científica (3 descriptores)	(i) Se explica que no hay un método científico único, y se describe la metodología empírica sistemática de Franklin.	0	1/4	"Rosalind Franklin [...] quería recabar información suficiente mediante técnicas cristalográficas para guiar correctamente la creación de un modelo de la estructura del ADN."
	(ii) Se explica que no hay un método científico único, y se describe la metodología de Watson y Crick basada en la elaboración de un modelo funcional.	0	1/4	"Watson y Crick construyeron [...] un modelo hipotético que explicase que el ADN se duplicase [...]"
	(iii) Se explica que no hay un método científico único, y se argumenta, razonadamente, que ninguna metodología es per se mejor que la otra.	1/4	2/4	"No es adecuado [un método científico único], pues los científicos no cuentan con pasos fijos a seguir para conocer lo que investigan, sino que cada uno va desarrollando los procedimientos y los caminos según el objeto de su investigación."
C2. Objetivos de la investigación científica (5 descriptores)	(i) Se indica que los objetivos eran diferentes y se explica el de Franklin.	3/4	3/4	"Franklin y Wilkins tenían como objetivo aclarar la estructura del ADN."
	(ii) Se indica que los objetivos eran diferentes y se explica el de Watson y Crick.	2/4	4/4	"Watson y Crick querían utilizar este descubrimiento como medio para lograr explicar el código genético y su trasmisión."
	(iii) Se relacionan los objetivos con la formación de los científicos.	0	1/4	"Watson era biólogo, por eso le interesaba averiguar cómo se transmitía la información genética [...]"
	(iv) Se relacionan los objetivos con las metodologías empleadas.	0	4/4	"[...] Franklin y Wilkins tenían un enfoque analítico usando las matemáticas para resolver, a partir de las imágenes de rayos X, la estructura del ADN y Watson y Crick trataban de encajar las piezas como si se tratara de un rompecabezas, usando todos los datos disponibles [...]"
	(v) Se relacionan los objetivos con las prioridades de los centros de investigación.	0	1/4	"El King's College de Londres, ofreció a Franklin un proyecto interdisciplinar de investigación cuyo objetivo era analizar el ADN mediante técnicas cristalográficas."
C3. Fortaleza del modelo (4 descriptores)	(i) Aporta una explicación sobre la estructura del ADN.	1/4	2/4	"Watson y Crick elaboraron su modelo con gran creatividad a partir de ideas propias [...] y con datos sobre el ADN aportados por otros investigadores [...] un modelo de ADN que respondía a la mayoría de las cuestiones planteadas."
	(ii) Permite dar explicaciones y hacer predicciones sobre el código genético.	3/4	4/4	"[el modelo] podía explicar que el ADN almacenase y transmitiese la información genética."
	(iii) Permite establecer una hipótesis fecunda para investigaciones futuras.	0	1/4	"[...] su modelo [...] permitía hacer predicciones para investigaciones futuras [...] tuvo grandes consecuencias para el desarrollo de la Genética."
	(iv) Da respuesta a problemas multidisciplinares.	0	0	

C4 Obstáculos epistémicos y no-epistémicos (8 descriptores)	(i-E) Los distintos propósitos de las investigaciones de Franklin y de Watson y Crick.	0	1/4	"Franklin creía que la construcción de un modelo debía realizarse únicamente hasta que se contara con información estructural suficiente [...] su objetivo era analizar el ADN mediante técnicas cristalográficas [...] pero Watson y Crick tenían otros objetivos [...]"
	(ii-E) Las diferencias metodológicas entre ambas investigaciones; Franklin estaba comprometida con su método empírico, aunque fuera más lento, en aras de una mayor seguridad antes de publicar sus resultados e inferencias sobre la estructura del ADN.	1/4	4/4	"Franklin tenía un enfoque experimental y analítico, medía ángulos e intensidades de difracción e intentaba interpretar las longitudes de enlace y otras características mediante la aplicación de un detallado análisis matemático [...] Watson y Crick encajaban las piezas como un rompecabezas [...]"
	(iii-E) La creatividad mostrada por Watson y Crick para relacionar datos muy diversos.	0	0	
	(iv-E) La formación o área de especialización de los investigadores.	1/4	1/4	"Watson y Crick [...] complementaban [sus] conocimientos ya que uno era físico y otro biólogo."
	(i-NE) La falta de ética de Watson y Crick al usar datos de Franklin sin su conocimiento ni reconocimiento.	0	2/4	"Cuando Watson y Crick publicaron los resultados, [...] no admitieron el hecho de ser los primeros en publicar los resultados fue gracias a las investigaciones de ella [Franklin]"
	(ii-NE) Las tensiones y falta de colaboración entre Franklin y Wilkins frente al gran espíritu de colaboración que mostraron Watson y Crick.	3/4	4/4	"[...] las malas relaciones entre Franklin y Wilkins les retrasó, mientras que Watson y Crick formaban un verdadero equipo."
	(iii-NE) El carácter competitivo de Watson y Crick.	1/4	2/4	"Watson y Crick eran más competitivos, y querían ser los primeros en determinar la estructura del ADN."
	(iv-NE) Las posibles dificultades que tuvo Franklin por ser mujer en la ciencia de la época.	1/4	4/4	"Wilkins, debido a que Franklin era mujer, la considero como una mera ayudante, y se comportaba como si fuese el jefe de la investigación, lo que Franklin no aceptaba."

# 11. Estudio de la implementación de la controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea en la formación inicial del profesorado de ciencia

Se presenta un estudio cualitativo, de corte interpretativo, que analiza la eficacia de una actividad orientada a la comprensión de aspectos epistémicos y no-epistémicos de NDC, en el contexto de la controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea (GE, en adelante). La actividad fue implementada, durante el curso 2016-17, en la formación de estudiantes de profesorado de Biología y Geología de Educación Secundaria, mediante un planteamiento didáctico explícito y reflexivo.

## 11.1 Preguntas que dirigen la investigación

El estudio se concretó en responder a las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Qué ideas tienen los estudiantes de profesorado sobre los aspectos de NDC tratados, tras una primera lectura reflexiva del caso histórico?
2. ¿Qué cambios se producen en las ideas de los estudiantes de profesorado sobre los aspectos de NDC abordados, una vez concluida la actividad?

## 11.2 Aspectos contextuales de la investigación

### 11.2.1 Descripción de la actividad

La actividad parte de la lectura de una narración histórica de la controversia surgida en torno a las investigaciones de Louis Pasteur y Félix Pouchet sobre la GE. A esta lectura le sigue una discusión crítico-reflexiva, tanto en pequeño como en gran grupo, de diversas cuestiones sobre aspectos epistémicos y no-epistémicos de NDC, que son reconocibles en el relato. La actividad fue implementada por la coautora mediante una intervención educativa de tres sesiones de 1,5 horas cada una. El texto de la narración se ha descrito con anterioridad brevemente en la sección 3.1.4.

### 11.2.2 Participantes

El estudio se llevó a cabo en la Universidad de Cádiz con estudiantes de profesorado de Biología y Geología del *Máster Universitario en Formación del Profesorado de Educación Secundaria* (estudiantes MAES, en lo sucesivo); los mismos que participaron en la actividad, descrita en el capítulo 9, sobre el caso de Rosalind Franklin y la doble hélice de ADN. El grupo-clase estaba formado por 17 estudiantes MAES (14 mujeres y 3 hombres), licenciados o graduados en Ciencias Ambientales, Ciencias del Mar, Biología, Biotecnología, Biomedicina, Bioquímica y Veterinaria. Algunos de ellos tenían doble titulación, como Ciencias del Mar y Ciencias Ambientales.

La actividad se implementó también en la asignatura *Complementos de Formación Disciplinar de Biología y Geología*, de 6 créditos; concretamente, en el bloque “Naturaleza e Historia de la Ciencia”, de 2,6 créditos. Los objetivos y contenidos de este bloque se han descrito en la sección 9.2.2.

### 11.2.3 Objetivos de la actividad

Con la actividad se pretende el aprendizaje de los aspectos de NDC siguientes:

1. Adquirir una visión crítica del papel de las creencias teóricas en las investigaciones científicas.

2. Reconocer el papel de los diseños experimentales en los resultados de una investigación científica.
3. Identificar si un experimento puede ser crucial o no en una investigación científica.
4. Identificar elementos subjetivos en el contexto de una controversia científica.
5. Reconocer muestras de subjetividad en los procedimientos empleados por la comunidad científica para resolver una controversia.
6. Detectar la influencia de la religión en la construcción del conocimiento científico.
7. Poner de relieve el influjo de la política en la investigación científica.
8. Reconocer la importancia de la comunicación científica en el desarrollo de la ciencia.
9. Valorar la importancia de factores epistémicos y no-epistémicos en la resolución de controversias científicas, tal y como sucedió en el caso de Pasteur y Pouchet.

#### 11.2.4 Cuestiones de NDC planteadas

En la tabla 16 se indican las cuestiones planteadas para la reflexión crítica sobre los aspectos de NDC tratados en la actividad.

**Tabla 16. Cuestiones de NDC planteadas en la implementación la controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la GE.**

C1. ¿Cuál crees que fue el papel de las creencias teóricas en la interpretación de las observaciones? ¿Por qué?
C2. ¿Qué papel crees que tuvieron los diseños experimentales en los resultados obtenidos? ¿Por qué?
C3. ¿Crees que la controversia se cerró mediante un experimento crucial? ¿Por qué?
C4. ¿Crees que hubo subjetividad en la controversia? ¿Por qué?
C5. ¿Crees que el procedimiento que empleó la comunidad científica para juzgar la controversia evitó la subjetividad? ¿Por qué?
C6. ¿Crees que influyó la religión en la controversia? ¿Por qué?
C7. ¿Crees que influyó la política en la controversia? ¿Por qué?
C8. ¿Qué procedimientos crees que se usaron para comunicar los resultados de las investigaciones a sus colegas y al público interesado? Coméntalos.
C9. ¿Qué factores crees que influyeron más en la resolución de la controversia? ¿Por qué?

#### 11.2.5 Evaluación de la comprensión de los aspectos de NDC abordados

En la evaluación de la comprensión de los diferentes aspectos de NDC, tratados en la actividad, se han empleado los informes iniciales y finales elaborados por los grupos; y, de forma complementaria, un diario en el que la educadora registró citas textuales y detalles de la puesta en común realizada durante la sesión en gran grupo.

Para analizar las respuestas a cada una de las cuestiones de la tabla 16, se elaboró una rúbrica, según el procedimiento descrito en la sección 5.2. Los niveles de aprendizaje para cada uno de los aspectos de NDC, y los respectivos descriptores, consensuados por los tres autores, se recogen en la tabla 17.

En la asignación de niveles de aprendizaje a las respuestas de los grupos, los autores siguieron un método iterativo de análisis basado en la consecución de acuerdos inter- e intra-evaluadores. En una primera ronda de valoración de los informes, el acuerdo alcanzado en la categorización fue del 89%. Tras esta, se llevó a cabo un cruce de valoraciones en una segunda ronda, en la que se consiguió un acuerdo del 94%. Los pocos casos que quedaron sin acuerdo se resolvieron por mayoría de evaluadores (2 vs. 1). Consideramos que los consensos alcanzados son suficientemente altos como para estimar que el instrumento de evaluación, empleado en la valoración del aprendizaje de los aspectos de NDC abordados, tiene una fiabilidad bastante alta.

**Tabla 17. Rúbrica de evaluación de aspectos de NDC en el contexto la controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la GE.**

Contenido de NDC	Nivel 4 (máximo)	Niveles 3 – 0
C1. Papel de las creencias teóricas en la interpretación de las observaciones	Se alude a la influencia de las creencias teóricas de un científico en la interpretación de un fenómeno, aportando, al menos, 3 de los argumentos siguientes: 1) Influyeron en los diseños experimentales de Pasteur y Pouchet. 2) Influyeron en las diferentes interpretaciones de Pasteur y Pouchet sobre la proliferación o no de microorganismos en los cultivos. 3) Influyeron en las interpretaciones de Pasteur y Pouchet de los resultados obtenidos como pruebas favorables a sus teorías o como errores experimentales. 4) Influyeron en la posición de los miembros de la Academia a favor Pasteur.	Nivel 3: Se alude a la influencia de las creencias teóricas de un científico en la interpretación de un fenómeno, aportando 2 argumentos del nivel 4. Nivel 2: Se alude a la influencia de las creencias teóricas de un científico en la interpretación de un fenómeno, aportando 1 argumento del nivel 4. Nivel 1: Se alude a la influencia de las creencias teóricas de un científico en la interpretación de un fenómeno, pero no se aportan argumentos del nivel 4. Nivel 0: Se indica que la interpretación de las observaciones es independiente de las creencias teóricas de los científicos, o bien que estas son poco relevantes.
C2. Papel de los diseños experimentales en los resultados	Se destaca la importancia de las características de los diseños experimentales, y se citan, al menos, 4 de los aspectos siguientes: 1) Cada investigador no reprodujo fielmente las experiencias del otro. 2) La influencia del medio de cultivo elegido. 3) No se tuvieron en cuenta todas las variables posibles en las experiencias realizadas en medios terrestres. 4) La imposibilidad de comprobar directamente la contaminación del aire, usándose métodos indirectos, sujetos a múltiples interpretaciones. 5) Mientras que el diseño de Pouchet pretendía validar su teoría, el de Pasteur era para refutarla.	Nivel 3: Se destaca la importancia de las características de los diseños experimentales, y se citan 3 aspectos del nivel 4. Nivel 2: Se destaca la importancia de las características de los diseños experimentales, y se citan 2 aspectos del nivel 4. Nivel 1: Se destaca la importancia de las características de los diseños experimentales, y se cita 1 aspecto del nivel 4. Nivel 0: Se destaca la importancia de las características de los diseños experimentales, pero no se cita ningún aspecto del nivel 4. O bien, no se asume la importancia de tales diseños.
C3. Experimentos cruciales	Se indica que la controversia no se cerró con un experimento crucial, y se dan, al menos, 3 de los argumentos siguientes: 1) La polémica se reabrió con posterioridad en Inglaterra. 2) Pasteur mejoró posteriormente las deficiencias de sus primeros diseños. 3) Solo el diseño de la cámara de Tyndall resolvió el problema de la contaminación del aire. 4) La controversia quedó abierta respecto al origen de los seres vivos. 5) Las deficiencias en los diseños experimentales empleados no permiten calificar de cruciales los experimentos realizados.	Nivel 3: Se indica que la controversia no se cerró con un experimento crucial, y se dan 2 argumentos del nivel 4. Nivel 2: Se indica que la controversia no se cerró con un experimento crucial, y se da 1 argumento del nivel 4. Nivel 1: Se indica que la controversia no se cerró con un experimento crucial, pero no se dan argumentos. Nivel 0: Se señala que los experimentos de Pasteur fueron cruciales.
C4. Subjetividad en la controversia	Se admite que hubo subjetividad, y se aportan, al menos, 3 de los argumentos siguientes: 1) Los resultados experimentales fueron favorables y contrarios a la GE durante la controversia, por lo que era muy difícil establecer una decisión objetiva sobre la GE. 2) Las interpretaciones de los resultados experimentales estaban condicionadas por las creencias teóricas de Pasteur, Pouchet y los demás científicos. 3) Las interpretaciones de los experimentos estaban influidas también por las creencias teológicas, sociales y políticas de Pasteur, Pouchet y los demás científicos. 4) La evaluación de los experimentos de Pasteur y Pouchet por sus pares académicos no fue todo lo objetiva que era esperable.	Nivel 3: Se admite que hubo subjetividad, y se aportan 2 argumentos del nivel 4. Nivel 2: Se admite que hubo subjetividad, y se aporta 1 argumento del nivel 4. Nivel 1: Se admite que hubo subjetividad, pero no se aportan argumentos. Nivel 0: No se admite que hubo subjetividad.

<p>C5. Procedimiento empleado por la comisión científica y subjetividad</p>	<p>Se citan, al menos, 4 de los argumentos siguientes, a favor o en contra de la subjetividad de la comunidad científica:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) La comisión de académicos designada era favorable a Pasteur.</li> <li>2) Algunos miembros de la comisión habían anunciado su decisión a favor de Pasteur antes de la presentación pública de los trabajos.</li> <li>3) La comisión no aceptó el extenso programa de investigación de Pouchet.</li> <li>4) El hecho de que Pouchet se retirara sin presentar sus trabajos no permite valorar del todo la subjetividad del procedimiento seguido por la comisión.</li> <li>5) Como el resto de la sociedad francesa, los miembros de la comisión también estaban influidos por sus creencias políticas y religiosas.</li> <li>6) La correspondencia privada de Pouchet revela que tenía buenas relaciones con algunos miembros de la Academia, lo que cuestionaría que las comisiones estuvieran confabuladas en contra suya.</li> </ol>	<p>Nivel 3: Se citan, al menos, 3 de los argumentos del nivel 4.                  Nivel 2: Se citan 2 de los argumentos del nivel 4.                  Nivel 1: Se cita 1 argumento del nivel 4.                  Nivel 0: No se dan argumentos válidos en la respuesta.</p>
<p>C6. Influencia de la religión</p>	<p>Se considera que hubo influencia de la religión en la controversia, y se dan, al menos, 3 de los argumentos siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Pasteur pretendía rebatir el materialismo ateo, que se asociaba a la GE.</li> <li>2) Pouchet afirmaba que la negación de su teoría sobre la GE equivalía a adoptar una posición atea y caer en el darwinismo.</li> <li>3) Ambos científicos usaron la religión para rebatir las ideas contrarias a sus teorías.</li> <li>4) Tanto ateos como burgueses católicos asociaron la GE al darwinismo para prescindir de la existencia de Dios.</li> </ol>	<p>Nivel 3: Se considera la influencia de la religión, y se aportan 2 argumentos del nivel 4.                  Nivel 2: Se considera la influencia de la religión, y se aporta 1 argumento del nivel 4.                  Nivel 1: Se considera la influencia de la religión, pero no se aportan argumentos.                  Nivel 0: No se considera la influencia de la religión.</p>
<p>C7. Influencia de la política</p>	<p>Se considera que la política influyó en la controversia, y se aportan, al menos, 3 de los argumentos siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Pasteur era conservador. Estaba protegido por el emperador Napoleón III y el poder político-religioso institucional.</li> <li>2) Pouchet era un conservador moderado. Sin embargo, no tenía el amparo del emperador Napoleón III, y tampoco era bien visto por la burguesía católica conservadora.</li> <li>3) Una interpretación errónea de la teoría de Pouchet sobre la GE (Heterogénesis) la asoció al darwinismo, y sirvió de apoyo a ideas revolucionarias contra el poder institucional.</li> <li>4) Otros científicos, como Cuvier, polemizaron con anterioridad sobre la GE, mezclando argumentos científicos y políticos.</li> </ol>	<p>Nivel 3: Se considera la influencia de la política, y se aportan 2 argumentos del nivel 4.                  Nivel 2: Se considera la influencia de la política, y se aporta 1 argumento del nivel 4.                  Nivel 1: Se considera la influencia de la política, pero no se aportan argumentos.                  Nivel 0: No se considera la influencia de la política.</p>
<p>C8. Comunicación científica</p>	<p>Se citan, al menos, 3 de las siguientes formas de comunicación científica:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Memorias y libros.</li> <li>2) Por medio de la Academia de Ciencias de Francia.</li> <li>3) Conferencias científicas.</li> <li>4) Correspondencia entre científicos.</li> <li>5) La prensa diaria.</li> </ol> <p>Y cada una de estas se justifica, al menos, con un argumento válido de entre los siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) La exposición ante comisiones formadas por pares académicos.</li> <li>b) Las habilidades retóricas de Pasteur.</li> <li>c) Las facilidades que tuvo Pasteur para exponer sus ideas en conferencias públicas.</li> <li>d) El acceso que tuvo Pouchet para dar a conocer sus ideas en la prensa.</li> <li>e) La correspondencia privada entre Pasteur y Pouchet, así como entre cada uno de ellos y otros científicos, etc.</li> <li>f) Otros argumentos que aludan a la multiplicidad de formas de comunicación científica.</li> </ol>	<p>Nivel 3: Se citan 2 formas de comunicación científica del nivel 4; y cada una de estas se justifica, al menos, con un argumento válido de los indicados en el nivel 4.                  Nivel 2: Se cita 1 forma de comunicación científica del nivel 4, y esta se justifica, al menos, con un argumento válido de los indicados en el nivel 4.                  Nivel 1: Se cita alguna forma de comunicación científica del nivel 4, pero no se justifica con ningún argumento válido de los indicados en el nivel 4.                  Nivel 0: No se cita ninguna forma de comunicación científica del nivel 4.</p>

<p>C9. Factores que más influyeron en la controversia</p>	<p>Se citan, con argumentos válidos, 4 factores en total. De estos, al menos 2 son factores epistémicos de los siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) La influencia de las creencias teóricas de los científicos en la interpretación de las observaciones.</li> <li>(2) Las limitaciones de los diseños experimentales de Pasteur y Pouchet.</li> <li>(3) La imposibilidad de realizar experimentos cruciales con las técnicas disponibles.</li> <li>(4) La subjetividad de Pasteur y Pouchet en la evaluación de los experimentos del otro.</li> </ol> <p>Y, al menos, 2 son factores no-epistémicos de los siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(a) La evaluación de los experimentos de Pasteur y Pouchet por sus pares académicos.</li> <li>(b) La influencia de las creencias religiosas.</li> <li>(c) La influencia de la política.</li> <li>(d) El papel relevante de la comunicación científica.</li> </ol>	<p>Nivel 3: Se citan, con argumentos válidos, 3 factores, entre los que hay epistémicos y no-epistémicos de los indicados en el nivel 4.</p> <p>Nivel 2: Se citan, con un argumento válido, 1 factor epistémico y 1 factor no-epistémico de los indicados en el nivel 4.</p> <p>Nivel 1: Se citan, con argumentos, válidos solo factores del mismo tipo, epistémicos o no-epistémicos, de los indicados en el nivel 4.</p> <p>Nivel 0: Se cita, sin argumentos válidos, algún factor epistémico o no-epistémico de los indicados en el nivel 4; o no se cita ninguno.</p>
---	--	---

### 11.3 Resultados

De acuerdo con los objetivos señalados de la actividad, en la figura 12 se muestra la evolución de los niveles de aprendizaje logrados para cada uno de los aspectos de NDC abordados, por comparación entre las ideas iniciales y finales de los grupos. Asimismo, se proporcionan detalles de cómo se desarrolló la puesta en común, en la que los estudiantes MAES debatieron, con ayuda de la educadora, cada uno de los aspectos tratados.

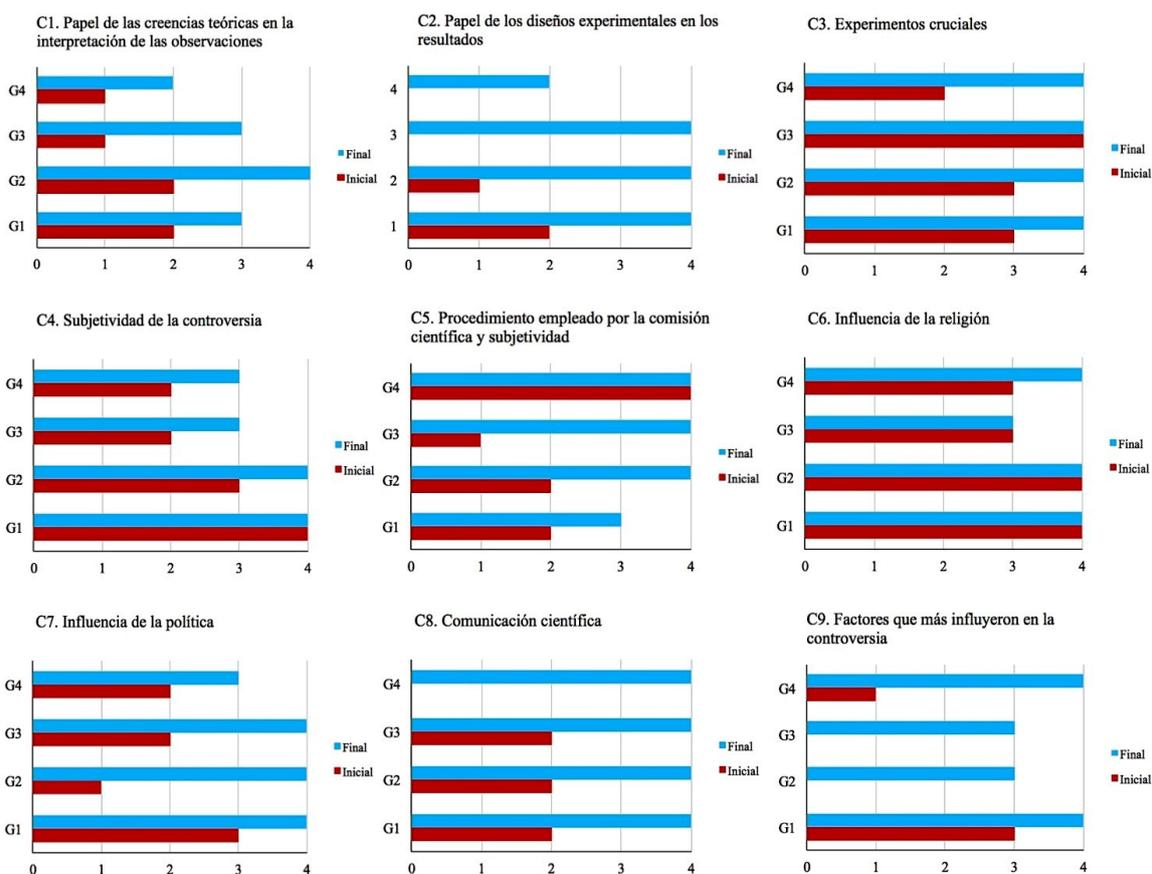


Figura 12. Evolución de los niveles de aprendizaje relativos a los aspectos de NDC abordados.

### *11.3.1 Papel de las creencias teóricas en la interpretación de las observaciones*

Se pretendía que los estudiantes MAES reconociesen la influencia de las creencias teóricas en la interpretación de las observaciones, aportando diversos argumentos (tabla 12). En concreto, que detectasen la influencia de las creencias teóricas de Pasteur y Pouchet en sus explicaciones sobre la proliferación o no de los microorganismos en los medios de cultivo, en el diseño de las experiencias que realizaron, en la interpretación de los resultados de estas experiencias, y en la posición de los miembros de la Academia a la hora de resolver la controversia.

Tras la lectura de la controversia, todos los grupos reconocieron que las creencias teóricas de Pasteur y Pouchet sobre la GE jugaron un papel importante en la interpretación de las observaciones; sin embargo, aportaron pocos argumentos a favor de esta idea. De hecho, los grupos G3 y G4 no aportaron ninguno, y los otros dos grupos aportaron un solo argumento. Uno de ellos (G2) aludió a la diferente interpretación que los investigadores hacían sobre la proliferación de microorganismos; y el otro (G1), a la influencia sobre los miembros de la Academia al valorar las investigaciones. Esta fue una de las cuestiones en la que se apreciaron niveles de comprensión iniciales más bajos. Asimismo, sirvió para constatar la habitual e ingenua idea de que las interpretaciones que hacen los científicos de sus observaciones son independientes de sus creencias teóricas.

Durante la puesta en común, la educadora solicitó a los grupos una reflexión más profunda sobre esta cuestión, tratando de que tomaran conciencia de esa idea ingenua que se acaba de mencionar. De hecho, algunos de los componentes de los grupos reconocieron que antes de leer el texto se habrían sentido más inclinados a pensar que los resultados experimentales proporcionaban directamente una conclusión. La educadora señaló que esto podía ser debido a que la mayoría de las actividades prácticas de laboratorio que habían realizado como estudiantes de ciencia, estaban pensadas de antemano para ejemplificar una idea que debían aprender. También se destacaron diferencias entre este tipo de actividades, que no pueden ser consideradas como una práctica científica genuina, y la actividad investigadora real.

Posteriormente, los grupos expusieron los argumentos que habían señalado en sus informes iniciales, para profundizar en las diferentes interpretaciones de Pouchet y Pasteur con respecto a los resultados experimentales, tanto favorables como desfavorables a las ideas que defendía cada uno, y en el posicionamiento inicial de los miembros de la Academia en contra de la GE. En este punto, algunos estudiantes MAES dijeron que no les sorprendía que hubiera científicos que se manifestasen en contra de la GE, sino que hubiese tantos a favor; especialmente Pouchet, que se mostraba totalmente convencido de la heterogénesis. Es decir, algunos estudiantes MAES mostraron dificultades para analizar el problema científico en el contexto de la época, muy probablemente por desconocimiento del mismo. A fin de superar esta dificultad, la educadora expuso algunos estudios previos de Pouchet, como el de los ciclos sexuales de hembras de varias especies de mamíferos, incluyendo a la mujer, con el que pudo observar la ovulación espontánea en un momento del ciclo. En la teoría de la heterogénesis no se prevé la posibilidad de producción espontánea de adultos, pero sí la de huevos, por vías similares a la generación sexual. La tesis de Pouchet era que, de la misma forma que el óvulo se genera en el ovario, un germen podía surgir, debido a la misma fuerza vital, de la infusión de heno. Algunos estudiantes MAES mostraron su sorpresa por los estudios de Pouchet e hicieron una búsqueda breve en Internet usando sus teléfonos móviles. Encontraron que Pouchet propuso un método de control de la fertilidad basado en el conocimiento del ciclo menstrual, lo que les resultó avanzado para la época. Por los comentarios que siguieron de los estudiantes, la educadora apreció que los postulados de Pouchet sobre la heterogénesis les parecían justificables ahora.

La educadora preguntó finalmente sobre la posibilidad de que las creencias en la GE influyesen en los propios diseños experimentales de ambos científicos. Algunos grupos señalaron que las experiencias realizadas eran muy similares en cuanto a que se estudiaba la aparición o no de microorganismos, bajo ciertas condiciones, en un medio de cultivo; y que, si bien cada uno de estos aspectos era diferente, no veían cómo se reflejaba la influencia de las creencias teóricas en los diseños experimentales. Tras esto, se comentó que el diseño experimental no solo consistía en el proceso seguido en los laboratorios, sino que también es preciso considerar la intención de los mismos; es decir, a qué preguntas se quería dar respuestas y cómo se pretendían responder. Mientras que Pouchet aspiraba a probar la heterogénesis, Pasteur buscaba refutar la posibilidad de GE.

Los informes finales mostraron una mejora en las respuestas de todos los grupos: G4 se situó en el nivel 2, G1 y G3 en el nivel 3, y G2 en el nivel 4. De los cuatro grupos, tres destacaron la influencia de las creencias teóricas en el posicionamiento de algunos miembros de la Academia (G1, G2 y G3). Así lo escribió uno de ellos:

Cuando Pouchet presenta sus experimentos para demostrar la GE a la Academia muchos científicos, incluyendo a personalidades influyentes como Claude Bernard, rechazan sus observaciones alegando (mediante suposiciones) posibles fallos en el diseño de los experimentos que no impidieron la contaminación de las muestras. Estos científicos ni tan siquiera se molestaron en reproducir dichos experimentos (presuponiendo que era incorrecto que se hubieran introducido microorganismos de forma accidental). Esto implica que, las creencias sobre la GE [...] influyeron a la hora de invalidar los primeros resultados de Pouchet. (G3)

Todos los grupos subrayaron la diferente interpretación que Pasteur y Pouchet hacían sobre la aparición de microorganismos, más allá de lo que se podía evidenciar experimentalmente. Uno de ellos lo argumentó del siguiente modo:

Como Pouchet está convencido de la posibilidad de la GE, achaca la aparición de vida a las propiedades del aire, aunque no sepa decir exactamente por qué el aire es vital, y Pasteur, que está igualmente convencido de la imposibilidad de la GE, cuando aparecen microorganismos en una muestra esterilizada, argumenta que esta se ha contaminado a través del aire que contiene gérmenes, aunque esto no lo puede demostrar, ya que entonces no se tenían los medios. (G4)

Se hizo una sola referencia en los informes finales a las interpretaciones de Pasteur y Pouchet de los resultados obtenidos como pruebas favorables a sus teorías, o como errores experimentales; un argumento que no se encontró en las respuestas iniciales. Así lo expresó el grupo que aludió a ello:

[...] Como Pasteur rechazaba de plano la teoría de la generación espontánea, si un experimento fallaba y en el matraz usado aparecían microorganismos, argumentaba que había una contaminación accidental, sin evidencias directas de esto, y lo mismo podría decirse de Pouchet. (G2)

En cambio, no se encontraron referencias a la influencia de las creencias teóricas en los diseños experimentales, aunque este aspecto fue discutido durante la puesta en común.

Globalmente podemos decir que la narración, junto con la discusión correspondiente en la puesta en común, contribuyó a que los estudiantes MAES entendieran la influencia que tienen las creencias teóricas de los científicos en la interpretación de las sus observaciones.

### 11.3.2 Papel de los diseños experimentales en los resultados de una investigación científica

Se esperaba que los estudiantes MAES detectaran aspectos de los diseños experimentales que comprometieron los resultados de las investigaciones de Pasteur y Pouchet, dado que cada uno de ellos no reprodujo fielmente las experiencias del otro. Además, la elección del medio de cultivo y que, tanto Pasteur como Pouchet, no tuvieran en cuenta todas las variables posibles en las experiencias realizadas en medios terrestres, fueron aspectos determinantes. Lo mismo sucedió con la imposibilidad de comprobar directamente la contaminación del aire, que obligó al uso de métodos indirectos, lo cual dio lugar a múltiples interpretaciones. Asimismo, es reseñable que la finalidad del diseño experimental de Pouchet era validar su teoría, mientras que la de Pasteur era refutarla; un hecho relacionado con las creencias teóricas de los investigadores.

Los informes que siguieron a la lectura del texto revelaron que esta cuestión fue la que inicialmente supuso más dificultades. A dos grupos (G3 y G4) se les asignó el nivel 0, pues, aunque reconocieron la importancia de los diseños experimentales en los resultados de la investigación, no llegaron a especificar cuáles eran los elementos que los limitaban. A los otros dos grupos se les asignaron los niveles 1 (G2) y 2 (G1) porque solo incluyeron en sus respuestas uno y dos argumentos, respectivamente. Ambos grupos señalaron que el medio de cultivo fue determinante, y el grupo G1 hizo referencia, además, a que cada investigador no reprodujo el experimento del otro.

Durante la puesta en común, la educadora pidió a los grupos que hicieran una comparación más detallada de los trabajos experimentales de Pasteur y Pouchet. Enlazando con el final de la discusión de la cuestión anterior, se incidió en que los diseños estaban condicionados por el hecho de que Pouchet esperaba confirmar la heterogénesis, mientras que Pasteur pretendía negarla. Esta idea no surgió espontáneamente en la discusión, por lo que la educadora formuló preguntas sobre qué pretendía cada investigador, cuál debía ser la pregunta de la investigación, y qué tipo de resultado daría respuesta a esta pregunta. El intercambio de ideas entre los grupos desembocó en un análisis más detallado de los trabajos experimentales de los dos científicos.

En los informes finales se apreció una mejora importante en las respuestas de los grupos. Tres de ellos (G1, G2 y G3) alcanzaron el nivel 4, y el grupo G4 se situó en el nivel 2. En conjunto, los estudiantes MAES usaron todos los argumentos esperados para defender que los diseños experimentales fueron determinantes en los resultados; si bien, solo el grupo G2 destacó el hecho de que Pouchet pretendía confirmar la heterogénesis y Pasteur refutarla:

El diseño de los experimentos en el caso de Pasteur tenía un papel más bien refutador. Pasteur quería demostrar que la generación espontánea no se producía, era falsa, y esto no es lo mismo que demostrar, como pretendía Pouchet, que una teoría es cierta. (G2)

Todos los grupos señalaron que cada investigador no reprodujo los experimentos del otro, utilizando argumentos como: *“Si ambos se hubieran puesto de acuerdo y hubieran intercambiado las muestras, equiparado las variables sería entonces cuando podrían haber comparado los resultados por lo que esto demuestra la importancia de los diseños experimentales.”* (G2). Además, enfatizaron la importancia del medio de cultivo:

Esto hubiese sido lo adecuado para comprobar, por ejemplo, [...] la naturaleza del medio que empleaban, la infusión de heno o la de levadura. Como dice en el texto, el tratamiento por calor aplicado por Pasteur (a 100 °C) habría sido insuficiente para eliminar los gérmenes del caldo de heno [...] De esta manera, el uso o no de filtros hubiese sido indiferente, los mi-

croorganismos se desarrollarían de la misma manera [...] Las muestras que utilizó Pasteur eran muy simples, como el caldo de levaduras un medio de azúcar; mientras que Pouchet, naturalista de profesión, empleaba muestras más complejas como el caldo de heno. (G1)

Tres grupos (G1, G2 y G3) destacaron el papel del control de variables en los experimentos realizados en medios terrestres. Así lo hizo uno de ellos:

[...] las variables estudiadas tenían influencia en los resultados y el control de esas variables no se tuvo en cuenta, no solo en la elección de la muestra, sino también en los lugares en los que se hacía la experiencia cuando se quiso estudiar la influencia del aire. (G2)

Asimismo, esos tres grupos resaltaron el uso de procedimientos indirectos para comprobar la contaminación del aire: “[...] *no existía forma de demostrar si había o no microorganismos en el aire, por lo que necesitaban usar métodos indirectos, lo que hace la interpretación de los resultados más compleja.*” (G2).

En definitiva, los estudiantes MAES reconocieron inicialmente la importancia de los diseños experimentales en los resultados, aunque no analizaron espontáneamente estos procedimientos. Tras la discusión en gran grupo, la mayoría de los grupos detectó los elementos clave de los diseños experimentales empleados por Pasteur y Pouchet, y utilizó suficientes argumentos en sus respuestas. Aun así, es preciso señalar que la influencia del carácter refutador o confirmador de los diseños experimentales de ambos investigadores fue el argumento menos referido.

### 11.3.3 Identificación de experimentos cruciales en la controversia

Mediante la reflexión sobre los experimentos cruciales, se esperaba que los estudiantes MAES comprendiesen que los resultados de las investigaciones de Pasteur y Pouchet fueron más dudosos de lo que podría pensarse; y que, en este caso, no hubo ningún experimento crucial que cerrase la controversia. Se perseguía, asimismo, que los grupos pudieran aportar argumentos suficientes.

Del análisis de los informes iniciales se extrae que una primera lectura y reflexión sobre la narración consiguió, al menos parcialmente, el objetivo previsto. Todos los grupos opinaron que la controversia no se cerró mediante un experimento crucial, y aportaron argumentos. Sin embargo, un grupo (G4) dio solamente uno de los argumentos previstos, dos grupos (G1 y G2) proporcionaron dos argumentos, y otro el grupo G3 aportó tres. Además, estos argumentos fueron variados. Solo uno de los argumentos previstos no se encontró en las respuestas iniciales de los grupos: el hecho de que la controversia quedó abierta en cuanto al origen de los seres vivos.

Durante la puesta en común, los grupos expusieron y comentaron los argumentos iniciales, completándose así las ideas de unos con las de los otros. Con el fin de enriquecer la discusión, la educadora preguntó si las investigaciones realizadas dejaban preguntas sin contestar. Con ello, intentó hacer explícito el problema de la explicación del origen del primer ser vivo, así como las formas en las que Pasteur y Pouchet respondieron a esta pregunta, para evidenciar que la controversia no podía cerrarse.

El análisis de los informes finales reveló un mayor número de argumentos por los grupos, alcanzando todos así el nivel 4. Usaron diversos argumentos para justificar que la controversia entre Pasteur y Pouchet no se cerró y que, en ella, no hubo ningún experimento crucial. Todos los grupos indicaron que la polémica volvió a abrirse poco después en Inglaterra: “*La controversia continuó en las comu-*

*nidades científicas pues, en años posteriores, otros investigadores, concretamente en Inglaterra, aún pensaban en la posibilidad de la generación espontánea.” (G3); así como que el propio Pasteur, a raíz de investigaciones posteriores, percibió las limitaciones de sus experimentos consiguiendo mejorarlos:*

Incluso más tarde cuando Pasteur realizó nuevas investigaciones y experimentos, mejorando las deficiencias de los primeros experimentos, no pudo cerrar la controversia definitivamente, lo que sí pudo es contribuir con aplicaciones técnicas que fueron muy importantes en la época como el mantenimiento de los alimentos con la “pasteurización” y el desarrollo de la asepsia clínica ya que descubrió que es necesaria una temperatura de 120° C para matar a los microorganismos, y no 100° C. (G2)

Tres grupos (G1, G2 y G3) subrayaron que fue el experimento de Tyndall el que dio el espaldarazo definitivo a la teoría de la GE. Así lo expresó uno de ellos:

Podemos considerar que fue el experimento de John Tyndall de 1881, el que demostró que, si en el aire no había ningún microorganismo, no se producían más en la cámara, por lo que terminaba ahí cualquier duda acerca de la generación espontánea. (G1)

También tres grupos (G1, G3 y G4) señalaron que las deficiencias en los diseños experimentales no permitían calificarlos de cruciales. Uno de ellos lo hizo del siguiente modo: *“Además, ninguno de los dos experimentos terminaba de demostrar al 100% que todo ser vivo proviene de otro ya existente, como ya se ha visto había deficiencias en los diseños experimentales que se pusieron de manifiesto.” (G1).*

A pesar de haberse tratado en la puesta en común, solo el grupo G1 hizo referencia a la cuestión que quedaba sin resolver sobre el origen de la vida: *“No obstante, esto deja una pregunta sin contestar, y es la procedencia del primer ser vivo, cuestión de fondo siempre presenta en la teoría de la generación espontánea, y motivo por el que quizás la creencia fue tan persistente.” (G1).*

En definitiva, podemos afirmar que los estudiantes MAES comprendieron que la controversia entre Pasteur y Pouchet no quedó cerrada, ni que, por tanto, hubiera un experimento crucial; aunque argumentaron que la controversia se resolvió con posterioridad. Las opiniones de los estudiantes MAES se vieron enriquecidas por las de sus compañeros. Y, a pesar de las nuevas ideas sugeridas por la educadora, estas fueron las que los grupos utilizaron menos en sus informes finales.

#### *11.3.4 Identificación de elementos subjetivos en la controversia científica*

La subjetividad en la controversia mantenida entre Pasteur y Pouchet puede considerarse consecuencia de algunos de los factores epistémicos discutidos hasta el momento; pero también de otros como la influencia de las creencias ideológicas y del proceso de evaluación de las investigaciones por parte de la comunidad científica.

La totalidad de los grupos reconoció, en la fase inicial, la subjetividad presente en la controversia. Dos grupos (G3 y G4) aportaron un argumento válido, el grupo G2 empleó dos argumentos y el grupo G1 usó tres argumentos. Como muestras de subjetividad, tres grupos (G1, G2 y G3) hicieron alusión a las creencias teológicas, sociales y políticas, tanto de Pasteur como de Pouchet y del resto de científicos implicados en la controversia; dos grupos (G1 y G2) se refirieron a la evaluación de los experimentos por los pares académicos de Pasteur y Pouchet, que son dos factores contextuales; y dos grupos (G1 y G3), a que las interpretaciones de los resultados experimentales estaban condicionadas por las creencias teóricas de los científicos. En cambio, ningún grupo hizo referencia a que la obtención de resultados favorables y contrarios a la GE dificultaba mucho el establecimiento de una conclusión objetiva.

En la puesta en común, la discusión tendía a centrarse en la subjetividad del proceso de evaluación de las investigaciones por pares académicos; un aspecto que suscitó bastante interés en los estudiantes MAES. La educadora condujo en varias ocasiones el diálogo para que se abordasen otros aspectos subyacentes a la subjetividad en controversia. Algunos estudiantes MAES se preguntaron por la subjetividad de otras investigaciones. Así, un grupo afirmó que puede ser que en este caso se sumasen muchos elementos subjetivos, pero que en otros podía haber más objetividad. Al respecto, la educadora preguntó si en las investigaciones actuales los resultados son siempre convergentes; si el marco teórico de los investigadores influía en las interpretaciones; si la ideología de los científicos influía en la concepción que pudieran tener de problemáticas científicas; o si las evaluaciones de los programas de investigación y de los artículos que se publican están condicionados por la perspectiva de los evaluadores. Los propios estudiantes MAES fueron poniendo ejemplos de situaciones en las que la subjetividad era manifiesta, y estuvieron de acuerdo en que esta no es exclusiva de la controversia entre Pasteur y Pouchet, sino que es generalizable a toda la investigación científica. La educadora reflexionó con ellos que podría ser que la aparente objetividad que se percibe sea consecuencia de cómo se transmite desde la escuela sobre todo, la construcción y el desarrollo de la ciencia.

Tras el debate en gran grupo, en los informes finales se detectó una mejora en cuanto a la identificación de muestras de subjetividad en la controversia. Dos grupos (G3 y G4) alcanzaron el nivel 3, y los otros dos (G1 y G2) el nivel 4. En conjunto, los estudiantes MAES destacaron todos los elementos esperados sobre la subjetividad de la controversia. Como ocurriera durante la puesta en común, la evaluación de los experimentos de Pasteur y Pouchet por sus pares académicos fue la idea más recurrente. Un grupo (G4) lo expresó como sigue: *“Además, algunos [comisionados por la Academia] ya eran contrarios a la generación espontánea, como demuestra el desinterés inicial por el trabajo de Pouchet.”* (G4).

Tres grupos (G1, G2 y G4) se refirieron a la influencia de las creencias ideológicas de los científicos en las interpretaciones de los resultados experimentales. Así lo hizo un grupo (G2):

Por ejemplo, cuando Cuvier, contrario a la generación espontánea asociada al transformismo, utilizó, además de argumentos científicos, argumentos políticos, religiosos y filosóficos contra sus oponentes, para desvirtuar sus ideas [...] Además, en la controversia intervinieron también filósofos y teólogos, personas condicionadas fuertemente por sus ideas y creencias. Se trata de determinar de dónde procede la vida, por lo que es una cuestión fuertemente condicionada por la ideología. (G2)

También tres grupos (G1, G2 y G3) resaltaron que las investigaciones estaban condicionadas por las creencias teóricas; por ejemplo, de la siguiente manera:

[...] Pouchet se aferraba a sus creencias en la generación espontánea. No era objetivo con los experimentos de Pasteur, pues no aceptaba la negación de la generación espontánea. Pero algo similar ocurría con Pasteur, que, aunque en principio pareció aceptar los trabajos de Pouchet, la balanza pareció inclinarse en contra por las creencias, convencido por ejemplo de la contaminación de sus muestras, sin tener una evidencia directa. (G3)

Por último, solo un grupo (G2) se refirió a la divergencia de los resultados obtenidos respecto a la posibilidad o no de la GE: *“Fue a partir del siglo XVII cuando empezó a ponerse en duda la GE al surgir experimentos tanto favorables como contrarios a esta.”* (G2).

Cabe señalar que, en las respuestas finales, hubo cierto predominio de recurrencia a los aspectos no-epistémicos frente a los epistémicos.

### *11.3.5 Reconocimiento de muestras de subjetividad en la comunidad científica*

Enlazando con la cuestión anterior, se trataba de profundizar en las muestras de subjetividad de la comunidad científica; sobre todo en la comisión que evaluó los trabajos de Pasteur y Pouchet. Entre las ideas que se extraen del texto, destacamos que la comisión no aceptó inicialmente el extenso programa de investigación de Pouchet. También el hecho de que Pouchet se retirara sin presentar sus trabajos, que impide valorar del todo la subjetividad del procedimiento. Cabe mencionar igualmente que los miembros de la comisión podían estar influidos por sus creencias políticas y religiosas; o que habían anunciado su decisión a favor de Pasteur antes de la presentación pública de los trabajos. Y, asimismo, la posibilidad de que la comisión de académicos designada pudiera ser favorable a Pasteur; o bien que existieran buenas relaciones de Pouchet con algunos miembros de la Academia, según parece desprenderse de su correspondencia privada.

Los informes iniciales mostraron que tres grupos (G1, G2 y G4) percibieron subjetividad en la comisión académica que evaluó los trabajos. Dos de ellos (G1 y G2) presentaron dos argumentos: que la comisión era inicialmente favorable a Pasteur, y que sus miembros estaban influidos por sus creencias ideológicas. El grupo G3 señaló como único argumento que no tuvo por qué haber subjetividad en la evaluación de la comisión, basándose en la correspondencia privada de Pouchet. El grupo G4 fue el único que usó varios argumentos para justificar que hubo subjetividad en la controversia.

Durante la puesta en común se fueron exponiendo y debatiendo las diferentes ideas de los grupos. La educadora no necesitó formular preguntas adicionales para introducir nuevos elementos en la discusión, puesto que, entre todos los grupos, ya se había hecho referencia en sus respuestas iniciales a todos los aspectos que se pretendían analizar. Su papel se limitó, pues, a iniciar una reflexión sobre algunas cuestiones. Por ejemplo, preguntó si, tal como indicaba el grupo G3 en su informe, los resultados de la investigación de Pasteur tenían una mayor calidad. Los propios miembros del grupo contestaron que, después de todo lo discutido anteriormente, no se podía hacer tal afirmación, y que su opinión inicial estaba influida por su conocimiento actual sobre la GE. La educadora también pidió que valorasen cuáles de los elementos abordados sobre la subjetividad les parecían susceptibles de interpretación, y de cuáles se podía tener mayor certeza. Los estudiantes MAES indicaron que parecía haber evidencias suficientes del anuncio de la decisión a favor de Pasteur, antes de la presentación de su trabajo, y que la no aceptación inicial del extenso programa de Pouchet era un hecho probado. Asimismo, estaban convencidos de la influencia de las creencias ideológicas en los miembros de la Academia. De igual forma, les parecía claro que la renuncia de Pouchet a presentar su trabajo no permitía valorar completamente el proceder de la comisión; si bien, ese hecho quizás podría revelar que Pouchet percibiese que esta le era poco propicia. Las dudas aparecían, sobre todo, en la posible confabulación contra Pouchet, y en si se había designado una comisión favorable a Pasteur.

Las respuestas dadas por los grupos en los informes finales mostraron una progresión en cuanto al reconocimiento de muestras de subjetividad en los procedimientos de evaluación por parte de la comunidad científica. Así, tres grupos (G2, G3 y G4) alcanzaron el nivel 4, y el otro (G1) el nivel 3. Estos altos niveles de comprensión de los estudiantes MAES muestran la asunción de una variedad de argumentos en torno a la cuestión planteada. Por ejemplo, todos los grupos señalaron la influencia de las creencias ideológicas. Un grupo (G1) lo explicaba de la siguiente manera: *“Además, no se puede pasar por alto que los componentes sociales, políticos y religiosos eran muy fuertes, quizás más que los propios componentes científicos, y los miembros de la Academia estaban condicionados por ellos [...]”* (G1).

Asimismo, también todos los grupos hicieron alusión a que la no aceptación por la comisión del extenso programa de investigación de Pouchet. De este modo lo señalaba un grupo (G4):

La comisión encargada de la evaluación no aceptó el trabajo de Pouchet y sus colegas, pero no le dio a este una razón científica ni una explicación, sino que únicamente se les dijo que “no creían que así se pudieran llegar a resultados claros”. (G4)

Y también todos los grupos consideraron que la comisión de académicos designada era favorable a Pasteur. Por ejemplo: “[...] *el jurado encargado de la evaluación de los trabajos tanto de Pouchet como de Pasteur parece que era contrario a la generación espontánea.*” (G4).

Dos grupos (G2 y G3) pusieron de manifiesto que existen diferentes interpretaciones acerca del funcionamiento de la comisión. Así lo indicaba uno de ellos:

Cuando la Academia instituyó el premio Alhumbert, la subjetividad estaba presente puesto que la comisión estaba sesgada al estar compuesta por miembros favorables a Pasteur. No obstante, hay autores que sostienen que las comisiones no se confabularon a favor de Pasteur, habiendo miembros que mantenían buenas relaciones con Pouchet. (G2)

Un grupo hizo referencia a que: “[...] *muchas de las personas que ocupaban un puesto en el jurado habían anunciado su decisión a favor de Pasteur antes incluso de que se hubiesen entregado los trabajos.*” (G4). Y otro grupo argumentó que: “*Manifiestar que la comunidad hiciera perder la subjetividad es cuanto menos complicada puesto que Pouchet no se presentó [...]*” (G3).

Consideramos positivo que algunos estudiantes MAES se mostraran cautelosos en cuanto a relativizar algunas afirmaciones, reconociendo que las ideas científicas pueden estar sujetas a interpretaciones diferentes.

### 11.3.6 La influencia de la religión en la investigación científica

La controversia sobre la GE supone una buena ocasión para reflexionar sobre la influencia de la religión en la investigación científica. Los elementos del texto que sugieren esta influencia son diversos. Por ejemplo, que Pasteur rebatía el materialismo ateo que se asociaba a la GE, y que Pouchet mantenía que la negación de su teoría sobre la GE equivalía a adoptar una posición atea, cayendo en el darwinismo. Ambos científicos hicieron uso de la religión para rebatir las ideas contrarias. Además, desde un punto de vista social, tanto los ateos y revolucionarios como los burgueses católicos consideraban que la GE, asociada al darwinismo, permitía prescindir de la existencia de Dios.

La idoneidad de la controversia para abordar la interacción entre religión e investigación científica se refleja en los informes iniciales de los grupos. En efecto, esta fue la cuestión en la que se alcanzaron los niveles de comprensión más altos tras una primera lectura del texto. Así, dos grupos (G1 y G2) se situaron en el nivel 4, y otros dos (G3 y G4) en el nivel 3. Es destacable también que, en las respuestas iniciales de los grupos, se encontraron todos los argumentos que se podían extraer de la narración.

Durante la puesta en común se produjo un intercambio de ideas entre los grupos, mediante el cual completaron sus argumentos iniciales, sin que se diesen desacuerdos entre ellos. Aun cuando parecía que no les cabía duda de que la religión fue un factor determinante en la controversia, la educadora preguntó si pensaban que actualmente la religión influye, del algún modo, en la investigación científica. En este punto también hubo consenso, y los estudiantes MAES lo ejemplificaron con estudios relacionados con la manipulación genética; sin embargo, se produjo una discusión en torno a la va-

loración de la relación entre la religión y la ciencia. Algunos consideraban que eran incompatibles, pero se señaló que, de hecho, muchos científicos son creyentes, y que el pensamiento religioso es inherente a la condición humana. Los estudiantes MAES debatieron brevemente este tema, concluyendo que era necesaria una posición de respeto mutuo.

Los niveles asignados a las respuestas en los informes finales fueron muy similares a los iniciales, puestos que estos ya eran bastante altos, progresando solo el grupo G4 del nivel 3 al 4. Sin embargo, el número de argumentos empleados fue mayor en tres grupos (G1, G2 y G4), seguramente debido al intercambio de opiniones y la reflexión realizada en la puesta en común. Por ejemplo, el grupo G1 aludió a la crítica que Pasteur hizo de la GE desde el punto de vista de la creación: *“Para Pasteur, la GE prescindía de Dios como creador de vida ya que, según esta teoría, la materia por sí misma era suficiente para hacer surgir nuevos seres vivos.”* (G1).

También se reflejó en los informes que Pouchet hizo uso de argumentos religiosos. Un grupo (G2) lo expresó así:

Sabemos que los escritos de Pouchet muestran que sus creencias religiosas influyeron en su trabajo. Según él creer que no existía generación espontánea era un signo de ateísmo y de dejarse influir y aceptar las teorías de Darwin, cuya teoría estaba contraria a las creencias de la iglesia, pues desmontaba la explicación de la creación de las especies por Dios. (G2)

Asimismo, dos grupos (G1 y G2) indicaron que la religión fue usada por ambos científicos para rebatir las ideas del otro: *“A pesar de que no había muchas diferencias entre las religiones que ambos profesaban, se utilizaba la religión para atacarse y rebatirse el uno al otro.”* (G2).

Por último, todos los grupos señalaron el rechazo que, de forma general, sufrió la teoría de la GE cuando diversos sectores sociales la relacionaron con el darwinismo y el ateísmo. Por ejemplo: *“[...] la religión se utiliza como arma para atacarse entre unos y otros (ateos contra creyentes).”* (G2).

### 11.3.7 La influencia de la política en la controversia

Dadas las circunstancias en la que se desarrolló la controversia entre Pasteur y Pouchet, el caso abre la posibilidad de debatir sobre la influencia de la política en la disputa. Así, se puede contemplar cómo pudo afectar el que Pasteur, de ideología conservadora, estuviese protegido por Napoleón III y el poder institucional; mientras que Pouchet, un conservador moderado, no tuviese el amparo del emperador, y tampoco fuese bien visto por la burguesía católica conservadora, que recelaba de sus ideas. A esto habría que añadir que una interpretación errónea de la teoría de la Heterogénesis de Pouchet se asoció al darwinismo, y sirvió de apoyo a ideas revolucionarias contra el poder institucional. Además, con anterioridad, otros científicos como Cuvier, ya polemizaron sobre la GE, mezclando argumentos científicos y políticos.

Tras una primera lectura y reflexión, los estudiantes MAES se mostraron de acuerdo en considerar que la política fue un factor determinante en la controversia; si bien, en la mayoría de los casos las respuestas estaban poco argumentadas, o los argumentos empleados no fueron considerados válidos, ya que el hilo argumental acaba desviándose hacia otros factores distintos de la política. Un grupo (G1) se situó inicialmente en el nivel 3, dos (G3 y G4) en el nivel 2, y uno (G2) en el nivel 1. No obstante, en las respuestas de los distintos grupos se encontraron tres de los cuatro argumentos referidos en el texto sobre la influencia de la política en la controversia. Solo no se aludió al que hace alusión al desamparo de Pouchet por el emperador y la burguesía católica dominante.

Durante la puesta en común, el grupo G1, que había dado una respuesta más completa en la fase inicial, fue el que en principio llevó la iniciativa en la discusión. Se produjo un intercambio interesante de opiniones sobre lo significaba socialmente, en la época de la controversia, adherirse a ideas políticas apoyadas en la revolucionaria teoría de la evolución, que se oponían radicalmente a mantener el estatus social de las clases dominantes conservadoras. No obstante, los estudiantes MAES mostraron ciertas dificultades para entender el contexto social de la época; por tanto, la educadora tuvo que aclarar algunas características del régimen político y de las corrientes ideológicas predominantes en la época, a fin de contextualizar mejor la polémica. También se discutió sobre la influencia de la política en otras investigaciones científicas. Los estudiantes MAES comentaron que es una circunstancia que no solo se ha producido en la controversia objeto de análisis, sino que es frecuente que la política intervenga en el desarrollo de la ciencia de formas diferentes.

Tras el debate en la puesta en común, los informes finales reflejaron una importante mejora, situándose tres grupos (G1, G2 y G3) en el nivel 4, y el grupo G4 en el nivel 3. Sobre todo, los estudiantes MAES destacaron la ventaja política de Pasteur frente a Pouchet. Un grupo (G3) lo argumentó así:

Pasteur [...] era un conservador fiel seguidor de Napoleón III y este le tenía en gran estima. El emperador promovió las investigaciones más prácticas de Pasteur y le ayudó a conseguir recursos económicos para continuarlas, fue honrado con diversos nombramientos. Los recursos con los que contaba Pasteur, así como sus influencias políticas podrían haberle dado ventaja sobre Pouchet, que no recibió los mismos favores y honores, por lo que pudiera no estar igualmente considerado. (G3)

Los estudiantes MAES también dejaron constancia de las relaciones que se establecieron entre las corrientes más contestatarias y la heterogénesis, como se aprecia en la respuesta del grupo G2:

[...] la GE era vista como una creencia asociada a los partidarios de la teoría de la evolución de Darwin, que no era del agrado de las clases más establecidas, pero de la que sí se hicieron eco posturas más revolucionarias. (G2)

Además, otros dos grupos (G1 y G3) aludieron a la influencia de la política en polémicas anteriores sobre la generación espontánea. Por ejemplo:

Cuvier, por ejemplo, ya mezcló sus argumentos científicos con otros de índole religiosa o política, llegando incluso a comparar a su oponente de pertenecer a una corriente de la tradición filosófica del idealismo alemán [Nathurphilosophie] del siglo XIX [porque Prusia era enemiga de Francia] o aquéllos que sembraban el terror durante la revolución francesa. En ese momento hablar de origen de las especies o de generación espontánea era hablar de biología, aspectos sociales, Dios y formas de gobierno a la misma vez. (G1)

En definitiva, se puede decir que los estudiantes MAES asimilaban con suficiencia la influencia de la política en la investigación científica.

### *11.3.8 La importancia de la comunicación científica*

A lo largo de la controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la GE, se emplearon modos de comunicación científica muy diversos, que tuvieron un importante papel en la misma.

Aunque, a priori, no parecía tratarse de una cuestión que entrañase especiales dificultades para los estudiantes MAES, los niveles alcanzados en sus respuestas iniciales fueron bajos. Tres grupos (G1,

G2 y G3) se situaron en el nivel 2 y el grupo G4 en el nivel 0. Lo más destacable en los informes fue la falta de comentarios dirigidos a razonar el papel de la comunicación en el contexto de la controversia. Además, no se hizo referencia a todas las formas de comunicación. Las respuestas se centraron en la publicación de libros (G1 y G2), en la convocatoria de la Academia (G3), y en las cartas intercambiadas por los investigadores (G3).

Con respecto a las razones que denotan la función que tuvieron las diferentes formas de comunicación en la controversia, tres grupos (G1, G2 y G3) hicieron referencia a la importancia de las exposiciones de los trabajos de investigación ante las comisiones nombradas por la Academia. No hubo alusiones a las habilidades retóricas de Pasteur, las facilidades que tuvo Pasteur para exponer sus ideas en conferencias públicas, el acceso que tuvo Pouchet para dar a conocer sus ideas en la prensa, etc.

Durante la puesta en común, la educadora fue formulando preguntas adicionales que condujesen a ampliar la visión recogida en las respuestas iniciales sobre el papel de la comunicación científica en la controversia. Como los grupos incidieron, sobre todo, en la defensa de los trabajos ante la Academia, la educadora preguntó por las comunicaciones previas a la convocatoria del premio Alhumbert. Los estudiantes MAES hicieron entonces referencia a la producción de libros, y memorias, así como a la correspondencia personal entre científicos. La educadora aclaró que Pouchet contaba con más publicaciones escritas que Pasteur, y que el tipo de publicación de ambos era muy diferente: mientras que Pasteur comunicaba notas sintéticas, Pouchet escribía obras extensas.

Posteriormente, la educadora preguntó por otros actos comunicativos que pudieron afectar al desenlace de la controversia. En este momento se produjo un intercambio de ideas sobre: las conferencias pronunciadas por Pasteur, especialmente la conferencia de las Veladas Científicas de la Sorbona, el público al que iban dirigidas, el contenido de las mismas, las dotes oratorias de Pasteur, así como la influencia de estas conferencias en la opinión pública y en los miembros de la Academia. Seguidamente, la educadora preguntó si Pouchet tuvo también la ocasión de hacer llegar al público sus trabajos; y profundizó en el uso que este hizo de la prensa, así como en el efecto que pudieron tener sus comunicaciones sobre las comisiones de la Academia.

Las repuestas dadas en los informes finales reflejaron una gran mejora en las ideas de los estudiantes MAES acerca de la importancia de la comunicación en la investigación científica. Todos los grupos alcanzaron el nivel 4, citando en conjunto todas las formas de comunicación científica que podían extraerse de la narración de la controversia, y aportando diversos argumentos sobre la importancia de las mismas. Todos los grupos hicieron referencia al papel de la Academia en la publicación y difusión de las investigaciones, aportando un argumento válido. Así, por ejemplo:

[...] los científicos realizaban sus experimentos y los mostraban a la Academia de Ciencias de Francia con ocasión de distintos premios. El Premio Alhumbert creado por la Academia es una forma de transmitir a la comunidad científica todo el proceso experimental que se había estado realizando y que los demás integrantes pudiesen comprobar su autenticidad o no, además de las posteriores publicaciones de esos trabajos. (G1).

Asimismo, todos los grupos aludieron a las conferencias científicas, proporcionando uno o dos argumentos válidos. Así lo expresó uno de ellos:

También hacían veladas científicas en las que daban a conocer sus experimentos y sus argumentaciones, informando a más público. Esta fue además una ocasión que aprovechó Pasteur, que era un buen orador, en la controversia para hacer valer su investigación frente a la de Pouchet. (G3)

Igualmente, todos los grupos consideraron, dando un argumento válido, el uso que Pouchet hizo de la prensa para comunicar sus ideas, tal y como lo explica un grupo (G3): “[...] *Pouchet hizo uso de la prensa, para equilibrar la balanza de la opinión pública, que en un principio parecía a favor de Pasteur. Aunque esto finalmente pudo jugar en su contra ante los miembros de la Academia.*” (G3).

Tres grupos (G2, G3 y G4) señalaron la publicación de memorias y libros. Por ejemplo: “[...] *algunos procedimientos de comunicación como [...] las memorias de los trabajos llevados a cabo por los científicos; los libros de interés científicos [...]*” (G4).

Por último, dos grupos (G3 y G4) se refirieron, proporcionando un argumento válido, a la correspondencia privada intercambiada entre los científicos: “*Se comunicaban entre ellos por carta, procedimiento que permite como hoy el intercambio de opiniones de forma personal.*” (G3).

En definitiva, los estudiantes MAES se refirieron, en conjunto, a todas las formas de comunicación puestas en juego en la controversia y dieron razones variadas de su importancia.

### *11.3.9 Valoración de la importancia de los factores epistémicos y no-epistémicos en la resolución de la controversia*

La complejidad de la controversia mantenida en torno a la GE abre la posibilidad de discutir sobre la influencia de factores epistémicos y no-epistémicos en la investigación científica. Entre los factores epistémicos están: la influencia de las creencias teóricas de los científicos en la interpretación de las observaciones, las limitaciones de los diseños experimentales de Pasteur y Pouchet, la imposibilidad de realizar experimentos cruciales con las técnicas disponibles, así como la subjetividad de Pasteur y Pouchet en la evaluación de los experimentos del otro. Como factores no-epistémicos se encuentran: la evaluación de los experimentos de Pasteur y Pouchet por sus pares académicos, la influencia de las creencias religiosas, la influencia de la política, y el papel relevante de la comunicación científica.

Después de una primera lectura de la narración, solo el grupo G1 mencionó en su respuesta inicial factores de ambos tipos: uno epistémico (imposibilidad de realizar experimentos cruciales con las técnicas disponibles), y dos no-epistémicos (la evaluación por pares académicos y la influencia de la religión). El grupo G4 señaló dos factores epistémicos (el indicado anteriormente y las limitaciones de los diseños experimentales de Pasteur y Pouchet). Los otros dos grupos (G2 y G3) se desviaron de las respuestas esperadas, al centrarse en que la polémica tardó en zanjarse de forma definitiva; o en discutir la validez de las evidencias experimentales, en lugar de reflexionar sobre la importancia que las limitaciones experimentales pudieron tener en el desenlace de la controversia. Hubo dos factores epistémicos y dos no-epistémicos de la rúbrica a los que no se hicieron referencia en las respuestas de los grupos.

Durante la puesta en común, los grupos fueron exponiendo sus respuestas. Antes de intervenir la educadora, se puso de manifiesto el enfoque o contenido inapropiado de algunas respuestas de los grupos. En consecuencia, el papel de la educadora se centró en favorecer la reflexión sobre los aspectos que no se habían considerado en las respuestas iniciales. Para ello, pidió a los estudiantes MAES que considerasen, de las diferentes cuestiones abordadas previamente, qué factores pudieron ser decisivos en el desenlace de la controversia. Las opiniones fueron diversas, hasta concluir que confluyeron múltiples factores; y que, tanto los aspectos epistémicos como los no-epistémicos fueron determinantes. La educadora puso de manifiesto también las diferentes interpretaciones que filósofos, historiadores y sociólogos, tanto racionalistas como relativistas, daban de la controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la GE.

En los informes finales, los estudiantes reflejaron que en el desenlace de la controversia influyeron tanto aspectos epistémicos como no epistémicos. Dos grupos (G1 y G4) lograron el nivel 4, por aportar varios argumentos de los dos tipos; y los otros dos grupos (G2 y G3) en el nivel 3, con tres argumentos, entre los que había al menos uno de los dos tipos. En conjunto, los grupos hicieron referencia 8 veces a aspectos epistémicos, y 9 a no-epistémicos, en las respuestas finales; lo que contrasta fuertemente con las escasas 3 referencias a factores epistémicos, y 2 a no-epistémicos, en las respuestas iniciales.

Salvo la subjetividad de Pasteur y Pouchet en la evaluación de los experimentos del otro, el resto de los argumentos epistémicos apareció en las respuestas finales. Así, el grupo G3 destacó la influencia de las creencias teóricas en la interpretación de las observaciones: *“Pouchet estaba convencido de la GE e interpretaba los resultados desde esta teoría. Esto dificultó seguramente la resolución de la controversia.”* (G3); y el grupo G1 puso de manifestó las limitaciones de los diseños experimentales: *“[...] Pasteur y Pouchet tenían limitaciones en el diseño experimental, como se ha visto en una cuestión anterior [...]”* (G1). El grupo G2 consideró relevante que no se pudieran realizar experimentos cruciales durante la controversia: *“[...] no finalizó completamente en ese momento. Fue mediante el desarrollo de nuevas técnicas, como la cámara Tyndall, que pudo demostrarse de forma definitiva.”* (G2).

En conjunto, todos los factores no-epistémicos fueron aludidos por los grupos en sus informes finales. Tres grupos (G1, G2 y G4) se refirieron a la influencia de la política y de la religión, como en el caso siguiente: *“Influyeron numerosos factores [como] la religión al valorar las investigaciones, el respaldo político de Pasteur [...]”* (G4).

Dos grupos (G2 y G3) subrayaron el papel de la comunicación científica: *“También hay que considerar que la capacidad comunicativa de Pasteur le permitía refutar con habilidad los experimentos de Pouchet.”* (G2).

Por último, un grupo resaltó que la multiplicidad de factores debió ser decisiva en la evaluación de las investigaciones por los pares académicos de Pasteur y Pouchet: *“Todos estos factores influyeron en la comisión evaluadora de la Academia”* (G1).

A la vista de los informes finales, y como se reflejó en la puesta en común, los estudiantes MAES mostraron comprender suficientemente que el desenlace de la controversia se vio muy influido por multitud de factores, entre los que se encuentran aspectos epistémicos y no-epistémicos.

#### *11.3.10 Recapitulación de la evolución de las respuestas de los grupos a las cuestiones de los aspectos de NDC abordados*

En la fase inicial, los niveles alcanzados en las respuestas de los grupos a todas las cuestiones se repartieron de manera similar en tres bloques: 12 en los niveles superiores (3 y 4), 13 en el nivel 2, y 11 en los niveles inferiores (0 y 1). No obstante, las preguntas no resultaron ser homogéneas en cuanto a la dificultad que presentan para los estudiantes MAES. Se encontró en algunas de ellas que las respuestas se situaron predominantemente en los niveles más bajos; mientras que en otras lo hicieron en los más altos (figura 12). La cuestión en la que se obtuvieron peores resultados fue C2, referida a la influencia de los diseños experimentales en la investigación, seguida de las cuestiones C9, C1 y C8; las cuales trataban, respectivamente, sobre la valoración de los factores que más influyeron en la controversia, el papel de las creencias teóricas en la interpretación de los resultados, y el papel de la comunicación científica en la controversia. En cambio, se lograron niveles iniciales más altos en las cuestiones C6, C3 y C4, que aludían, respectivamente, a la influencia de la religión en la controversia, la identificación de experimentos cruciales, y el análisis de la subjetividad en el caso.

En los informes finales se apreciaron mejoras notables. La mayoría de las respuestas se situaron en el nivel 4 (25 de 36), y ninguna en los niveles 0 y 1. Tampoco hubo, en este caso, homogeneidad en cuanto a los resultados de cada una de las cuestiones. La mejor valoración se consiguió en la cuestión C8 sobre la comunicación científica (una en las que peores resultados se obtuvieron inicialmente), y la cuestión C3, acerca de los experimentos cruciales, que ya contaba en la primera fase con una puntuación elevada. La pregunta en la que se alcanzó un nivel más bajo fue C1, referida al papel de las creencias teóricas en la interpretación de las observaciones científicas.

Tal y como puede verse en la figura 12, de los 31 casos en los que se podía progresar (en 5 casos de los 36 ya se alcanzó el nivel más alto desde el inicio), se logró alguna evolución en 30. Las progresiones más frecuentes fueron las que van del nivel 2 al 4 (8 veces) y del nivel 3 al 4 (6 veces).

#### *11.4 Conclusiones*

De acuerdo con las preguntas planteadas para dirigir la investigación del presente estudio, se concluye, en primer lugar, que:

1. La lectura reflexiva de la narración sobre la controversia permitió diagnosticar las concepciones iniciales de estudiantes MAES sobre los aspectos de NDC abordados.
2. La lectura y reflexión inicial contribuyó a ofrecer una visión inicial aceptable, algo mejor respecto a los aspectos no-epistémicos que a los epistémicos, aunque mejorable respecto a los aspectos de NDC tratados.

En segundo lugar, respecto a la progresión de las ideas de los estudiantes MAES sobre las cuestiones analizadas a lo largo de la actividad, se constató que:

1. La fase de debate entre los grupos y la reflexión grupal final mejoraron de forma considerable la capacidad de análisis de los estudiantes MAES en relación con los aspectos de NDC tratados, y consecuentemente, sus ideas al respecto.
2. La perspectiva que adquirieron los estudiantes MAES sobre la controversia entre Pasteur y Pouchet se aproxima a su complejidad, alejándose, por tanto, de las visiones más simplistas en las que se perfila la evolución del conocimiento científico como un camino lineal en el que la verdad se impone siempre al error.
3. La progresión de las ideas de los estudiantes MAES se produjo tanto en los aspectos epistémicos como no-epistémicos de NDC de un modo bastante equilibrado.



## 12. Estudio de la implementación del caso de la controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea en Bachillerato

En este capítulo se describe un estudio cualitativo, de carácter interpretativo, sobre la comprensión de aspectos tanto epistémicos como no-epistémicos de NDC, a partir de una actividad centrada en la controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea. Mediante un enfoque explícito y reflexivo, la actividad fue implementada con un grupo de estudiantes de 1º de Bachillerato (16-17 años).

### 12.1 Preguntas que dirigen la investigación

El estudio se concretó en responder a las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Qué concepciones sobre NDC muestran los estudiantes de Bachillerato (estudiantes BAC, en adelante) tras una primera lectura reflexiva de la controversia histórica?
2. ¿Qué efectos tiene la puesta en común y discusión crítica en clase de las primeras reflexiones de los estudiantes BAC sobre los aspectos de NDC referidos en la controversia?
3. ¿Qué cambios se producen en las concepciones de los estudiantes BAC sobre NDC, después de concluir la actividad?

### 12.2 Aspectos contextuales de la investigación

#### 12.2.1 Descripción de la actividad

La fase inicial de la actividad consiste, en primer lugar, en la lectura de un texto de HDC sobre la controversia científica mantenida por Pasteur y Pouchet sobre la posibilidad o no de la generación espontánea. En segundo lugar, tras la lectura los estudiantes BAC, organizados en grupos pequeños de trabajo, realizaron una discusión crítico-reflexiva de diversas cuestiones sobre aspectos epistémicos y no-epistémicos de NDC, que son reconocibles en el relato. Estas primeras reflexiones, como respuestas a las cuestiones de NDC planteadas, fueron registradas por los grupos en un informe inicial. En la segunda fase, los grupos expusieron en clase sus reflexiones con el fin de discutir y profundizar en los diferentes aspectos NDC referidos en las cuestiones. En la tercera fase, los grupos revisaron de nuevo sus ideas y realizaron un segundo informe. La actividad fue implementada por la coautora mediante una intervención educativa de tres sesiones de 1,5 horas cada una. El texto de la narración se ha descrito brevemente con anterioridad en la sección 3.1.4.

#### 12.2.2 Participantes

La actividad fue implementada durante el curso académico 2016-2017 con un grupo-clase de primer curso de Bachillerato (16-17 años). Estaba compuesto por 20 estudiantes BAC (16 alumnos y 4 alumnas), pertenecientes a un instituto público de Enseñanza Secundaria, ubicado en un contexto de nivel socio-económico medio. Dentro del grupo-clase, 12 estudiantes BAC pertenecían al itinerario académico científico-tecnológico, y 8 al de Humanidades y Ciencias Sociales.

De los 20 estudiantes BAC, 12 habían participado en el estudio presentado en el capítulo 6 sobre la actividad “Semmelweis y la fiebre puerperal”, realizada durante el curso 2015-2016, cuando cursaban 4º curso de ESO.

La actividad se desarrolló dentro de la asignatura *Cultura científica*, que cuenta con 2 horas lectivas semanales. Los contenidos abordados en la actividad conectan con los bloques ‘*Procedimientos de trabajo científico*’ y ‘*La Tierra y la vida (el origen de la vida: hipótesis y teorías actuales)*’, establecidos en el currículo oficial de esta asignatura<sup>34</sup>. No obstante, la mayoría de los contenidos sobre NDC que se tratan constituye una ampliación respecto a lo sugerido en dichas prescripciones curriculares.

Como tarea previa a la actividad, los estudiantes BAC realizaron una revisión bibliográfica sobre las teorías y creencias acerca del origen de la vida, anteriores a Pasteur y Pouchet. El trabajo se organizó de modo que cada grupo analizó las ideas y las investigaciones de uno o dos autores. Posteriormente, se hizo una puesta en común en clase de la información recabada.

### 12.2.3 *Objetivos de la actividad*

Con esta actividad, se pretende el aprendizaje de los aspectos de NDC siguientes:

1. Adquirir una visión crítica de la influencia que tienen las creencias teóricas en las investigaciones científicas.
2. Reconocer el papel de los diseños experimentales en los resultados de una investigación científica.
3. Identificar si un experimento es crucial o no en el desarrollo de una investigación científica.
4. Identificar elementos subjetivos subyacentes en una controversia científica.
5. Reconocer muestras de subjetividad en los procedimientos de la comunidad científica para resolver una controversia científica.
6. Tomar conciencia de la influencia de la religión en la construcción del conocimiento científico.
7. Entender el influjo de la política en la investigación científica.
8. Reconocer la importancia de la comunicación científica en el desarrollo de las investigaciones científicas.
9. Comprender la influencia de factores epistémicos y no-epistémicos en la resolución de controversias científicas, como sucedió en la protagonizada por Pasteur y Pouchet.

### 12.2.4 *Cuestiones de NDC planteadas*

En la tabla 18, se indican las cuestiones planteadas para reflexionar sobre los aspectos de NDC abordados en la actividad.

**Tabla 18. Cuestiones de NDC planteadas en la implementación la controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la GE.**

C1. ¿Cuál crees que fue el papel de las creencias teóricas en la interpretación de las observaciones? ¿Por qué?
C2. ¿Qué papel crees que tuvieron los diseños experimentales en los resultados obtenidos? ¿Por qué?
C3. ¿Crees que la controversia se cerró mediante un experimento crucial? ¿Por qué?
C4. ¿Crees que hubo subjetividad en la controversia? ¿Por qué?
C5. ¿Crees que el procedimiento que empleó la comunidad científica para juzgar la controversia evitó la subjetividad? ¿Por qué?
C6. ¿Crees que influyó la religión en la controversia? ¿Por qué?
C7. ¿Crees que influyó la política en la controversia? ¿Por qué?
C8. ¿Qué procedimientos crees que se usaron para comunicar los resultados de las investigaciones a sus colegas y al público interesado? Coméntalos.
C9. ¿Qué factores crees que influyeron más en la resolución de la controversia? ¿Por qué?

<sup>34</sup> Orden de 14 de julio de 2016, por la que se desarrolla el currículo correspondiente al Bachillerato en la Comunidad Autónoma de Andalucía (BOJA Número 145).

### 12.2.5 Evaluación de la comprensión de los aspectos de NDC abordados

Los instrumentos empleados para la obtención de datos, que permitieran evaluar la comprensión de los diversos aspectos sobre NDC tratados en la actividad, fueron: (i) los informes iniciales y finales con las respuestas de los grupos a las distintas cuestiones de NDC (tabla 18); y (ii) una grabación en audio de la puesta en común realizada durante la sesión en gran grupo.

Para analizar las respuestas a cada una de las cuestiones de NDC, se empleó una rúbrica cuyo diseño siguió el procedimiento descrito en la sección 5.2. Los niveles de aprendizaje establecidos a priori, con respecto a cada uno de los aspectos de NDC, y los respectivos descriptores, fueron consensuados por los tres autores. La rúbrica se muestra en la tabla 19.

El establecimiento de los niveles de aprendizaje a las respuestas de los grupos, se realizó mediante un análisis iterativo basado en la consecución de acuerdos inter- e intra-evaluadores. En este estudio, tras una primera ronda de análisis de las respuestas, los investigadores coincidieron en el 97% de las categorías asignadas. En una segunda ronda, se procedió a un cruce de valoraciones mediante el cual se logró un acuerdo del 100% en las categorizaciones de las respuestas. La relativa facilidad con la que los consensos fueron alcanzados es una muestra de la alta fiabilidad del instrumento de evaluación empleado en el análisis del aprendizaje de los aspectos de NDC abordados.

**Tabla 19. Rúbrica de evaluación de aspectos de NDC en el contexto la controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la GE.**

Contenido NDC	Nivel 4 (máximo)	Niveles 3 – 0
C1. Papel de las creencias teóricas en la interpretación de las observaciones	Se alude a la influencia de las creencias teóricas de un científico en la interpretación de un fenómeno, aportando, al menos, 3 de los argumentos siguientes: 1) Influyeron en los diseños experimentales de Pasteur y Pouchet. 2) Influyeron en las diferentes interpretaciones de Pasteur y Pouchet sobre la proliferación o no de microorganismos en los cultivos. 3) Influyeron en las interpretaciones de Pasteur y Pouchet de los resultados obtenidos como pruebas favorables a sus teorías o como errores experimentales. 4) Influyeron en la posición de los miembros de la Academia a favor de Pasteur.	Nivel 3: Se alude a la influencia de las creencias teóricas de un científico en la interpretación de un fenómeno, aportando 2 argumentos del nivel 4. Nivel 2: Se alude a la influencia de las creencias teóricas de un científico en la interpretación de un fenómeno, aportando 1 argumento del nivel 4. Nivel 1: Se alude a la influencia de las creencias teóricas de un científico en la interpretación de un fenómeno, pero no se aportan argumentos del nivel 4. Nivel 0: Se indica que la interpretación de las observaciones es independiente de las creencias teóricas de los científicos, o bien que estas son poco relevantes.
C2. Papel de los diseños experimentales en los resultados	Se destaca la importancia de las características de los diseños experimentales, y se citan, al menos, 4 de los aspectos siguientes: 1) Cada investigador no reprodujo fielmente las experiencias del otro. 2) La influencia del medio de cultivo. 3) No se tuvieron en cuenta todas las variables posibles en las experiencias realizadas en medios terrestres. 4) La imposibilidad de comprobar directamente la contaminación del aire, usándose métodos indirectos, sujetos a múltiples interpretaciones. 5) Mientras que el diseño de Pouchet pretendía validar su teoría, el de Pasteur era para refutarla.	Nivel 3: Se destaca la importancia de las características de los diseños experimentales, y se citan 3 aspectos del nivel 4. Nivel 2: Se destaca la importancia de las características de los diseños experimentales, y se citan 2 aspectos. Nivel 1: Se destaca la importancia de las características de los diseños experimentales, y se cita 1 aspecto. Nivel 0: Se destaca la importancia de las características de los diseños experimentales, pero no se cita ningún aspecto del nivel 4. O bien, no se asume la importancia de tales diseños.

C3. Experimentos cruciales	<p>Se indica que la controversia no se cerró con un experimento crucial, y se dan, al menos, 3 de los argumentos siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) La polémica se reabrió con posterioridad en Inglaterra.</li> <li>2) Pasteur mejoró posteriormente las deficiencias de sus primeros diseños.</li> <li>3) Solo el diseño de la cámara de Tyndall resolvió el problema de la contaminación del aire.</li> <li>4) La controversia quedó abierta respecto al origen de los seres vivos.</li> <li>5) Las deficiencias en los diseños experimentales no permiten calificar de cruciales los experimentos realizados.</li> </ol>	<p>Nivel 3: Se indica que la controversia no se cerró con un experimento crucial, y se dan 2 argumentos del nivel 4.</p> <p>Nivel 2: Se indica que la controversia no se cerró con un experimento crucial, y se da 1 argumento del nivel 4.</p> <p>Nivel 1: Se indica que la controversia no se cerró con un experimento crucial, pero no se dan argumentos.</p> <p>Nivel 0: Se señala que los experimentos de Pasteur fueron cruciales.</p>
C4. Subjetividad en la controversia	<p>Se admite que hubo subjetividad, y se aportan, al menos, 3 de los argumentos siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Los resultados experimentales fueron favorables y contrarios a la GE durante la controversia, siendo muy difícil establecer una decisión objetiva sobre la GE.</li> <li>2) Las interpretaciones de los resultados experimentales estaban condicionadas por las creencias teóricas de Pasteur, Pouchet y los demás científicos.</li> <li>3) Las interpretaciones de los experimentos estaban influidas por las creencias teológicas, sociales y políticas de Pasteur, Pouchet y los demás científicos.</li> <li>4) La evaluación de los experimentos de Pasteur y Pouchet por sus pares académicos no fue todo lo objetiva que era esperable.</li> </ol>	<p>Nivel 3: Se admite que hubo subjetividad, y se aportan 2 argumentos del nivel 4.</p> <p>Nivel 2: Se admite que hubo subjetividad, y se aporta 1 argumento del nivel 4.</p> <p>Nivel 1: Se admite que hubo subjetividad, pero no se aportan argumentos.</p> <p>Nivel 0: No se admite que hubo subjetividad.</p>
C5. Procedimiento empleado por la comisión científica y subjetividad	<p>Se citan al menos, 4 de los argumentos siguientes, a favor o en contra de la subjetividad de la comunidad científica:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) La comisión de académicos designada era favorable a Pasteur.</li> <li>2) Algunos miembros de la comisión anunciaron su decisión a favor de Pasteur antes de presentar públicamente sus trabajos.</li> <li>3) La comisión no aceptó el extenso programa de investigación de Pouchet.</li> <li>4) El hecho de que Pouchet se retirara sin presentar sus trabajos no permite valorar del todo la subjetividad del procedimiento seguido por la comisión.</li> <li>5) Como el resto de la sociedad francesa, los miembros de la comisión también estaban influidos por sus creencias políticas y religiosas.</li> <li>6) La correspondencia privada de Pouchet revela que tenía buenas relaciones con algunos miembros de la Academia, lo que cuestionaría que las comisiones estuvieran confabuladas en contra suya.</li> </ol>	<p>Nivel 3: Se citan, al menos, 3 de los argumentos del nivel 4.</p> <p>Nivel 2: Se citan, al menos, 2 de los argumentos del nivel 4.</p> <p>Nivel 1: Se cita 1 argumento del nivel 4.</p> <p>Nivel 0: No se dan argumentos válidos en la respuesta.</p>
C6. Influencia de la religión	<p>Se considera que hubo influencia de la religión en la controversia, y se dan, al menos, 3 de los argumentos siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Pasteur pretendía rebatir el materialismo ateo, asociado a la GE.</li> <li>2) Pouchet afirmaba que la negación de su teoría sobre la GE equivalía a adoptar una posición atea y caer en el darwinismo.</li> <li>3) Ambos científicos usaron la religión para rebatir ideas contrarias a sus teorías.</li> <li>4) Tanto ateos como burgueses católicos asociaron la GE al darwinismo para prescindir de la existencia de Dios.</li> </ol>	<p>Nivel 3: Se considera la influencia de la religión, y se aportan 2 argumentos del nivel 4.</p> <p>Nivel 2: Se considera la influencia de la religión, y se aporta 1 argumento del nivel 4.</p> <p>Nivel 1: Se considera la influencia de la religión, pero no se aportan argumentos.</p> <p>Nivel 0: No se considera la influencia de la religión.</p>

C7. Influencia de la política	<p>Se considera que la política influyó en la controversia, y se aportan, al menos, 3 de los argumentos siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Pasteur era conservador. Estaba protegido por el emperador Napoleón III y el poder político-religioso institucional.</li> <li>2) Pouchet era un conservador moderado. Sin embargo, no tenía el amparo del emperador Napoleón III, y tampoco era bien visto por la burguesía católica conservadora.</li> <li>3) Una interpretación errónea de la teoría de Pouchet sobre la GE (Heterogénesis) la asoció al darwinismo, y sirvió de apoyo a ideas revolucionarias contra el poder institucional.</li> <li>4) Otros científicos, como Cuvier, polemizaron con anterioridad sobre la GE, mezclando argumentos científicos y políticos.</li> </ol>	<p>Nivel 3: Se considera la influencia de la política, y se aportan 2 argumentos del nivel 4.</p> <p>Nivel 2: Se considera la influencia de la política, y se aporta 1 argumento del nivel 4.</p> <p>Nivel 1: Se considera la influencia de la política, pero no se aportan argumentos.</p> <p>Nivel 0: No se considera la influencia de la política.</p>
C8. Comunicación científica	<p>Se citan, al menos, 3 de las siguientes formas de comunicación científica:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Memorias y libros.</li> <li>2) Por medio de la Academia de Ciencias de Francia.</li> <li>3) Conferencias científicas.</li> <li>4) Correspondencia entre científicos.</li> <li>5) La prensa diaria.</li> </ol> <p>Y cada una de estas se justifica, al menos, con un argumento válido de entre los siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) La exposición ante comisiones formadas por pares académicos.</li> <li>b) Las habilidades retóricas de Pasteur.</li> <li>c) Las facilidades que tuvo Pasteur para exponer sus ideas en conferencias públicas.</li> <li>d) El acceso que tuvo Pouchet para dar a conocer sus ideas en la prensa.</li> <li>e) La correspondencia privada entre Pasteur y Pouchet, así como entre cada uno de ellos y otros científicos, etc.</li> <li>f) Otros argumentos que aludan a la multiplicidad de formas de comunicación científica.</li> </ol>	<p>Nivel 3: Se citan 2 formas de comunicación científica del nivel 4; y cada una de estas se justifica, al menos, con un argumento válido de los indicados en el nivel 4.</p> <p>Nivel 2: Se cita 1 forma de comunicación científica del nivel 4, y esta se justifica, al menos, con un argumento válido de los indicados en el nivel 4.</p> <p>Nivel 1: Se cita alguna forma de comunicación científica del nivel 4, pero no se justifica con ningún argumento válido de los indicados en el nivel 4.</p> <p>Nivel 0: No se cita ninguna forma de comunicación científica del nivel 4.</p>
C9. Factores que más influyeron en la controversia	<p>Se citan, con argumentos válidos, 4 factores en total. De estos, al menos 2 son factores epistémicos de los siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) La influencia de las creencias teóricas de los científicos en la interpretación de las observaciones.</li> <li>(2) Las limitaciones de los diseños experimentales de Pasteur y Pouchet.</li> <li>(3) La imposibilidad de realizar experimentos cruciales con las técnicas disponibles.</li> <li>(4) La subjetividad de Pasteur y Pouchet al evaluar los experimentos del otro.</li> </ol> <p>Y, al menos, 2 son factores no-epistémicos de los siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(a) La evaluación de los experimentos de Pasteur y Pouchet por sus pares académicos.</li> <li>(b) La influencia de las creencias religiosas.</li> <li>(c) La influencia de la política.</li> <li>(d) El papel relevante de la comunicación científica.</li> </ol>	<p>Nivel 3: Se citan, con argumentos válidos, 3 factores, entre los que hay epistémicos y no-epistémicos de los indicados en el nivel 4.</p> <p>Nivel 2: Se citan, con un argumento válido, 1 factor epistémico y 1 factor no-epistémico de los indicados en el nivel 4.</p> <p>Nivel 1: Se citan, con argumentos, válidos solo factores del mismo tipo, epistémicos o no-epistémicos, de los indicados en el nivel 4.</p> <p>Nivel 0: Se cita, sin argumentos válidos, algún factor epistémico o no-epistémico de los indicados en el nivel 4; o no se cita ninguno.</p>

### 12.3 Resultados

En la figura 13 se muestran los niveles de comprensión iniciales y finales de los grupos de estudiantes BAC, respecto a cada una de las cuestiones de NDC tratadas. La exposición conjunta de los resultados iniciales y finales, permite apreciar la evolución del aprendizaje logrado por cada grupo. Seguidamente, se analizarán y discutirán dichos resultados, incluyendo la aportación de la puesta en común en la discusión crítica, que tuvo lugar en clase, sobre cada cuestión de NDC.

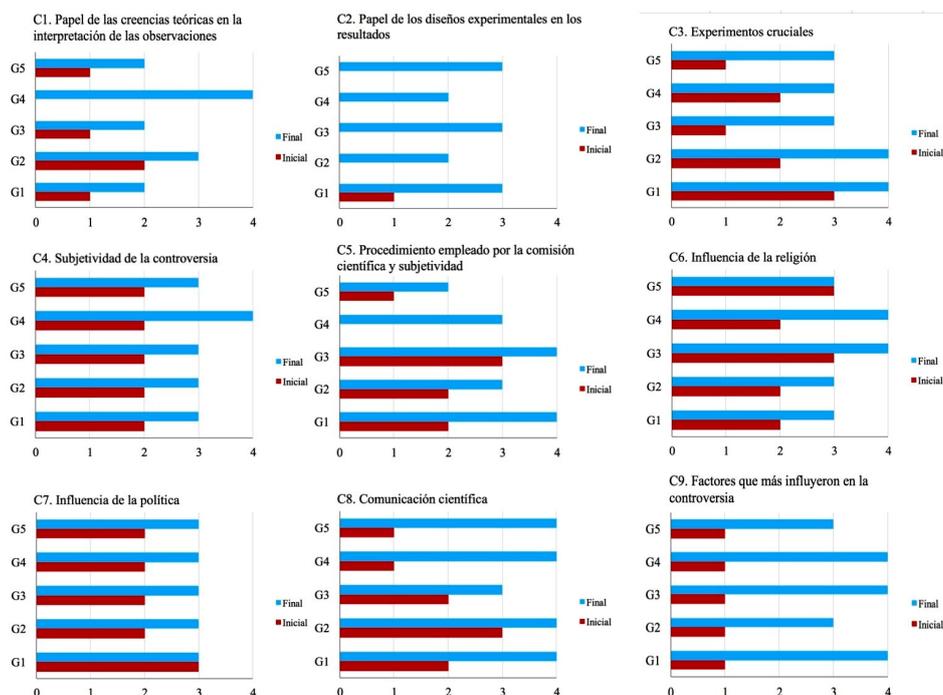


Figura 13. Evolución de los niveles de aprendizaje relativos a los aspectos de NDC abordados.

#### 12.3.1 Concepciones de los grupos tras la lectura del texto de la controversia: diagnóstico de las concepciones sobre NDC de los estudiantes de Bachillerato

De los informes iniciales que siguieron a la lectura de la controversia y a una primera reflexión sobre la misma, se detectó que la mayoría de las respuestas se situaron en los niveles 2 e inferiores (figura 14).

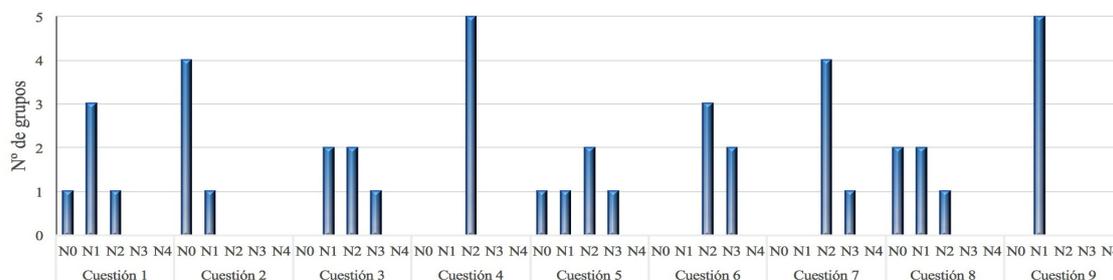


Figura 14. Niveles de respuestas alcanzados por los grupos en la fase inicial de la actividad.

De un total de 45 respuestas (9 repuestas de cada uno de los cinco grupos), seis son del nivel 3, 19 del nivel 2, 14 del nivel 1, y 6 del nivel 0. Esto indica una comprensión inicial relativamente baja de los

aspectos de NDC que se abordan en la narración. En efecto, los grupos aportaron pocos argumentos para justificar sus ideas sobre las distintas cuestiones. De hecho, de los 45 descriptores a los que se podían referir, solo hicieron uso de 22, tal y como se recoge en el apéndice donde se muestran ejemplos y número de descriptores citados en las respuestas iniciales y finales de los grupos a las cuestiones.

Asimismo, los resultados obtenidos en las diferentes cuestiones no fueron homogéneos. Algunas respuestas presentaron resultados muy bajos, como sucede en la cuestión 2, relativa al papel de los diseños experimentales en los resultados de la experimentación (cuatro grupos en el nivel 0 y uno en el nivel 1); en la cuestión 1, referida al papel de las creencias teóricas en la interpretación de los resultados (un grupo en el nivel 0, tres en el nivel 1 y uno en el nivel 2); y en la cuestión 9, sobre la influencia de factores epistémicos y no-epistémicos en la controversia (cinco grupos en el nivel 1). No obstante, estos niveles bajos pueden estar reflejando circunstancias diferentes, como se verá a continuación.

En la cuestión 1, los grupos no mostraron concepciones ingenuas respecto a la relación entre las creencias teóricas y la interpretación de resultados, puesto que las consideraron dependientes. Pero, quizás, esta idea no estaba aún afianzada suficientemente en los estudiantes BAC, por la dificultad que mostraron en encontrar argumentos para justificarla. Solo el grupo G2 aportó un argumento válido: *“Los partidarios de la generación espontánea, pensaban que el aire era fundamental para crear la vida, mientras que sus adversarios creían que el aire tan solo introducía los gérmenes vivos.”* (G2). Tal como se ha indicado en el apartado 12.2.2, una parte importante de estos estudiantes BAC había realizado el año anterior la actividad sobre el caso Semmelweis, y en ella se reflexionó sobre la posibilidad de realizar diferentes inferencias a partir de las mismas observaciones en función de las creencias teóricas (apartado 6.3.1). Esto explicaría que no se manifestasen inicialmente ideas alejadas de las concepciones más adecuadas sobre este asunto.

El problema en la cuestión 2 fue distinto, al apreciarse una comprensión limitada de los diseños experimentales realizados por Pasteur y Pouchet. Solo el grupo G1 aportó un argumento adecuado: *“[Los experimentos] no se podían comparar porque las muestras eran distintas.”* (G1). Esta misma dificultad pudo influir, de alguna manera, en los resultados de la cuestión 9, en el sentido de que una baja comprensión de algunos factores epistémicos llevara a que, en las respuestas iniciales, solo hubiera referencias a la influencia de los aspectos no-epistémicos en el desenlace de la controversia. Pudiera ser que, a estas edades, factores no-epistémicos como la influencia de la religión y, en menor grado, de la política, despertaran mayor interés que los aspectos epistémicos. Así, todos los grupos destacaron en la cuestión 9 que la religión fue un factor determinante en la controversia, como hizo el grupo G5: *“[...] por ejemplo, influyeron las creencias religiosas y como interpretaba cada uno el papel de Dios en relación a los seres vivos.”* (G5). Ningún otro argumento apareció con la misma frecuencia en las respuestas de los informes iniciales. Además, tres grupos valoraron los factores políticos como decisivos en la controversia, tal y como se refleja en la respuesta del grupo G5: *“[...] también se usaron argumentos políticos por ejemplo en contra de la generación espontánea [...]”* (G5).

Lo anterior puede explicar que los niveles iniciales más altos apareciesen en las cuestiones 6 y 7, relativas a la influencia de la religión y la política en la controversia, respectivamente. Todos los grupos defendieron que la religión influyó en la controversia y, globalmente, emplearon tres de los cuatro argumentos posibles. Los grupos G2, G4 y G5 lo argumentaron indicando que ciertos sectores sociales asociaron la GE al ateísmo:

No obstante, hubo un tiempo en que se asoció la generación espontánea y el darwinismo como si de una única teoría se tratase y, por consiguiente, [se diesen] valores a favor del ateísmo y en contra de la creación de Dios. (G4)

Asimismo, los grupos G1, G3 y G5 subrayaron que Pouchet estableció la relación opuesta: *“Pouchet criticó el materialismo y el darwinismo en uno de sus libros y decía que negar la generación espontánea es obtener una posición atea.”* (G3).

En la cuestión 7, globalmente, todos los grupos afirmaron que la política fue decisiva en la controversia. Tres de ellos (G1, G2 y G3) argumentaron que los científicos no tenían el mismo estatus socio-político: *“Pasteur era conservador y recibió ayudas por parte de Napoleón III, lo que le ayudaría a vencer en la controversia porque su posición era mejor.”* (G1). El resto de los descriptores también fueron citados en el conjunto de las respuestas de los diferentes grupos, aunque cada uno de ellos solo se empleó una vez. Debemos considerar, tal como se comentó anteriormente, el efecto positivo que pudo haber tenido la realización de la actividad sobre el caso Semmelweis, el curso anterior, en la que se reflexionó sobre el papel de la política en la aceptación de los resultados de una investigación (apartado 6.3.5).

En la cuestión 3, que trata sobre los experimentos cruciales en el desenlace de la controversia, todos los grupos afirmaron que esta no se cerró mediante un experimento decisivo; si bien se apreciaron bastantes dificultades para argumentarlo. Así, los grupos G3 y G5 no aportaron ninguno válido, y, globalmente, solo se identificaron 2 de los 5 descriptores de la rúbrica para esta cuestión. Los grupos G1, G2 y G4 señalaron que la experiencia de Tyndall fue, posteriormente, el único experimento crucial. El primero de ellos lo expresó así: *“El experimento crucial llegó más tarde. John Tyndall fue quien propuso una demostración para comprobar la existencia de microorganismos en el aire.”* (G1).

En la cuestión 4, todos los grupos admitieron inicialmente la subjetividad en la controversia, aunque solo aportaron un argumento a favor de esta idea, y no se refirieron a 2 descriptores de la rúbrica de esta cuestión. El argumento más aludido (G1, G3 y G4) fue el de la influencia de las creencias teóricas en las interpretaciones de Pasteur y Pouchet. Así lo hizo, por ejemplo, el grupo G4: *“Pouchet defendía su punto de vista sobre la generación de la vida [...] y Pasteur defendió que [...] la aparición de vida era debida a una contaminación de los cultivos [...] ya que era contrario a la generación espontánea.”* (G4).

Los grupos G2 y G5 consideraron, en cambio, la subjetividad en los miembros de la Academia por la misma razón, como se aprecia en la respuesta del grupo G5: *“[...] sus miembros [de la Academia] interpretaban sus experimentos subjetivamente según sus creencias en la generación espontánea, y parece que ya había muchos en contra.”* (G5). Cabe señalar aquí también que una mayoría de estudiantes BAC había abordado, en una actividad anterior, algunos aspectos relacionados con el papel de la subjetividad en las investigaciones científicas (apartado 6.3.1).

En la cuestión 5, todos los grupos señalaron que hubo subjetividad en el procedimiento usado por la comisión para evaluar las investigaciones de Pasteur y Pouchet. Solo el grupo G4 no aportó algún argumento válido. Tres grupos (G1, G2 y G3) señalaron que algunos estudios históricos han puesto en duda una confabulación contra Pouchet por los miembros de la Academia, aunque acabaron inclinándose por la subjetividad de los pares académicos. Globalmente, se emplearon 4 de los 6 descriptores de la rúbrica como argumentos en las respuestas de los grupos. Tres grupos (G1, G3, G5) aludieron a que la comisión no aceptó el extenso programa de Pouchet. De este modo lo hizo el grupo G1: *“La subjetividad no se evitó, debido a que Pouchet no fue bien recibido (no aceptaron su trabajo) en*

la Academia, organización encargada de entregar el premio Alhumbert, por lo que el jurado no pudo ser totalmente objetivo.” (G1). El mismo grupo destacó que la correspondencia privada de Pouchet revela que mantenía buenas relaciones con algunos miembros de la Academia: “Aunque posteriormente se descubrió que Pouchet tenía una relación de cartas con algunos componentes de la Academia, por lo que algunos ponen esto en duda.” (G1).

Con respecto a la cuestión 8, relativa a la influencia de la comunicación científica en el desarrollo de las investigaciones científicas, todos los grupos reconocieron la importancia de este factor en la controversia; sin embargo, no se hicieron referencias a la mayoría de los descriptores de la rúbrica, ni se emplearon todos los argumentos posibles. Lo más destacable es que tres grupos (G1, G2, G3) aludieron, con argumentos válidos, a las habilidades oratorias de Pasteur en la resolución de la controversia: “[...] pero pensamos que sí la usó hábilmente en los discursos [Pasteur], ya que era un buen orador y sabía aprovechar las ocasiones.” (G3).

En síntesis, las dificultades de los estudiantes BAC, en relación con los aspectos de NDC abordados en la fase inicial, se refleja en que 23 descriptores, de los 45 recogidos en la rúbrica para todas las cuestiones, no fueron aludidos en las respuestas de los grupos. También llama la atención que solo se emplearon tales descriptores como argumentos ocasionalmente (e.g., en total, los grupos usaron una sola vez 10 descriptores de la rúbrica). Los descriptores no referidos en las respuestas, bien porque no llamaran la atención de los estudiantes BAC, o porque no fuesen inicialmente bien comprendidos por ellos, se reflejan en el apéndice.

### 12.3.2 *Discusión de las concepciones iniciales de los grupos durante la puesta en común en clase*

Tras la elaboración de los informes iniciales, los diferentes grupos fueron exponiendo las respuestas a las cuestiones planteadas en una sesión en gran grupo. Se pretendía, con ello, discutir los aspectos en los que las opiniones de los grupos diferían para enriquecer sus argumentos con las críticas de los demás. Por lo extenso que resultaría, no se detallarán todos los pormenores de la discusión que tuvo lugar durante la puesta en común; tan solo se dará cuenta de algunos momentos que pueden ser de mayor interés para ilustrar cómo se desarrolló la actividad, y qué papel tuvieron tanto las discusiones entre los grupos como las orientaciones de la educadora.

En cuanto al papel de las creencias teóricas en la interpretación de las observaciones de los científicos, todos los grupos estuvieron de acuerdo en afirmar que estas fueron decisivas en la controversia. En cambio, a excepción de un grupo, no se dieron argumentos suficientes para sostener tal idea. Con el propósito de comprobar si el acuerdo fue tan general como mostraban los informes iniciales, la educadora preguntó cómo se habían producido las primeras discusiones en los grupos. También pretendía, con ello, incitar a la reflexión y profundizar en los argumentos que permiten apoyar la influencia de las creencias teóricas de los científicos en la interpretación de sus observaciones.

Estudiante BAC 3 (EB3): [...] Lo que yo quería decir con eso es que los mismos resultados de un experimento podían interpretarse de distinta forma, y que eso es lo que les pasó a Pasteur y Pouchet.

EB17: Sí, nosotros estamos de acuerdo, pero es que además había diferencias entre los experimentos y esas diferencias fueron también importantes.

Educadora (ED): Podemos centrarnos después en esas diferencias, pero, ¿por qué afirmáis que las interpretaciones pueden variar de un científico a otro?

[...]

EB4: Lo que hemos visto en el grupo es que, en los experimentos, Pasteur y Pouchet a veces encontraban microbios y otras no, y que Pasteur decía que eso pasaba según matasen antes a los microbios del aire, pero Pouchet lo que creía es que eso mismo pasaba si el aire perdía o no perdía algo que tenía que era vital, que hacía que apareciera la vida.

EB13: EB4 tiene razón, [...] pero también dijimos eso, que cada uno lo veía a su manera según la idea que ya tenía. Sobre todo, Pouchet, porque eso de la fuerza vital es un poco inventado.

EB7: Yo no lo veo tan loco, porque el aire tiene oxígeno, y si eliminas el oxígeno tampoco creo que aparezcan los microorganismos.

EB5: Nosotros también hemos dicho que lo del aire era importante. Es que entonces no tenían los medios para comprobar si el aire tenía microorganismos o no los tenía. Porque si lo pueden comprobar todo es más fácil y no habría habido ninguna disputa. Pero como no había medios, hacían muchas suposiciones, y en eso no estaban de acuerdo.

ED: ¿Todos los miembros de los grupos pensabais que las interpretaciones de Pasteur y Pouchet pueden variar tanto según sus creencias? ¿Estuvisteis todos de acuerdo? ¿A nadie le resultó chocante esa idea?

EB19: En mi grupo todos estábamos de acuerdo. Además, que no les pasaba solo a Pasteur y Pouchet porque la discusión venía de lejos, ya lo vimos al principio, que es muy antigua.

EB2: A mí sí que me pareció raro, aunque sí que estaba de acuerdo con mis compañeros y ahora también. Aquí todo el mundo veía las cosas de una manera diferente según lo que pensase, pero eso es lo que se me hace raro.

ED: ¿Podrías explicar qué te resulta extraño?

EB2: No sé explicarlo muy bien, pero me ha recordado a lo de “científicamente demostrado”, porque Pasteur y Pouchet pensaban los dos que habían demostrado lo que pensaban [...] y claro, los dos no pueden ser porque dicen lo contrario.

ED: ¿Y qué pensáis los demás?

EB7: Yo estoy de acuerdo con que no saques las mismas conclusiones que otro, que sean distintas según lo que creas. En este caso está claro.

La educadora pudo comprobar que el acuerdo fue generalizado en la discusión grupal inicial. Los grupos parecían compartir la idea de la influencia de las creencias teóricas en las interpretaciones de los resultados experimentales. Posteriormente, la educadora formuló preguntas cuyas respuestas facilitasen a los estudiantes BAC la elaboración de argumentos. Por ejemplo: “¿cuándo afirmaba cada investigador que se había producido un error?”, “¿fueron Pasteur y Pouchet los únicos que estaban influidos por sus creencias?”... La discusión sobre los diseños experimentales que surgió en la primera pregunta supuso el punto de partida para la segunda. Véase el siguiente fragmento de la discusión en clase:

EB15: Además de si creían o no en la generación espontánea, los diseños experimentales fueron muy importantes, porque las diferencias que había, hicieron que cada uno sacase conclusiones diferentes.

ED: Sí, pero, según lo que acabamos de hablar sobre los experimentos que hicieron, ¿podrías decir cuáles fueron las diferencias y cómo afectaron a los resultados?

EB1: Pues nosotros habíamos pensado que la diferencia mayor es que Pouchet usaba heno y Pasteur azúcares, pero además los recipientes y el montaje eran diferentes.

ED: De acuerdo, pero... ¿cómo influía esto?

EB 6: Influyó en todo porque los microorganismos del heno realmente no se morían, resistían más la temperatura, y los del azúcar de Pasteur eran menos resistentes. Además de lo que ha dicho EB1 de los recipientes. Yo creo que el de Pasteur era mucho más sencillo, [...] el recipiente con el cuello de cisne era más sencillo que el aparato tan complicado de Pouchet, así que era más fácil que se contaminase el de Pouchet.

ED: Ahora estamos de acuerdo en cuál fue el problema, porque los descubrimientos posteriores nos dicen que había bacterias que resistían después de calentar a 120°C. Pero Pasteur y Pouchet lo desconocían. ¿Cómo podían haber evitado este problema?

EB5: A lo mejor se podían haber puesto de acuerdo en emplear la misma cosa, así el problema lo tendrían los dos, o ninguno.

EB11: Sí, pero cada uno había empezado por su camino. Y no te vas a poner de acuerdo con otros que no sabes lo que están haciendo.

EB5: [...] Pasteur podría haber probado con la infusión de Pouchet para ver si a él se le contaminaba o no. Porque decía que se le habría contaminado.

EB11: Claro, pero Pouchet tendría que haber hecho lo mismo, ¿no?

ED: Desde luego el intercambio de las muestras es una solución y habría llevado a los dos investigadores a otra conclusión. ¿Y respecto al recipiente?

[...]

En este momento de la discusión se apreció que la experiencia de Pouchet no había sido comprendida con detalle por los estudiantes BAC. Y ello, pese a que, tras la lectura y durante la elaboración grupal de las primeras respuestas de los grupos, la educadora explicó algunos detalles del procedimiento ideado para evitar el contacto de la infusión de heno con el aire, y los procedimientos para purificarlo. La educadora también hizo aclaraciones sobre los experimentos en tierra. Asimismo, preguntó por la finalidad de los diseños, y cómo podía influir esta en los mismos. La educadora debió aclarar la diferencia entre confirmar una idea y demostrar que es falsa. Algunos estudiantes BAC opinaron finalmente que era más fácil demostrar que algo no es cierto. La educadora apreció que, en este caso, no todos los estudiantes BAC siguieron la discusión.

Posteriormente se inició un diálogo sobre la existencia de experimentos cruciales. Aquí, el papel de la educadora fue formular preguntas que hicieran surgir argumentos distintos a los propuestos inicialmente por los grupos. El que sigue es un fragmento de dicho diálogo en clase:

ED: Habéis comentado que Pasteur se dio cuenta de que debía rehacer sus experimentos, pero ¿por qué?

EB4: Ummm, me parece que alguien en Inglaterra no estaba de acuerdo y siguió investigando.

ED: Sí, el debate resurgió en Inglaterra a raíz del trabajo de un médico, Henry Bastian, partidario de la generación espontánea. Las nuevas discusiones tuvieron eco e hicieron que Pasteur se replantease las condiciones experimentales con las que trabajó.

EB13: En Inglaterra también había mucha polémica con Darwin.

ED: ¿Y qué relación puede haber con las dos polémicas, la de la generación espontánea y la de la evolución?

EB17: Las dos tratan sobre el origen de la vida.

ED: ¿Y consiguen dar una respuesta a cómo se origina la vida?

[...]

Se concluyó finalmente que, aunque la teoría de la generación espontánea estaba relacionada con el origen de la vida, no dio respuesta a la pregunta de cómo se origina el primer ser vivo, ni tampoco explicaba la diversidad. La educadora tuvo que reconducir el diálogo, que se desviaba en exceso hacia Darwin y sus ideas.

Respecto a la cuestión 4, todos los grupos respondieron inicialmente indicando que hubo subjetividad en la controversia, aportando un argumento válido. La educadora formuló preguntas para reflexionar sobre el dilema objetividad vs. subjetividad en la ciencia. Dados los múltiples factores que convergen en la controversia analizada, tal vez la subjetividad fuese considerada por los estudiantes BAC una característica de este caso, en lugar de ser algo inherente al desarrollo científico; por tanto, pareció oportuno detenerse en este aspecto durante la puesta en común. Un fragmento de lo que sucedió durante esta fase, al respecto, es el siguiente:

ED: Hasta ahora habéis dicho que hubo subjetividad por dos motivos porque los miembros de la Academia fueron subjetivos y porque, como ya discutimos antes, se interpretaron los resultados de las experiencias según las creencias en la GE. Pero, en el texto leemos que “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 GE.” ¿Veis alguna contradicción?

EB16: Nosotros habíamos dicho más o menos eso en la pregunta, que para Pasteur y Pouchet lo importante eran los resultados.

ED: Y, ¿por qué dan más importancia a los resultados?

EB19: Porque ellos dicen que los resultados no dependen de las creencias.

EB3: Pero antes decíamos que interpretan los resultados según las creencias.

EB15: Es que diciendo eso parece que llevan más razón, como lo que decía EB2 de científicamente demostrado.

ED: Sí, podemos pensar que lo subjetivo es lo que pasa fuera del laboratorio. Así, fijando la atención en lo que pasa dentro parecen más objetivos, ¿no? Podemos dudar de las creencias, pero con el microscopio podemos saber con seguridad si aparecen o no microorganismos. ¿Dónde está el problema?

EB3: Que cada uno interpreta de una forma si hay o no microorganismos después del experimento.

ED: Luego, tal como habéis dicho antes, la interpretación es subjetiva. Pero, ¿de qué dependen los resultados?, y ¿de qué depende que haya o no microorganismos en los matraces?

EB4: [...] Hemos visto que depende de un montón de cosas, del cultivo, del recipiente, de... Uhmm...

EB7: ¡De los diseños!

ED: Sí. Podemos volver ahora a los razonamientos de Pasteur y Pouchet. ¿Pensáis que los resultados experimentales obtenidos son un “árbitro inapelable”?

EB9: No, no.

ED: Entonces, ¿por qué nos podemos fiar de la ciencia? ¿Por qué hemos rechazado la generación espontánea?

EB16: Yo creo que porque se siguió estudiando y mejorando y después hemos visto que sí que hubo experimentos cruciales y se cerró la controversia.

EB1: Sí, el experimento de Tyndall. Con eso se terminó la discusión.

ED: Pensad que es el acuerdo de los científicos lo que finalmente cuenta. Aunque haya subjetividad en sus trabajos, aceptamos sus ideas cuando llegan a acuerdos.

EB3: Pero a lo mejor en un tiempo dejan de estar de acuerdo.

ED: Es posible, pero mientras, las damos por buenas. De momento vamos retomar la pregunta. Estamos discutiendo dónde pudo haber subjetividad en la controversia, tanto fuera como dentro de los laboratorios.

Tras esto, los estudiantes BAC fueron exponiendo los aspectos en los que veían muestras de subjetividad. Al incidir algunos en la subjetividad de la evaluación de los trabajos por parte de la Academia, comenzaron a aparecer algunos aspectos referentes a la cuestión siguiente; algo que no había ocurrido en los informes iniciales. Lo mismo sucedió cuando algunos estudiantes BAC comentaron la subjetividad debida a la ideología, exponiendo aspectos más concretos sobre la influencia de la religión y de la política en la controversia. El papel de la educadora fue, por tanto, formular preguntas para profundizar en la cuestión; pero, al mismo tiempo, ir delimitando el ámbito de cada cuestión en aras de favorecer el análisis. Una de las preguntas que más intervenciones suscitó en los estudiantes BAC fue la relativa a la influencia de la religión; si bien, la tendencia de sus respuestas era alejarse de la pregunta, lo cual demandaba de la educadora reconducir continuamente la discusión.

En el caso de la influencia de la política en la controversia, aunque globalmente se formularon todos los argumentos posibles en los informes iniciales, y los estudiantes BAC se mostraron muy interesados en la cuestión durante la puesta en común, se apreció que no todos habían comprendido la problemática de la misma manera. Esto se puede apreciar en el siguiente extracto de la discusión en clase:

EB3: Yo no entiendo muy bien que quiere decir EB15. No entiendo por qué la teoría de Darwin era revolucionaria.

EB6: Porque iba en contra de la creación que cuenta la Biblia, que se tomaba al pie de la letra.

EB3: No, si eso lo veo claro, pero eso tiene que ver con la religión. Pero ahora es la política. No entiendo que la teoría de Darwin sea revolucionaria en política.

EB18: Yo tampoco.

EB1: Bueno, la mayoría era religiosa, y la clase alta y Napoleón III también. Ser ateo era ser revolucionario.

ED: Pero el tema político no se reduce a la religión. El régimen político mantenía el catolicismo como valor, y era absolutista. Pero se estaban produciendo movimientos sociales. De hecho, en Francia, en esos años, se reconoce el derecho de los trabajadores a la huelga y se aprueban las primeras asociaciones de trabajadores, los antecedentes de los sindicatos. La burguesía y la Iglesia siguen teniendo una posición privilegiada, pero lógicamente no ven

con buenos ojos los cambios. La burguesía comienza a sentirse amenazada. ¿Encontráis alguna relación entre el darwinismo y las ideas revolucionarias?

EB1: Pues no les debía hacer mucha gracia lo de la evolución, mejor que todo se quede como está.

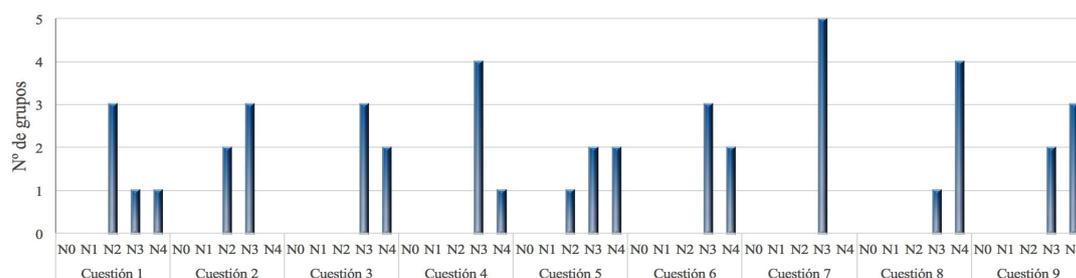
EB18: Claro, tiene sentido. Si evolucionan los seres vivos también las personas.

Tras ello, se pasó a la pregunta siguiente sobre los procedimientos empleados para comunicar los resultados de las investigaciones científicas, y su incidencia en la controversia. No fue una pregunta que diera lugar a discusiones. La educadora se limitó a pedir a los estudiantes BAC que profundizaran en los medios de difusión que iban citando, y que reflejaran en qué medida influyeron en el desenlace de la controversia. La educadora dio información sobre el uso que Pouchet hizo de la prensa para comunicar sus ideas, y sus posibles consecuencias.

Por último, la educadora pidió a los estudiantes BAC que valorasen cada uno de los aspectos tratados a lo largo de la actividad, en cuanto al peso que globalmente pudieron tener en la controversia entre Pasteur y Pouchet. En general, consideraron que todos ellos influyeron en una u otra medida, y concluyeron que el caso no carecía de complejidad.

### 12.3.3 Concepciones de los grupos después de la puesta en común

Como hemos indicado más arriba, en los informes iniciales los niveles predominantes en las respuestas de los grupos a las distintas cuestiones fueron el 2 e inferiores. Sin embargo, a tenor de las respuestas incluidas en el informe final, la progresión de los grupos fue notable (figura 15): la mayoría de las respuestas se ubicaron en los niveles 3 (24 de 45) y 4 (15 de 45). Las 6 respuestas restantes se situaron en el nivel 2, y, lo que es muy importante, ninguna en los niveles 0 y 1.



Un análisis conjunto de las respuestas finales revela que, de los 45 casos en los que se podía progresar (todos los posibles, ya que ningún grupo obtuvo inicialmente el nivel 4), se produjo una mejora en 43 de ellos (95,6%). En la tabla 20 se recoge la evolución de los niveles alcanzados por los grupos, en cada pregunta, al concluir la actividad. La transición más frecuente fue la que va del nivel 2 al 3 (14 veces). Las demás progresiones solo tuvieron una frecuencia de 5 veces o menos.

Las cuestiones en las que se alcanzaron resultados más bajos fueron casi todas aquellas en las que se dieron también niveles iniciales inferiores; concretamente, en la cuestión C1, sobre la influencia de las creencias teóricas en la interpretación de las observaciones científicas, y en la cuestión C2, relativa al papel de los diseños experimentales en la obtención de resultados. No obstante, en estos dos casos se produjeron avances importantes, siendo las progresiones mayores que en la mayoría de los aspectos de NDC restantes.

**Tabla 20. Evolución de los niveles de respuesta alcanzados por los grupos en cada pregunta NOS después de concluir la actividad.**

Cuestiones	Evolución de niveles	Nº de grupos
C1. Papel de las creencias teóricas en la interpretación de las observaciones	N0 → N4	1
	N1 → N2	3
	N2 → N3	1
C2. Papel de los diseños experimentales en los resultados	N0 → N2	2
	N0 → N3	2
	N1 → N3	1
C3. Experimentos cruciales	N1 → N3	2
	N2 → N3	1
	N2 → N4	1
	N3 → N4	1
C4. Subjetividad en la controversia	N2 → N3	4
	N2 → N4	1
C5. Procedimiento empleado por la comisión científica y subjetividad	N0 → N3	1
	N1 → N2	1
	N2 → N3	1
	N2 → N4	1
	N3 → N4	1
C6. Influencia de la religión	N2 → N3	2
	N2 → N4	1
	N3 → N3	1
	N3 → N4	1
C7. Influencia de la política	N2 → N3	4
	N3 → N3	1
C8. Comunicación científica	N1 → N4	2
	N2 → N3	1
	N2 → N4	1
	N3 → N4	1
C.9 Factores que más influyeron en la controversia	N1 → N3	2
	N1 → N4	3

Respecto a la primera de las cuestiones, el descriptor de la rúbrica más aludido por los grupos (4 de 5) fue la importancia de las diferentes interpretaciones que Pasteur y Pouchet hicieron de la proliferación de microorganismos. Uno de los grupos lo mencionaba así: *“Pouchet, pensaba que el aire era fundamental para crear la vida y Pasteur que el aire tan solo introducía los gérmenes vivos.”* (G2). Los grupos G2 y G4 destacaron, además, el uso que Pasteur y Pouchet hicieron de creencias en la GE para interpretar tanto las evidencias favorables como los errores: *“Cuando Pouchet no encontraba microorganismos en los matraces pensaba que al calentar el aire había perdido su propiedad de generar vida y Pasteur afirmaba que al calentar se habían eliminado los microorganismos.”* (G2). Y los grupos G4 y G5 incidieron en cómo influyeron las creencias teóricas en las interpretaciones de los miembros de la Academia: *“[...] los miembros de la Academia también estaban en contra de la generación espontánea o de acuerdo (aunque pensamos que los que menos), por lo que las creencias de los otros científicos también tuvieron un papel importante.”* (G4). Ningún grupo aludió a la influencia de las creencias en los diseños experimentales, a pesar de haberse discutido esta cuestión en la sesión en gran grupo; lo cual puede explicarse por la dificultad que mostraron los estudiantes BAC para comprender, con detalle, los propios diseños experimentales.

Esto último también debió influir en los resultados de la segunda cuestión, relacionada con la influencia de los diseños experimentales en los resultados de las investigaciones científicas. En este caso, ningún grupo aludió al carácter refutador del diseño de Pasteur, en contraposición al carácter verificador del de Pouchet. Solo dos grupos (G1 y G5) hicieron referencia al insuficiente control de variables en los experimentos terrestres realizados. De este modo lo expresaba uno de ellos: “[...] hicieron experiencias en montañas, pero no se fueron a los mismos lugares, por lo que no se podían comparar los resultados.” (G1). Los grupos G1, G3 y G5 subrayaron que cada investigador no reprodujo fielmente las experiencias del otro. El primero de estos grupos lo reflejó así: “[...] tampoco se preocuparon por repetir los experimentos tal y como los había hecho el otro, cada uno siguió con su procedimiento [...]” (G1). Y también tres grupos (G2, G3 y G4) aludieron a las consecuencias de la imposibilidad de verificar directamente la contaminación del aire. El grupo G2 lo expresó del siguiente modo: “[...] no podían comprobar directamente si el aire estaba contaminado o no, solo hacían suposiciones.” (G2). En cambio, todos los grupos hicieron referencia a la influencia del medio de cultivo, de un modo semejante al siguiente: “[...] Pouchet [...] hacía uso de heno que contenía azúcares bastante complejos [...] Pasteur [...] utilizaba azúcares simples [...]” (G4).

La progresión más alta se produjo en la cuestión 9. En ella se pedía una valoración de los factores, epistémicos y no-epistémicos, que más influyeron en la controversia analizada. Mientras que inicialmente los niveles fueron de los más bajos (los cinco grupos en el nivel 1), los niveles finales fueron de los más altos: dos grupos en el nivel 3 (G2 y G5) y tres grupos en el nivel 4 (G1, G3 y G4). Esto indica que los estudiantes BAC terminaron comprendiendo y valorando la importancia que tuvieron en la controversia tanto los factores epistémicos como los no-epistémicos. A excepción de la subjetividad de Pasteur y Pouchet, en la evaluación de los experimentos del otro, los grupos aludieron en sus argumentos a los otros 9 descriptores de la rúbrica en esta cuestión. Por ejemplo, a pesar de que, en general, los estudiantes BAC no parecían haber comprendido algunos detalles de los diseños experimentales, se refirieron, de forma mayoritaria, a la importancia de los mismos en el desenlace de la controversia. Cuatro grupos (G1, G2, G3 y G4) lo reflejaron en sus respuestas, de un modo similar al que sigue: “[...] influyó cómo decidieron hacer los experimentos, porque las condiciones en las que trabajaron no eran las mismas y por tanto no se podían comparar.” (G2). Asimismo, tres grupos (G1, G4 y G5) aludieron al papel de las creencias teóricas en la interpretación de los resultados de los experimentos. El grupo G1 lo reflejó así: “Debido a que los resultados no fueron los mismos en las experiencias de Pasteur y Pouchet, estos se prestaban a las diferentes interpretaciones según creencias de los científicos sobre la generación espontánea.” (G1). Los grupos G3 y G4 hicieron referencia, además, a la imposibilidad de hacer experimentos cruciales en ese momento. El primero de ellos lo expresó de esta forma: “[...] no se resolvió la controversia hasta que algunos años más tarde Tyndall resolvió el problema de demostrar de forma directa si el aire estaba contaminado o no.” (G3).

Respecto al uso de argumentos no-epistémicos, todos los grupos destacaron la importancia que tuvo la religión, de una manera parecida a esta: “[...] Pouchet y Pasteur aludieron a la religión en la interpretación de sus experimentos [...]” (G2). También todos ellos aludieron a la relevancia de la comunicación científica, con respuestas como la siguiente: “[...] Pouchet utilizaba la prensa como medio de comunicación para exponer sus ideas. En cambio, Pasteur era un gran orador, lo cual sirvió para exponer sus ideas.” (G2). Asimismo, tres grupos (G1, G4 y G5) indicaron la importancia de la política: “[...] también se usaron argumentos políticos [...] en contra de la generación espontánea [...]” (G5); y dos grupos (G2 y G3) señalaron la influencia de la evaluación de los experimentos de Pasteur y Pouchet por sus pares académicos: “[...] la Academia no fue del todo objetiva, como ya hemos discutido, y las cosas podían haber ido de manera muy diferente.” (G3).

Otros progresos destacables se produjeron en las cuestiones 3, 5 y 8, relativas a la posible existencia de experimentos cruciales en el desenlace de la controversia, a la subjetividad de la comisión que evaluó los trabajos de ambos científicos, y a la importancia de la comunicación científica, respectivamente.

En relación con la cuestión 3, el análisis conjunto de las respuestas de los grupos indicó que se emplearon todos los descriptores correspondientes de la rúbrica. Todos los grupos identificaron el experimento Tyndall como crucial, tal y como se comprueba en la respuesta del grupo G4: *“Es a finales del siglo XIX cuando Tyndall consigue una cámara sin polvo y sin microorganismos y demuestra que entonces la putrefacción no se producía.”* (G4). Tres grupos (G1, G2 y G5) señalaron la reapertura de la controversia en Inglaterra como prueba de la ausencia de experimentos cruciales durante esta: *“En Inglaterra, todavía quedaron partidarios de la generación espontánea que escribían a favor de esta, lo que hizo que las investigaciones sobre el tema continuaran.”* (G5). Dos grupos (G2 y G3) aludieron a la mejora posterior de los diseños de Pasteur: *“Pasteur tuvo que realizar varios experimentos posteriores cuando se comprobó que la temperatura de 100 °C no era suficiente para eliminar los gérmenes, perfeccionando los primeros experimentos.”* (G1). El grupo G2 destacó, además, que la controversia quedó abierta con respecto al origen de los seres vivos: *“[...] si un ser vivo tenía que proceder de otro ser vivo semejante, ¿cómo apareció el primer ser vivo de esa especie? Como no se tenía una respuesta para esta pregunta, muchos seguían creyendo en la generación espontánea.”* (G2); y el grupo G4 apuntó la importancia de las deficiencias en los diseños experimentales: *“La controversia no tuvo una solución clara en la época de Pasteur y Pouchet puesto que ninguna experiencia fue suficientemente clara como para darla por resuelta.”* (G4).

En la cuestión 5, cuatro grupos (G1, G2, G3 y G5) consideraron que los miembros de la Academia, que evaluaron los experimentos de ambos científicos, estuvieron influidos por creencias religiosas y políticas, tal y como se aprecia en la siguiente respuesta del grupo G2: *“[...] el procedimiento de la comunidad científica no evitó la subjetividad [...] tenían una opinión negativa sobre su investigación [la de Pouchet] porque algunos la relacionaban con ideas materialistas, darwinistas y ateas [...]”* (G2). Asimismo, cuatro grupos (G1, G3, G4 y G5) destacaron el hecho de que la comisión no aceptase el extenso programa de Pouchet. Uno de estos grupos lo expresó de la siguiente forma:

*“[...] el procedimiento de la comunidad científica no evitó la subjetividad ya que no consideraron por igual las investigaciones de Pasteur y Pouchet. Las de Pouchet [...] ni siquiera la aceptaron diciendo que había fallos y que no podían llegar a resultados claros, pero no lo comprobaron [...]”* (G5)

Tres grupos (G1, G3 y G4) se refirieron a que la comisión fue favorable a Pasteur: *“[...] ambas comisiones eran favorables hacia Pasteur, y Pouchet consideraba que no tenía las mismas oportunidades.”* (G3). Sin embargo, cuatro grupos (G1, G2, G3 y G4) también señalaron que Pouchet tenía buenas relaciones con los miembros de la Academia, dudando así de posibles confabulaciones. Uno de estos grupos lo expresó de este modo: *“Otras fuentes sostienen que la correspondencia entre Pouchet y los miembros de la Academia mostraban una buena relación entre muchos académicos y comisionados, y que ambas comisiones no se confabularon a favor de Pasteur.”* (G3). Solo el grupo G2 aludió al hecho de que Pouchet no se presentase ante la comisión: *“[...] si [Pouchet] se hubiese presentado podría haber hecho dudar a algún miembro del jurado, todo podría haber sucedido de otra manera.”* (G2). Ningún grupo indicó que algunos miembros de la Academia se posicionasen a favor de Pasteur antes de la presentación de sus trabajos.

Las respuestas a la cuestión 8 muestran que los estudiantes BAC mejoraron finalmente su comprensión sobre la importancia de la comunicación científica en la controversia. Después de las cuestiones 2 y 9, fue en la que más progresaron los grupos. En el conjunto de las respuestas de los grupos, se hizo referencia a todos los descriptores de la rúbrica para esta cuestión. Todos los grupos destacaron las habilidades retóricas de Pasteur, de un modo similar a este: “[...] Pasteur [...] tenía grandes dotes de orador, lo que le favoreció bastante.” (G5); así como el uso que Pouchet hizo de la prensa: “Pouchet [...] tenía buenas relaciones con los periodistas [...]” (G3).

Dos grupos (G1 y G2) aludieron a la importancia de la exposición ante comisiones formadas por pares académicos: “El premio de la Academia también resultó un buen medio de divulgación, puesto que se daba a conocer un trabajo que se suponía de calidad porque había sido premiado por una comisión que lo valoraba.” (G2); y otros dos grupos (G4 y G5) se refirieron a la correspondencia mantenida por los científicos a título personal. El segundo de ellos lo reflejó así: “[...] se comunicaban directamente entre ellos, frecuentemente por carta [...]” (G5). Por último, el grupo G1 hizo referencia a las facilidades que Pasteur tuvo para dar conferencias públicas: “[...] Pasteur reforzó la comunicación de sus ideas con conferencias, dando así a conocer su trabajo directamente al público [...]” (G1).

En las cuestiones 4, 6 y 7 se obtuvieron buenos resultados, pero son en las que menos progresaron los grupos porque tuvieron respuestas con los niveles iniciales más altos.

En la cuestión 4, sobre la subjetividad en el transcurso de la controversia, las respuestas de los grupos, en su conjunto, hicieron referencia a todos los descriptores de la rúbrica. Cuatro grupos (G1, G2, G3 y G4) se refirieron a la influencia de las creencias teóricas en las interpretaciones de Pasteur y Pouchet respecto a los resultados de los experimentos. Uno de los grupos señaló que: “Pasteur y Pouchet interpretaban de distinta forma los resultados de los experimentos según sus creencias en la generación espontánea.” (G2). Tres grupos (G1, G3 y G4) aludieron a la influencia, en general, de las creencias ideológicas. Así lo expresó uno de ellos:

Además, hubo la influencia de la política, porque Pouchet no tenía la misma consideración entre los científicos que Pasteur, que recibía ayuda de Napoleón III para sus investigaciones, y también se asociaban sus ideas de la generación espontánea al ateísmo y al materialismo, lo que además de ser erróneo bajo nuestro punto de vista también es muy subjetivo, ya que depende de la religión. (G1)

Los grupos G4 y G5 señalaron que los resultados contradictorios de las experiencias favorecieron la subjetividad. El primero de estos grupos lo reflejó así en su respuesta: “Sí, pensamos que hubo mucha subjetividad, y no es raro puesto que los resultados que obtenían Pasteur y Pouchet parecían contradictorios, por eso la conclusión a la que llegaban dependía mucho de cómo interpretasen lo que ocurría.” (G4). Otros dos grupos (G2 y G5) pusieron en duda la objetividad de la comisión en la evaluación de los trabajos de ambos investigadores, con respuestas como la siguiente: “[...] los miembros de la Academia [...] no se fijaron solo en las investigaciones, sino que también tuvieron en cuenta sus creencias en la generación espontánea [...]” (G5).

Respecto a la cuestión 6, sobre la influencia de la religión en la controversia, se aludieron todos los descriptores de la rúbrica correspondiente en el conjunto de las respuestas de los grupos. Aunque en los informes iniciales ya se hicieron referencias a 3 de los 4 descriptores, ahora aumentó el número empleado por cada grupo. Cuatro grupos (G1, G3, G4 y G5) aludieron a los argumentos religiosos empleados por Pouchet; por ejemplo: “Para Pouchet la negación de

la generación espontánea equivalía a caer en el ateísmo y en el darwinismo.” (G1). Y tres grupos (G2, G3 y G4) se refirieron a los aportados por Pasteur, con respuestas como esta: “[...] Pasteur [...] usó el mismo argumento [contra la generación espontánea] para que la gente relacionase a Pouchet con el ateísmo y el materialismo [...]” (G2). Dos grupos (G1 y G3) señalaron, además, que ambos científicos hicieron uso de la religión para rebatir las ideas del otro. Uno de estos grupos lo expresó del siguiente modo: “[Pasteur y Pouchet] usaron la religión para usar argumentos uno en contra del otro, no empleando únicamente las pruebas experimentales, ya que estas no eran concluyentes.” (G1). Por último, tres grupos (G2, G4 y G5) consideraron la cuestión religiosa más allá de los razonamientos de los dos investigadores. Un ejemplo de respuesta al respecto es el que sigue:

[...] la generación espontánea la usaron de argumento los ateos para negar la existencia de Dios, pues la materia podía engendrar seres vivos por sí sola, y los creyentes usaron este mismo argumento para estar en contra de la generación espontánea. (G2)

Las respuestas a la cuestión 7, relativa a la influencia de la política en la controversia, alcanzaron un nivel inicial medio, con la mayoría de los grupos (G2, G3, G4 y G5) ubicados en el nivel 2; y es una de las cuestiones en las que la mejora fue más limitada. El grupo G1 no progresó, y los otros cuatro grupos solo subieron un nivel, sin que ninguno alcanzara el nivel 4. Esto pudo ser debido al limitado conocimiento que los estudiantes BAC pudieran tener de la situación política y social de la época en la que aconteció la controversia. Posiblemente fuese con esta actividad la primera vez que los estudiantes BAC lo trataran. Aun así, se aludió a todos los descriptores de la rúbrica correspondiente en el conjunto de las respuestas de los grupos, aunque no todos con la misma frecuencia. Por ejemplo, cuatro grupos (G1, G2, G3 y G4) aludieron al mejor estatus socio-político de Pasteur: “Pasteur era un conservador fiel a Napoleón III y apoyado por él [...]” (G3). Y dos grupos (G1 y G3) destacaron que la consideración sociopolítica de Pouchet podía ser inferior: “Aunque Pouchet era moderado, sus ideas se relacionaron con posturas revolucionarias y contrarias al poder, por lo que no tenía el mismo estatus y puede que la clase predominante desconfiase [de él].” (G3). Los grupos G2, G4 y G5 subrayaron la interpretación errónea de la teoría de Pouchet sobre la generación espontánea, que se asoció al darwinismo, y sirvió de apoyo a ideas revolucionarias contra el poder institucional. Así lo expresó uno de tales grupos:

La burguesía, que era la clase dominante, pretendía que su situación nunca cambiase, así que no le podía gustar la idea de la evolución de Darwin que implicaba cambios. Por eso el darwinismo era considerado más revolucionario, y como el darwinismo se asoció al ateísmo y a la generación espontánea, influyó en contra de Pasteur en la controversia, que no fue bien visto por la clase dominante. (G5)

Por último, solo el grupo G5 se refirió a la polémica de los antecedentes de esta cuestión: “Cuvier mezcló sus argumentos científicos con otros religiosos, filosóficos y políticos para conseguir su propósito [en contra de la generación espontánea].” (G5).

Cabe destacar que el número de descriptores empleados por los grupos en sus razonamientos aumentó considerablemente (pasando de usar 22 a 40, de los 45 posibles). Sin embargo, la frecuencia variable de su uso, así como la ausencia de algunos de ellos, incidieron en aquellos aspectos de NDC en los que la mejora no fue todo lo deseable.

### 12.4 Conclusiones

De acuerdo con las preguntas de investigación planteadas en este estudio, llegamos a las conclusiones siguientes:

1. Las respuestas iniciales de los grupos, tras una primera lectura reflexiva de la controversia, contribuyeron a diagnosticar las concepciones previas de los estudiantes BAC respecto a los aspectos de NDC abordados.
2. Las dificultades detectadas al principio de la actividad se centraron, de forma general, en la comprensión de algunos aspectos epistémicos relativos a la metodología científica, así como en el conocimiento del contexto histórico y social en el que se desarrollaron las investigaciones de Pasteur y Pouchet.
3. Los estudiantes BAC mostraron tener una visión inicial moderada, aunque mejorable, con respecto a determinados aspectos de NDC tratados. Quizás, ello pudo ser debido a la participación de una parte importante de los estudiantes BAC, el curso anterior, en una actividad similar (el caso de Semmelweis y la fiebre puerperal) para aprender sobre aspectos de NDC usando la HDC. Sin embargo, debemos tener en cuenta que la progresión de las ideas sobre NDC es un proceso de cambio conceptual; por tanto, es lento y progresivo. Una única intervención dirigida a su evolución suele ser, por lo general, insuficiente.
4. La puesta en común aportó evidencias de la contribución de las reflexiones intra-grupales a la progresión de las concepciones iniciales de los estudiantes BAC sobre los aspectos de NDC tratados, así como en su capacidad de argumentación.
5. Gracias a la puesta en común, mediante la cual los equipos debatieron sus respuestas iniciales, los estudiantes BAC comprendieron y asumieron los razonamientos de sus compañeros, siendo capaces de expresar sus propias opiniones sobre los aspectos de NDC abordados.
6. La reflexión en gran grupo aumentó el interés de los estudiantes BAC por los aspectos de NDC analizados; sobre todo de los aspectos no-epistémicos, contribuyendo ese interés, posiblemente, a la mejora de su comprensión sobre ellos.
7. Durante la puesta en común, la educadora actuó como moderadora, recondujo las discusiones cuando fue necesario y formuló preguntas adicionales, como andamiaje, favoreciendo así la reflexión entre los estudiantes BAC; y, por tanto, la evolución de sus ideas sin imposiciones. Además, controló que en los grupos donde había estudiantes BAC participantes en la actividad realizada el curso anterior, no tuvieran un papel predominante, sino que aportasen sus opiniones como los demás en el debate reflexivo. Las posturas dogmáticas, provengan de educadores o de otros compañeros, no suelen favorecer la integración de las nuevas ideas en los esquemas mentales de los estudiantes, en general.
8. La argumentación resultó una estrategia eficaz para favorecer la progresión de las ideas de los estudiantes BAC sobre los aspectos NDC abordados. Tanto la elaboración de los informes iniciales y finales como la discusión de grupo, guiada en este caso por la educadora, proporcionaron un medio idóneo para mejorar la capacidad de argumentación en los estudiantes BAC.
9. Teniendo en cuenta el punto de partida de los estudiantes BAC y los condicionantes propios de su madurez, estos adquirieron una perspectiva suficientemente compleja de la controversia entre Pasteur y Pouchet. Concluyeron la actividad alejándose de las vi-

siones más simplistas en las que el conocimiento científico se presenta como un camino lineal, donde el error es una mera anécdota en la construcción de la verdad científica.

10. Los estudiantes BAC progresaron en la comprensión de los aspectos epistémicos y de los no-epistémicos reconocibles en la controversia analizada. No obstante, sus valoraciones respecto a la influencia de estos en la investigación científica se decantaron hacia los no-epistémicos, probablemente condicionados por una mejor comprensión de estos, con respecto a los epistémicos, y un mayor interés hacia ellos.

**Apéndice: Descriptores de la rúbrica citados en las respuestas de los grupos a las cuestiones en las fases inicial y final.**

Contenidos de NDC de las cuestiones	Descriptores de la rúbrica	Nº de citas – Fase inicial	Nº de citas – Fase final	Fragmentos de respuestas de los grupos con alusiones a los descriptores
C1. Papel de las creencias teóricas en la interpretación de las observaciones	1) Influyeron en los diseños experimentales de Pasteur y Pouchet.	0	0	
	2) Influyeron en las diferentes interpretaciones de Pasteur y Pouchet sobre la proliferación o no de microorganismos en los cultivos.	1	4	<i>“Pouchet, pensaba que el aire era fundamental para crear la vida y Pasteur que el aire tan solo introducía los gérmenes vivos.”</i>
	3) Influyeron en las interpretaciones de Pasteur y Pouchet de los resultados obtenidos como pruebas favorables a sus teorías o como errores experimentales.	0	2	<i>“Cuando Pouchet no encontraba microorganismos en los matraces pensaba que al calentar el aire había perdido su propiedad de generar vida y Pasteur afirmaba que al calentar se habían eliminado los microorganismos.”</i>
	4) Influyeron en la posición de los miembros de la Academia a favor de Pasteur.	0	2	<i>“[...] los miembros de la Academia también estaban en contra de la generación espontánea o de acuerdo (esto pensamos que los que menos), por lo que las creencias de los otros científicos también tuvieron un papel importante.”</i>
C2. Papel de los diseños experimentales en los resultados	1) Cada investigador no reprodujo fielmente las experiencias del otro.	0	3	<i>“[...] tampoco se preocuparon por repetir los experimentos tal y como los había hecho el otro, cada uno siguió con su procedimiento [...]”</i>
	2) La influencia del medio de cultivo elegido.	1	5	<i>“[...] Pouchet [...] hacía uso de heno que contenía azúcares bastante complejos [...] Pasteur [...] utilizaba azúcares simples [...]”</i>
	3) No se tuvieron en cuenta todas las variables posibles en las experiencias realizadas en medios terrestres.	0	2	<i>“[...] hicieron experiencias en montañas, pero no se fueron a los mismos lugares, por lo que no se podían comparar los resultados.”</i>
	4) La imposibilidad de comprobar directamente la contaminación del aire, usándose métodos indirectos, sujetos a múltiples interpretaciones.	0	3	<i>“[...] no podían comprobar directamente si el aire estaba contaminado o no, solo hacían suposiciones.”</i>
	5) Mientras que el diseño de Pouchet pretendía validar su teoría, el de Pasteur era para refutarla.	0	0	

C3. Experimentos cruciales	1) La polémica se reabrió con posterioridad en Inglaterra.	0	3	<i>“En Inglaterra, todavía quedaron partidarios de la generación espontánea que escribían a favor de esta, lo que hizo que las investigaciones sobre el tema continuaran.”</i>
	2) Pasteur mejoró posteriormente las deficiencias de sus primeros diseños.	1	2	<i>“Pasteur tuvo que realizar varios experimentos posteriores cuando se comprobó que la temperatura de 100°C no era suficiente para eliminar los gérmenes, perfeccionando los primeros experimentos.”</i>
	3) Solo el diseño de la cámara de Tyndall resolvió el problema de la contaminación del aire.	3	5	<i>“Es a finales del siglo XIX cuando Tyndall consigue una cámara sin polvo y sin microorganismos y demuestra que entonces la putrefacción no se producía.”</i>
	4) La controversia quedó abierta respecto al origen de los seres vivos.	0	1	<i>“[...] si un ser vivo tenía que proceder de otro ser vivo semejante, ¿cómo apareció el primer ser vivo de esa especie? Como no se tenía una respuesta para esta pregunta, muchos seguían creyendo en la generación espontánea.”</i>
	5) Las deficiencias en los diseños experimentales empleados no permiten calificar de cruciales los experimentos realizados.	0	1	<i>“La controversia no tuvo una solución clara en la época de Pasteur y Pouchet puesto que ninguna experiencia fue suficientemente clara como para darla por resuelta.”</i>
C4. Subjetividad en la controversia	1) Los resultados experimentales fueron favorables y contrarios a la generación espontánea durante la controversia, por lo que era muy difícil establecer una decisión objetiva sobre la generación espontánea.	0	2	<i>“Si, pensamos que hubo mucha subjetividad, y no es raro puesto que los resultados que obtenían Pasteur y Pouchet parecían contradictorios, por eso la conclusión a la que llegaban dependía mucho de cómo interpretasen lo que ocurría.”</i>
	2) Las interpretaciones de los resultados experimentales estaban condicionadas por las creencias teóricas de Pasteur, Pouchet y los demás científicos.	3	4	<i>“Pasteur y Pouchet interpretaban de distinta forma los resultados de los experimentos según sus creencias en la generación espontánea.”</i>
	3) Las interpretaciones de los experimentos estaban influidas también por las creencias teológicas, sociales y políticas de Pasteur, Pouchet y los demás científicos.	0	3	<i>“Además hubo la influencia de la política, porque Pouchet no tenía la misma consideración entre los científicos que Pasteur, que recibía ayuda de Napoleón III para sus investigaciones, y también se asociaban sus ideas de la generación espontánea al ateísmo y al materialismo, lo que además de ser erróneo bajo nuestro punto de vista también es muy subjetivo, ya que depende de la religión.”</i>
	4) La evaluación de los experimentos de Pasteur y Pouchet por sus pares académicos no fue todo lo objetiva que era esperable.	2	2	<i>“[...] los miembros de la Academia [...] no se fijaron solo en las investigaciones, sino que también tuvieron en cuenta sus creencias en la generación espontánea [...]”</i>

C5. Procedimiento empleado por la comisión científica y subjetividad	1) La comisión de académicos designada era favorable a Pasteur.	1	3	<i>"[...] ambas comisiones eran favorables hacia Pasteur, y Pouchet consideraba que no tenía las mismas oportunidades."</i>
	2) Algunos miembros de la comisión anunciaron su decisión a favor de Pasteur antes de la presentación pública de los trabajos.	0	0	
	3) La comisión no aceptó el extenso programa de investigación de Pouchet.	3	4	<i>"[...] el procedimiento de la comunidad científica no evitó la subjetividad ya que no consideraron por igual las investigaciones de Pasteur y Pouchet. Las de Pouchet [...] ni siquiera la aceptaron diciendo que había fallos y que no podían llegar a resultados claros, pero no lo comprobaron [...]"</i>
	4) El hecho de que Pouchet se retirara sin presentar sus trabajos no permite valorar del todo la subjetividad del procedimiento seguido por la comisión.	0	1	<i>"[...] si [Pouchet] se hubiese presentado podría haber hecho dudar a algún miembro del jurado, todo podría haber sucedido de otra manera."</i>
	5) Como el resto de la sociedad francesa, los miembros de la comisión también estaban influidos por sus creencias políticas y religiosas.	1	4	<i>"[...] el procedimiento de la comunidad científica no evitó la subjetividad [...] tenían una opinión negativa sobre su investigación [la de Pouchet] porque algunos la relacionaban con ideas materialistas, darwinistas y ateas [...]"</i>
	6) La correspondencia privada de Pouchet revela buenas relaciones con algunos miembros de la Academia, lo que cuestionaría que las comisiones estuvieran confabuladas en contra suya.	3	4	<i>"Otras fuentes sostienen que la correspondencia entre Pouchet y los miembros de la Academia mostraban una buena relación entre muchos académicos y comisionados, y que ambas comisiones no se confabularon a favor de Pasteur."</i>
C6. Influencia de la religión	1) Pasteur pretendía rebatir el materialismo ateo, que se asociaba a la generación espontánea.	1	3	<i>"[...] Pasteur [...] usó el mismo argumento [contra la generación espontánea] para que la gente relacionase a Pouchet con el ateísmo y el materialismo [...]"</i>
	2) Pouchet afirmaba que la negación de su teoría sobre la generación espontánea equivalía a adoptar una posición atea y caer en el darwinismo.	3	4	<i>"Para Pouchet la negación de la generación espontánea equivalía a caer en el ateísmo y en el darwinismo."</i>
	3) Ambos científicos usaron la religión para rebatir las ideas contrarias a sus teorías.	0	2	<i>"[Pasteur y Pouchet] usaron la religión para usar argumentos uno en contra del otro, no empleando únicamente las pruebas experimentales, ya que estas no eran concluyentes."</i>
	4) Tanto ateos como burgueses católicos asociaron la generación espontánea al darwinismo para prescindir de la existencia de Dios.	3	3	<i>"[...] la generación espontánea la usaron de argumento los ateos para negar la existencia de Dios, pues la materia podía engendrar seres vivos por sí sola, y los creyentes usaron este mismo argumento para estar en contra de la generación espontánea."</i>

C7. Influencia de la política	1) Pasteur era conservador. Estaba protegido por el emperador Napoleón III y el poder político-religioso institucional.	3	4	<i>"Pasteur era un conservador fiel a Napoleón III y apoyado por él [...]"</i>
	2) Pouchet era un conservador moderado. Sin embargo, no tenía el amparo del emperador Napoleón III, y tampoco era bien visto por la burguesía católica conservadora.	1	2	<i>"Aunque Pouchet era moderado, sus ideas se relacionaron con posturas revolucionarias y contrarias al poder, por lo que no tenía el mismo estatus y puede que la clase predominante desconfiase [de él]."</i>
	3) Una interpretación errónea de la teoría de Pouchet sobre la generación espontánea (Heterogénesis) la asoció al darwinismo, y sirvió de apoyo a ideas revolucionarias contra el poder institucional.	1	3	<i>"La burguesía, que era la clase dominante, pretendía que su situación nunca cambiase, así que no le podía gustar la idea de la evolución de Darwin que implicaba cambios. Por eso el darwinismo era considerado más revolucionario, y como el darwinismo se asoció al ateísmo y a la generación espontánea, influyó en contra de Pasteur en la controversia, que no fue bien visto por la clase dominante."</i>
	4) Otros científicos, como Cuvier, polemizaron con anterioridad sobre la generación espontánea, mezclando argumentos científicos y políticos.	1	1	<i>"Cuvier mezcló sus argumentos científicos con otros religiosos, filosóficos y políticos para conseguir su propósito [en contra de la generación espontánea]."</i>
C8. Comunicación científica	1) Memorias y libros.	0	0	
	2) Por medio de la Academia de Ciencias de Francia.	1	2	<i>"Una forma de comunicación eran los premios de la Academia [...]"</i>
	3) Conferencias científicas.	3	5	<i>"[...] conferencias [...] por ejemplo en las célebres Veladas científicas de la Sorbona [...]"</i>
	4) Correspondencia entre científicos.	0	2	<i>"[...] había otras formas de comunicación, como las cartas que se intercambian los científicos para debatir personalmente algunas ideas [...]"</i>
	5) La prensa diaria.	0	5	<i>"[...]Pouchet en cambio, en lugar de dar conferencias, utilizó la prensa para dar a conocer sus ideas [...]"</i>
	a) La exposición ante comisiones formadas por pares académicos.	1	2	<i>"El premio de la Academia también resultó un buen medio de divulgación, puesto que se daba a conocer un trabajo que se suponía de calidad porque había sido premiada por una comisión que lo valoraba."</i>
	b) Las habilidades retóricas de Pasteur.	3	5	<i>"[...] Pasteur [...] tenía grandes dotes de orador, lo que le favoreció bastante."</i>
	c) Las facilidades que tuvo Pasteur para exponer sus ideas en conferencias públicas.	0	1	<i>"[...] Pasteur reforzó la comunicación de sus ideas con conferencias, dando así a conocer su trabajo directamente al público [...]"</i>
	d) El acceso que tuvo Pouchet para dar a conocer sus ideas en la prensa.	0	5	<i>"Pouchet [...] tenía buenas relaciones con los periodistas [...]"</i>
	e) La correspondencia privada entre Pasteur y Pouchet, así como entre cada uno de ellos y otros científicos, etc.	0	2	<i>"[...] se comunicaban directamente entre ellos, frecuentemente por carta [...]"</i>
f) Otros argumentos que aludan a la multiplicidad de formas de comunicación científica.	0	0		

C9. Factores que más influyeron en la controversia	Factores epistémicos			
	1) La influencia de las creencias teóricas de los científicos en la interpretación de las observaciones.	0	3	<i>“Debido a que los resultados no fueron los mismos en las experiencias de Pasteur y Pouchet, estos se prestaban a las diferentes interpretaciones según creencias de los científicos sobre la generación espontánea.”</i>
	2) Las limitaciones de los diseños experimentales de Pasteur y Pouchet.	0	4	<i>“[...] influyó cómo decidieron hacer los experimentos, porque las condiciones en las que trabajaron no eran las mismas y por tanto no se podían comparar.”</i>
	3) La imposibilidad de realizar experimentos cruciales con las técnicas disponibles.	0	2	<i>“[...] no se resolvió la controversia hasta que algunos años más tarde Tyndall resolvió el problema de demostrar de forma directa si el aire estaba contaminado o no.”</i>
	4) La subjetividad de Pasteur y Pouchet en la evaluación de los experimentos del otro.	0	0	
	Factores no-epistémicos			
	a) La evaluación de los experimentos de Pasteur y Pouchet por sus pares académicos.	0	2	<i>“[...] la Academia no fue del todo objetiva, como ya hemos discutido, y las cosas podían haber ido de manera muy diferente.”</i>
	b) La influencia de las creencias religiosas.	5	5	<i>“[...] Pouchet y Pasteur aludieron a la religión en la interpretación de sus experimentos [...]”</i>
	c) La influencia de la política.	3	3	<i>“[...] también se usaron argumentos políticos [...] en contra de la generación espontánea [...]”</i>
	d) El papel relevante de la comunicación científica.	1	5	<i>“[...] Pouchet utilizaba la prensa como medio de comunicación para exponer sus ideas. En cambio, Pasteur era un gran orador, lo cual sirvió para exponer sus ideas.”</i>



## 13. Conclusiones e implicaciones de la investigación

En este proyecto hemos evaluado la eficiencia de una propuesta educativa, basada en el uso de controversias de HDC, para enseñar y aprender sobre NDC desde un enfoque explícito y reflexivo. A diferencia de otras propuestas más frecuentes para enseñar NDC, orientadas a abordar aspectos epistémicos de la ciencia exclusivamente, la empleada en esta investigación presenta la novedad de que permite discutir aspectos epistémicos y no-epistémicos de una forma equilibrada. Asimismo, en su diseño partimos de la premisa de que la realidad escolar en España ofrece posibilidades bastante limitadas para implementar y evaluar innovaciones educativas de este tipo. Principalmente, porque apenas existe tradición de tratar aspectos de NDC en la educación científica; y porque su presencia en las prescripciones oficiales del currículo de ciencia escolar es muy escasa, si se compara con los contenidos más clásicos, e incluso con otros incorporados más recientemente: procedimientos de indagación científica, cuestiones medioambientales y de sostenibilidad, y uso de tecnologías de comunicación e información.

En consecuencia, la propuesta educativa debía ser fácilmente integrable en el desarrollo normal de las clases de ciencia. Esto llevó a que se concretara en intervenciones docentes de corta duración para abordar diversos aspectos de NDC, tanto en la formación de estudiantes MAES como en la educación científica de Secundaria (ESO y BAC).

Con el proyecto hemos sido conscientes también de la dificultad para lograr aprendizajes amplios y profundos con intervenciones educativas cortas; y más aún si el contenido curricular manejado es complejo, como sucede en el caso de la NDC. Aun con esta limitación, que consideramos difícilmente evitable por lo dicho antes, los resultados obtenidos revelan que el análisis crítico y reflexivo de las controversias de HDC empleadas, constituye una estrategia didáctica bastante eficiente para aprender sobre NDC. Globalmente, una amplia mayoría de las respuestas de los estudiantes MAES (56,4%), y mucho mayor aún de las respuestas de los estudiantes de Secundaria (70,3%), alcanzaron los niveles más altos (3 y 4). Asimismo, los estudiantes de Secundaria mostraron alguna mejora de su comprensión en el 84,6% de los casos posibles, y los estudiantes MAES en el 71,2%. En el caso de los estudiantes MAES, la proporción de descriptores no-epistémicos de las rúbricas citados (90,6%) es mayor que la de descriptores epistémicos (85,6%). Asimismo, en los estudiantes de Secundaria la proporción de descriptores no-epistémicos de las rúbricas citados (94,7%) supera a la de descriptores epistémicos (86,7%). Todos los porcentajes son elevados o muy altos, tanto en el caso de los estudiantes MAES como en el de los estudiantes de Secundaria<sup>35</sup>.

Así pues, podemos decir que, frente a aquellos planteamientos restrictivos que tratan solo aspectos epistémicos de la ciencia, los estudiantes participantes en el proyecto adquirieron una visión más holística de la NDC; la cual contribuye, sin duda, al desarrollo de una alfabetización científica más completa. Porque, como hemos insistido reiteradamente, la NDC es un meta-conocimiento clave de la cultura científica, que se construye a partir de las aportaciones de la historia, la filosofía y la sociología de la ciencia.

<sup>35</sup> Hay que tener en cuenta que los estudiantes de Secundaria no realizaron la actividad de la controversia entre Pasteur y Liebig sobre la fermentación, que es aquella en la que los estudiantes MAES obtuvieron los resultados menos altos (véase el capítulo 8). Si se descuentan los resultados de esta controversia, el 81,5% de los estudiantes MAES se situarían en los niveles más altos de la rúbrica (3 y 4); superando ahora al de los estudiantes de Secundaria (70,3%). Asimismo, la progresión de los estudiantes MAES sería mucho mayor (81,5%), y más parecida que sin la corrección a la de los estudiantes de Secundaria (84,6%). Por último, si se aplica también esta corrección a los descriptores de las rúbricas citados por los estudiantes MAES, la proporción correspondiente a los no-epistémicos (93,9%) también sería mayor que la de descriptores epistémicos (82,2%).

Para facilitar la progresión de los estudiantes en la comprensión de los aspectos de NDC tratados en los textos de las controversias implementadas, la puesta en común de la segunda fase fue muy importante. En esta sesión, resultó crucial el papel del docente para moderar y orientar los debates, así como para plantear preguntas auxiliares, o de andamiaje, que permitieran a los estudiantes establecer nuevas reflexiones y relaciones en torno al tema abordado. Para ello, el docente tiene que tener desarrollado un profundo CDC sobre la enseñanza de la ciencia en general, y del CDC-NDC en particular (véase la figura 1 de sección 2.2 del capítulo 2). A la vista de los resultados obtenidos, queda claro que la educadora (coautora del libro) que implementó la mayoría de las actividades en el MAES, y todas las de Educación Secundaria, cumplió con este requisito ampliamente. Además, también fortaleció su propio CDC-NDC durante el desarrollo del proyecto.

Por otra parte, queremos destacar el valor didáctico de la metodología cualitativa empleada en la implementación y evaluación de la propuesta educativa, que difiere de las utilizadas en las propuestas más habituales para enseñar NDC. Así, en el contexto de las distintas controversias de HDC, se ha promovido que los estudiantes analizaran críticamente su contenido y, en respuestas a preguntas abiertas y reflexivas, argumentaran sus puntos de vista sobre los aspectos de NDC desarrollados en las mismas. Todo ello, en un clima de discusión y debate entre los estudiantes (tanto en pequeño grupo como en gran grupo), con la orientación apropiada y esencial del educador, para favorecer la progresión o enriquecimiento de tales argumentos, conforme a las ideas sobre NDC deseables.

En la evaluación de los aprendizajes, no se ha recurrido a los cuestionarios típicos con preguntas genéricas y descontextualizadas sobre NDC, que son aplicados a modo de pre-test y pos-test. En su lugar, se han empleado rúbricas diseñadas *ex profeso* para analizar, con un enfoque interpretativo riguroso, las progresiones de las respuestas de los estudiantes en el contexto de cada controversia de HDC (enfoque contextualizado). La validez y fiabilidad de este sistema de evaluación han sido constatadas en los diferentes estudios del proyecto, a partir de los procesos iterativos de análisis inter- e intra-evaluadores realizados y el uso de descriptores de baja inferencia; ambos muy recurrentes y apropiados en investigaciones cualitativas como esta.

En la tabla 21 se indican los datos globales de credibilidad/confiabilidad (equivalente a la validez interna de las investigaciones cuantitativas) de las categorizaciones de las respuestas, tanto iniciales como finales, correspondientes a los descriptores de las rúbricas de las cuestiones de NDC planteadas en todas las controversias de HDC implementadas.

En todos los casos, menos en uno que es del 84%, los porcentajes de acuerdos superan ampliamente el 90%, lo que revela una consistencia interna elevada. Por tanto, las cuestiones de NDC de nuestros diversos estudios tienen una más que notable credibilidad/confiabilidad (o validez interna, si se prefiere).

**Tabla 21. Porcentajes de acuerdos inter-evaluadores en la categorización de los niveles, iniciales y finales, de las respuestas a las cuestiones de NDC de las controversias de HDC.**

Cuestiones/Controversias	Estudiantes MAES			Estudiantes Secundaria		
	Inicial	Final	Global	Inicial	Final	Global
Semmelweis	94%	94%	<b>94%</b>	100%	100%	<b>100%</b>
Fermentación	100%	100%	<b>100%</b>	-	-	-
ADN	88%	81%	<b>84%</b>	94%	94%	<b>94%</b>
Generación espontánea	89%	94%	<b>92%</b>	100%	100%	<b>100%</b>

Somos conscientes que los buenos resultados obtenidos no deben generalizarse sin más; si bien, consideramos que marcan una tendencia positiva, que otros educadores podrían replicar haciendo sus propias implementaciones. La generalización o transferibilidad de resultados de este tipo de estudios depende de muchos factores; entre ellos, de las características de los estudiantes y, muy especialmente, del docente que lleva a la práctica la intervención educativa. Respecto a lo segundo, como ya hemos señalado, es imprescindible que este disponga de un CDC-NDC sólido. En todo caso, como adelantamos en la sección 5.3 del capítulo 5, sería de gran interés promover nuevos estudios que abunden en este criterio de transferibilidad, propio de las investigaciones cualitativas.

Cabe señalar también que los estudios realizados de este proyecto indican que la propuesta educativa presenta otras dificultades, que deben ser superadas con mejoras en el futuro. Por ejemplo, sería interesante añadir algunas preguntas de metacognición para que los estudiantes reflexionen sobre aquellos aspectos que han entendido bien y sobre los que tienen dudas, tras la primera lectura de los textos de HDC. Asimismo, podría ser útil que los estudiantes indiquen el grado de seguridad con que expresan los argumentos utilizados en sus respuestas iniciales a las cuestiones de NDC planteadas. Todo esto permitiría al educador conocer las ideas menos informadas, o expresadas con menor seguridad, para tratarlas con mayor atención durante la puesta en común en gran grupo. Igualmente es necesario insistir permanentemente a los estudiantes en que elaboren los argumentos de sus respuestas con alusiones directas al contenido de la narración de la controversia de HDC analizada en cada caso. De esta manera, se podría evitar la pérdida de referencias a ciertos indicadores o descriptores de las rúbricas con los que pueden estar de acuerdo, pero que luego no expresan en sus respuestas.

Otra posible limitación de la metodología empleada en la implementación de la propuesta, podría encontrarse en que los informes con las respuestas a las cuestiones de NDC fueron elaborados en grupo. En efecto, con esta estrategia puede quedar la duda de si las respuestas reflejan realmente la comprensión del grupo, la del miembro de este con ideas mejor informadas sobre el tema, o la de aquel que, aun sin tener las mejores ideas, posee una mayor capacidad de liderazgo y convicción que el resto de miembros. En todo caso, es preciso decir que, por su amplia experiencia docente con el trabajo en grupo en las clases de ciencia, los educadores que implementaron las narraciones eran conscientes de que podían darse las dos últimas situaciones, e hicieron todo lo posible para evitarlo. En este sentido, durante el proceso educativo animaron continuamente a los distintos grupos a que elaboraran sus respuestas como fruto de una discusión inicial y el posterior consenso entre todos los miembros, ofreciéndoles ayuda para ello cuando fue necesario. Asimismo, para no forzar consensos imposibles, se les aclaró que, en aquellos casos donde se dieran opiniones divergentes, podían expresar las distintas posiciones del grupo.

Con respecto a la formación de los estudiantes MAES, se concluye que la propuesta educativa, además de para mejorar su comprensión sobre la NDC, tiene una doble utilidad. La primera, dotar a estos futuros docentes de recursos didácticos y materiales curriculares idóneos para su uso en la enseñanza de la NDC. La segunda, como referente para que puedan iniciar la superación de obstáculos específicos, con vistas a impartir NDC en las clases de ciencia de Educación Secundaria, mediante la construcción de otros elementos de su propio CDC-NDC. Además, como ya se indicó en el capítulo 2, la integración de la NDC en el currículo de ciencia escolar no solo tiene interés como elemento esencial para el desarrollo de la alfabetización científica, sino que su comprensión puede enriquecer la enseñanza del resto de contenidos de ciencia escolar. Estamos convencidos de que la implementación de una propuesta educativa como la que vertebra este proyecto, con estudiantes MAES, puede favorecer en ellos la asimilación de los principios pedagógicos que la sustentan, los cuales estimamos oportuno reproducir de nuevo a continuación:

- Si los científicos de hoy suelen trabajar en equipo, ¿por qué no han de hacerlo nuestros estudiantes? No es un obstáculo para el aprendizaje que pudiera haber un líder en los equipos de trabajo de los estudiantes; ¿acaso no lo hay también a menudo en los equipos de científicos? Nadie debería rasgarse las vestiduras por ello.
- Si los miembros de un equipo científico discuten sus ideas entre ellos (e.g., en seminarios), ¿no debería darse también una oportunidad de hacer algo similar a nuestros estudiantes? Con ello se contribuye a que valoren las ideas de los demás compañeros, intenten consensuar con razonamientos las ideas más representativas del grupo, y también el derecho a discrepar con buenos argumentos.
- Si los miembros de un equipo científico comunican sus ideas a otros científicos en congresos, ¿no resulta adecuado que también lo hagan nuestros estudiantes en una sesión en gran grupo? Con ello aprenden a exponer las ideas propias, intentar rebatir las posibles críticas de otros, escuchar las ideas de los demás y valorarlas, etc.
- Si los científicos realizan informes para comunicar sus resultados con los mejores argumentos posibles, ¿por qué no deberían hacer algo parecido nuestros estudiantes? Aprender a escribir sobre cuestiones científicas motivando las respuestas debe ser uno de los objetivos de la educación científica.
- Los errores son algo común en la investigación científica. Si los científicos pueden llegar a concebir sus errores como una oportunidad para reconducir o refinar sus investigaciones, ¿no deberían nuestros estudiantes tener la posibilidad de tomar conciencia de sus propios errores como algo difícilmente evitable, pero que les permiten aprender a partir de ellos? Se trata así de superar la idea negativa del error como un fracaso en el aprendizaje de la ciencia

Si bien, el grado en que la propuesta educativa que planteamos para enseñar NDC, favorece en los estudiantes MAES la asimilación de tales principios, es algo pendiente de analizar con rigor en investigaciones futuras.

Por último, consideramos que una comprensión más amplia y sólida sobre la NDC se puede lograr con otros contextos complementarios al de la HDC. Por ejemplo, junto al análisis de controversias de HDC, sería interesante analizar controversias científicas actuales, a fin de que los estudiantes encuentren similitudes y posibles diferencias entre ellas, con respecto a determinados aspectos de NDC. Asimismo, puede resultar de interés, en el contexto de actividades experimentales para hacer indagaciones científicas, proponer a los estudiantes cuestiones explícitas para que reflexionen sobre el proceso seguido en estas; tales como: ¿por qué creen que se pueden obtener diferentes datos para un mismo fenómeno, aun empleando los mismos instrumentos?; ¿por qué se pueden interpretar los mismos datos de forma diferente?; ¿qué decisiones se deben tomar cuando se llegan a resultados distintos?; etc.

Todo esto implica, obviamente, disponer de más tiempo para enseñar NDC. Sin embargo, en nuestra opinión, aparte de las limitaciones extrínsecas difícilmente evitables, el tiempo requerido solo se puede encontrar si los educadores toman realmente conciencia del interés de incorporar la NDC, de manera explícita y con el peso curricular adecuado, a la educación científica que desarrollan habitualmente en sus aulas. Desde luego, los investigadores del presente proyecto estamos concienciados de ello, y vamos a seguir insistiendo en nuestro propósito de ayudar a que la NDC se consolide como un contenido básico del currículo de ciencia escolar.

## 14. Epílogo

Como epílogo, permítasenos tres párrafos sobre el camino recorrido hasta la culminación de este libro. Durante el desarrollo de nuestro proyecto “*Casos y controversias de historia de la ciencia para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia*”, hemos tenido la oportunidad de discutir con amplitud y profundidad sobre todos los aspectos abordados. Este proceso ha dado como fruto la consecución de grandes acuerdos entre nosotros, que han mejorado sustancialmente nuestras ideas iniciales. En definitiva, ha sido una experiencia con la que hemos aprendido bastante unos de otros. Han sido casi tres años de intenso trabajo y muchos esfuerzos, pero muy gratificante para los tres.

Respecto a las publicaciones de los trabajos que íbamos realizando, ha habido un poco de todo: muchas alegrías y algunos sinsabores. Estos últimos en particular con ciertos editores y evaluadores que, bien adoptaron una actitud intransigente, rayana en lo sectario en algunos casos, respecto a nuestra posición sobre la NDC; o bien simplemente se inhibieron, e incluso en algunas ocasiones mostraron su ignorancia en los temas tratados. Sin duda, los procesos de revisión por pares son necesarios, pero deberían mejorarse profundamente para evitar que sucedan cosas como estas; creemos necesario decirlo. Sin embargo, es de justicia decir también que han sido muchas más las alegrías, los ánimos que nos han dado, y las felicitaciones que hemos recibido de otros editores y revisores, así como de bastantes colegas. De hecho, todos los trabajos que hemos enviado a publicación han acabado siendo aceptados en revistas y en los congresos en los que hemos participado. Asimismo, estamos convencidos de que hemos crecido durante el desarrollo del mismo, pese a que los tres teníamos una amplísima experiencia como investigadores y docentes antes de iniciar el proyecto. Este ha sido otro de los beneficios destacables del proyecto.

Cádiz, Huelva y Sevilla constituyen la conocida popularmente como Andalucía la Baja, descendiente directa de Tartesia, y considerada la civilización más antigua de Occidente por los antiguos griegos. Como sucede cotidianamente con los habitantes de este triángulo mágico del suroeste de España, los autores hemos fortalecido unas relaciones de amistad profunda durante la puesta en práctica de este proyecto; unos lazos que van mucho más allá del desarrollo profesional adquirido y de la satisfacción propia del trabajo bien hecho.



## Referencias bibliográficas

- ABD-EL-KHALICK, F. (1999). Teaching Science with History. *The Science Teacher*, 66(9), 18-22.
- ABD-EL-KHALICK, F. (2012a). Examining the sources for our understandings about science: Enduring confluences and critical issues in research on nature of science in science education. *International Journal of Science Education*, 34(3), 353-374.
- ABD-EL-KHALICK, F. (2012b). Nature of Science in Science Education: Toward a Coherent Framework for Synergistic Research and Development. En B. J. Fraser, K. Tobin y C. J. McRobbie (eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 1041-1060). Dordrecht: Springer.
- ABD-EL-KHALICK, F. y LEDERMAN, N. G. (2000). The influence of history of science course on students' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(10), 1057-1095.
- ACEVEDO, J. A. (1990). Razonamiento causal en una tarea de contexto natural. Un estudio evolutivo con estudiantes de Bachillerato. *Investigación en la Escuela*, 10, 61-70.
- ACEVEDO, J. A. (2006a). Modelos de relaciones entre ciencia y tecnología: Un análisis social e histórico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(2), 198-219.
- ACEVEDO, J. A. (2006b). Relevancia de los factores no-epistémicos en la percepción pública de los asuntos tecnocientíficos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(3), 369-390.
- ACEVEDO, J. A. (2008). El estado actual de la naturaleza de la ciencia en la didáctica de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(2), 134-169.
- ACEVEDO, J. A. (2009a). Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (I): El marco teórico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(1), 21-46.
- ACEVEDO, J. A. (2009b). Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (II): Una perspectiva. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(2), 164-189.
- ACEVEDO, J. A. (2009c). Enfoques explícitos versus implícitos en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(3), 355-386.
- ACEVEDO, J. A. (2010). Formación del profesorado de ciencias y enseñanza de la naturaleza de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(3), 653-660.
- ACEVEDO-DÍAZ, J. A. (2017). *Sobre leyes y teorías científicas*. OEI, Divulgación y Cultura Científica Iberoamericana, 19-4-2017. Disponible en <http://www.oei.es/historico/divulgacioncientifica/?Sobreleyes-y-teorias-cientificas>.
- ACEVEDO, J. A. y GARCÍA-CARMONA, A. (2016a). «Algo antiguo, algo nuevo, algo prestado». Tendencias sobre la naturaleza de la ciencia en la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 3-19.
- ACEVEDO, J. A. y GARCÍA-CARMONA, A. (2016b). 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, 162-175.
- ACEVEDO, J. A. y GARCÍA-CARMONA, A. (2016c). Uso de la historia de la ciencia para comprender aspectos de la naturaleza de la ciencia. Fundamentación de una propuesta basada en la contro-

versia Pasteur versus Liebig sobre la fermentación. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 11(33), 203-226.

ACEVEDO, J. A. y GARCÍA-CARMONA, A. (2017). *Controversias en la historia de la ciencia y cultura científica*. Madrid: Los Libros de la Catarata.

ACEVEDO, J. A., GARCÍA-CARMONA, A. y ARAGÓN, M. M. (2015). *Semmelweis y la fiebre puerperal – Texto de Historia de la Ciencia para Educación Secundaria Obligatoria*. Documento de trabajo. Disponible en ResearchGate. DOI: 10.13140/RG.2.1.4404.0087

ACEVEDO, J. A., GARCÍA-CARMONA, A. y ARAGÓN, 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), 913-933.

ACEVEDO, J. A., GARCÍA-CARMONA, A. y ARAGÓN, M. M. (2016b). *Rosalind Franklin y la doble hélice del ADN – Texto de Historia de la Ciencia para Educación Secundaria (17-18 años de edad)*. Disponible en Research Gate. DOI: 10.13140/RG.2.2.36750.97603

ACEVEDO, J. A., GARCÍA-CARMONA, A. y ARAGÓN, M. M. (2016c). 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), 408-422.

ACEVEDO, J. A., GARCÍA-CARMONA, A. y ARAGÓN, M. M. (2017a). Historia de la ciencia para enseñar naturaleza de la ciencia: Una estrategia para la formación inicial del profesorado de ciencia. *Educación Química*, 28(3), 140-146.

ACEVEDO, J. A., GARCÍA-CARMONA, A. y ARAGÓN, M. M. (2017b). La controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea – Texto de Historia de la Ciencia para Educación Secundaria (17-18 años de edad). Documento de trabajo. Disponible en Research Gate. DOI: 10.13140/RG.2.2.13633.56162

ACEVEDO-DÍAZ, J. A., GARCÍA-CARMONA, A., ARAGÓN-MÉNDEZ, M. M. y OLIVA-MARTÍNEZ, J. M. (2017). Modelos científicos: Significado y papel en la práctica científica. *Revista Científica*, 30(3), 155-166.

ACEVEDO, J. A., VÁZQUEZ, A., MARTÍN-GORDILLO, M., OLIVA, J. M., ACEVEDO, P., PAIXÃO, M. F. y MANASSERO, M. A. (2005). Naturaleza de la ciencia y educación científica para la participación ciudadana. Una revisión crítica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(2), 155-166.

ADÚRIZ-BRAVO, A. e IZQUIERDO-AYMERICH, M. (2009). A research-informed instructional unit to teach the nature of science to pre-service science teachers. *Science & Education*, 18(9), 1177-1192.

AKERSON, V. L., PEARSON, R., WONG, A. SL., LIE, H. L., GRANGER, E., ROSE, K., LEDERMAN, N. G., LEDERMAN, J. S., SCHWARTZ, R. y SOUTHERLAND, S. A. (2010). Putting Nature of Science Research into Classroom Practice: Real Teachers ... Real Teaching. Symposium presented at *International Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching*. Philadelphia, PA, USA (March 21-24).

ALLCHIN, D. (2003). Scientific myth-conceptions. *Science Education*, 87(3), 329-351.

ALLCHIN, D. (2004). Pseudohistory and Pseudoscience. *Science & Education*, 13(3), 179-195.

ALLCHIN, D. (2011). Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science. *Science Education*, 95(3), 518-542.

- BANET, E. (2010). Finalidades de la educación científica en educación secundaria: Aportaciones de la investigación educativa y opinión de los profesores. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(2), 199-214.
- BUTTERFIELD, H. (2012). Interpretación whig de la Historia. *Relaciones Internacionales*, 20, 129-149.
- CLOUGH, M. P. (2006). Learners' Responses to the Demands of Conceptual Change: Considerations for Effective Nature of Science Instruction. *Science & Education*, 15(5), 463-494.
- CLOUGH, M. P. (2011a). Teaching and assessing the nature of science. *The Science Teacher*, 78(6), 56-60.
- CLOUGH, M. P. (2011b). The Story Behind the Science: Bringing Science and Scientists to Life in Post-Secondary Science Education. *Science & Education*, 20(7-8), 701-717.
- COSCE [Confederación de Sociedades Científicas de España] (2011). *Informe Enciende: Enseñanza de las Ciencias en la Didáctica escolar para edades tempranas en España*. Madrid: COSCE.
- DAGHER, Z. R. y ERDURAN, S. (2016). Reconceptualizing the nature of science for science education. Why does it matter? *Science & Education*, 25(1-2), 147-164.
- ELLIOT, J. (2000, 4ª edición). *La investigación-acción en educación*. Madrid: Morata.
- ERDURAN, S. y DAGHER, R. F. (2014). *Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education*. Dordrecht: Springer.
- EURYDICE (2011). *Science Education in Europe: National Policies, Practices and Research*. Brussels: EACEA P9 Eurydice.
- FLECK, L. (1986). *La génesis y el desarrollo de un hecho científico*. Madrid: Alianza.
- FORATO, T. C. M., MARTINS, R. A. y PIETROCOLA, M. A. (2011). Historiografía e natureza da ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(1), 27-59.
- GARCÍA-CARMONA, A. (2012a). Cómo enseñar Naturaleza de la Ciencia (NDC) a través de experiencias escolares de investigación científica. *Alambique*, 72, 55-63.
- GARCÍA-CARMONA, A. (2012b). “¿Qué he comprendido? ¿qué sigo sin entender?”. Promoviendo la auto-reflexión en clase de Ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(2), 231-240.
- 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), 493-509.
- GARCÍA-CARMONA, A. y ACEVEDO, J. A. (2016a). Concepciones de estudiantes de profesorado de Educación Primaria sobre la naturaleza de la ciencia: Una evaluación diagnóstica a partir de reflexiones en equipo. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 21(69), 583-610.
- GARCÍA-CARMONA, A. y ACEVEDO, J. A. (2016b). Learning about the nature of science using newspaper articles with scientific content: A study in initial primary teacher education. *Science & Education*, 25(5-6), 523-546.
- GARCÍA-CARMONA, A. y ACEVEDO, J. A. (2017). Understanding the nature of science through a critical and reflective analysis of the controversy between Pasteur and Liebig on fermentation. *Science & Education*, 26(1-2), 65-91.
- GARCÍA-CARMONA, A., VÁZQUEZ-ALONSO, Á. y MANASSERO-MAS, M. A. (2011). Estado actual y perspectivas de la enseñanza de la naturaleza de la ciencia: Una revisión de las creencias y obstáculos del profesorado. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(3), 403-412.

- GIERE, R. N. (1988). *Explaining Science*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- GOLABEK, C. y AMRANE-COOPER, L. A. (2011). Trainee teachers' perceptions of the Nature of Science and implications for pre-service teacher training in England. *Research in Secondary Teacher Education*, 1(2), 9-13.
- HEMPEL, C. G. (1973). *Filosofía de la ciencia natural*. Madrid: Alianza.
- HODSON, D. (2014). Nature of Science in the Science Curriculum: Origin, Development, Implications and Shifting Emphases. En M. R. Matthews (ed.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 911-970). Dordrecht: Springer.
- HODSON, D. y WONG, S. L. (2014). From the horse's mouth: Why scientists' views are crucial to nature of science understanding. *International Journal of Science Education*, 36(16), 2639-2665.
- HODSON, D. y WONG, S. L. (2017). Going Beyond the Consensus View: Broadening and Enriching the Scope of NOS-Oriented Curricula. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 17(1), 3-17.
- HUANG, T.-Y., WU, H.-L., SHE, H.-C. y LIN, Y.-R. (2014). Enhancing Students' NOS Views and Science Knowledge Using Facebook-based Scientific News. *Educational Technology & Society*, 17(4), 289-301.
- IRZIK, G. y NOLA, R. (2011). A family resemblance approach to the nature of science. *Science & Education*, 20(7-8), 591-607.
- IRZIK, G. y NOLA, R. (2014). New directions for nature of science research. En M. R. Matthews (ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 999-1021). Dordrecht: Springer.
- IRWIN, A. R. (2000). Historical case studies: Teaching the nature of science in context. *Science Education*, 84(1), 5-26.
- JENKINS, E. W. (1990). The history of science in British schools: Retrospect and prospect. *International Journal of Science Education*, 12(3), 274-281.
- JUSTI, R. y MENDONÇA, P. C. C. (2016). Discussion of the Controversy Concerning a Historical Event Among Pre-service Teachers. Contributions to Their Knowledge about Science, Their Argumentative Skills, and Reflections About Their Future Teaching Practices. *Science & Education*, 25(7-8), 795-822.
- KAMPOURAKIS, K. (2016). The "general aspects" conceptualization as a pragmatic and effective means to introducing students to nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(5), 667-682.
- KAMPOURAKIS, K. y GRIPIOTIS, C. (2015). Darwinism in context: An interdisciplinary, highly contextualized course on nature of science. *Perspectives in Science*, 5, 25-35.
- KHISHFE, R. (2014). Explicit Nature of Science and Argumentation Instruction in the Context of Socioscientific Issues: An effect on student learning and transfer. *International Journal of Science Education*, 36(6), 974-1016.
- KOLSTØ, S. D. (2008). Science education for democratic citizenship through the use of the history of science. *Science & Education*, 17(8-9), 977-997.
- KUHN, T. S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México DF: Fondo de Cultura Económica.

- LAKATOS, I. (1987, 2ª edición). *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*. Madrid: Tecnos.
- LATORRE, A. (2003). *La investigación-acción. Conocer y cambiar la práctica educativa*. Barcelona: Graó.
- LATOUR, B. y WOOLGAR, S. (1995). *La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos*. Madrid: Alianza.
- LEDERMAN, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. En S. K. Abell y N. G. Lederman (eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 831-879). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- LEDERMAN, N. G., ABD-EL-KHALICK, F., BELL, R. L. y SCHWARTZ, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Towards valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521.
- LEDERMAN, N. G., ANTINK, A. y BARTOS, S. (2014). Nature of science, scientific inquiry, and socio-scientific issues arising from genetics: A pathway to developing a scientifically literate citizenry. *Science & Education*, 23(2), 285-302.
- LEDERMAN, N. G., BARTOS, S. A. y LEDERMAN, J. S. (2014). The Development, Use, and Interpretation of Nature of Science Assessments. En M. R. Matthews (ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 971-997). Dordrecht: Springer.
- LEDERMAN, N. y LEDERMAN, J. (2012). Nature of Scientific Knowledge and Scientific Inquiry: Building Instructional Capacity through Professional Development. En B. J. Fraser et al. (eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 335-359). Chicago, IL: Springer.
- LEDERMAN, J. S., LEDERMAN, N. G., BARTOS, S. A., BARTELS, S. L., MEYER, A. A. y SCHWARTZ, R. S. (2014). Meaningful assessment of learners' understandings about scientific inquiry – The views about scientific inquiry (VASI) questionnaire. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(1), 65-83.
- LINCOLN, Y. S. y GUBA, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. Beverly Hills, CA: Sage.
- MARTÍNEZ-PULIDO, C. (2000). *También en la cocina de la ciencia. Cinco grandes científicas en el pensamiento biológico del siglo XX*. La Laguna, Tenerife: Universidad de La Laguna.
- MARTINS, A. F. P. (2015). Natureza da Ciência no ensino de ciências: Uma proposta baseada em “temas” e “questões”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 32(3), 703-737.
- MATTHEWS, M. R. (2012). Changing the focus: From nature of science (NOS) to features of science (FOS). En M. S. Khine (ed.), *Advances in Nature of Science Research* (pp. 3-26). Dordrecht: Springer.
- MATTHEWS, M. R. (2015). *Science teaching: The contribution of history and philosophy of science* (20th Anniversary Revised and Expanded Edition). New York, NY: Routledge.
- MATTHEWS, M. R. (2017). Book review – Reconceptualizing the nature of science for science education. *Studies in Science Education*, 53(1), 105-107.
- MCCOMAS, W. F. (2008) Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. *Science & Education*, 17(2-3), 249-263.
- MCCOMAS, W. F. (2013). Uma proposta de classificação para os tipos de aplicação da História da Ciência na formação científica: Implicações para a pesquisa e desenvolvimento. En C. C. Silva y M.

E. B. Prestes (orgs.), *Aprendendo Ciência e sobre sua natureza: Abordagens históricas e filosóficas* (pp. 419-441). São Carlos, Brasil: Tipographia Editora Expressa.

MCCOMAS, W. F., CLOUGH, M. P. y ALMAZROA, H. (1998). The role and character of the nature of science in science education. En W. F. McComas (ed.), *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies* (pp. 3-39). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

MCCOMAS, W. F. y KAMPOURAKIS, K. (2015). Using the History of Biology, Chemistry, Geology, and Physics to illustrate general aspects of Nature of Science. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 9(1), 47-76.

MCCOMAS, W. F. y OLSON, J. K. (1998). The nature of science in international science education standards documents. En W. F. McComas (ed.), *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies* (pp. 41-52). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

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* (pp. 49-91). New York, NY: Cambridge University Press.

MECD (2015). *Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato*. Madrid: Boletín Oficial del Estado de 3 de enero de 2015.

MONK, M. y OSBORNE, J. (1997). Placing the history and philosophy of science on the curriculum: A model for the development of pedagogy. *Science Education*, 81(4), 405-424.

MORENO, A. (2006). Atomismo versus energetismo: Controversia científica a finales del siglo XIX. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(3), 411-428.

NGSS Lead States (2013). *The Next Generation Science Standards: For States, by States*. Washington, DC: National Academy of Sciences Press.

NIAZ, M. (2009). Progressive transitions in chemistry teachers' understanding of nature of science based on historical controversies. *Science & Education*, 18(1), 43-65.

NRC [National Research Council] (1996). *The National Science Education Standards*. Washington, DC: The National Academic Press.

NUMBERS, R. L. y KAMPOURAKIS, K. (eds.) (2015). *Newton's Apple and Other Myths about Science*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

OECD (2016). *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic and Financial Literacy*. Paris: OECD Publishing.

OSBORNE, J., COLLINS, S., RATCLIFFE, M., MILLAR, R. y DUSCHL, R. (2003). What "ideas-about-science" should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692-720.

ÖZCAN, H. (ed.) (2017). *Abstract Book*. IHPST Biennial Conference 2017 (4-7 July). Ankara, Turkey.

PARK, S. y OLIVER, J. S. (2008). Revisiting the conceptualisation of Pedagogical Content Knowledge (PCK): PCK as a conceptual tool to understand teachers as professionals. *Research in Science Education*, 38(3), 261-284.

POSNER, G., STRIKE, K., HEWSON, P. y GERTZOG, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.

- RUDGE, D. W., CASSIDY, D. P., FULFORD, J. M. y HOWE, E. M. (2014). Changes observed in views of nature of science during a historically based unit. *Science & Education*, 23(9), 1879-1909.
- RUDGE, D. W. y HOWE, E. M. (2009). An explicit and reflective approach to the use of History to promote understanding of the nature of Science. *Science & Education*, 18(5), 561-580.
- SADLER, T. D., CHAMBERS, W. F. y ZEIDLER, D. (2004). Student conceptualizations of the nature of science in response to a socioscientific issue. *International Journal of Science Education*, 26(4), 387-409.
- SEALE, C. (1999). *The quality of qualitative research. Introducing qualitative methods series*. London: Sage.
- SHAMOS, M. H. (1995). *The myth of scientific literacy*. New Brunswick, NJ: Rutgers University Press.
- SHIBLEY, I. A. (2003). Using newspapers to examine the nature of science. *Science & Education*, 12(7), 691-702.
- SHULMAN, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- SHULMAN, L. S. (1999). Foreword. En J. Gess-Newsome y N. G. Lederman (eds.), *Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science teaching* (pp. ix-xii). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- SNOW, C. P. (1977). *Las dos culturas y un segundo enfoque: Versión ampliada de las dos culturas y la revolución científica*. Madrid: Alianza.
- STINNER, A., MCMILLAN, B. A., METZ, D., JILEK, J. M. y KLASSEN, S. (2003). The renewal of case studies in science education. *Science & Education*, 12(7), 617-643.
- TYSON, L. M., VENVILLE, G. J., HARRISON, A. G. y TREAGUST, D. F. (1997). A Multidimensional Framework for Interpreting Conceptual Change Events in the Classroom. *Science Education*, 81(4), 387-404.
- VÁZQUEZ, A., ACEVEDO, J. A., MANASSERO, M. A. y ACEVEDO, P. (2001). Cuatro paradigmas básicos sobre la naturaleza de la ciencia. *Argumentos de Razón Técnica*, 4, 135-176.
- VÁZQUEZ, A., GARCÍA-CARMONA, A., MANASSERO, M. A. y BENNÀSSAR, A. (2013). Science teachers' thinking about the nature of science: A new methodological approach to its assessment. *Research in Science Education*, 43(2), 781-808.
- VÁZQUEZ, A. y MANASSERO M. A. (2013). La comprensión de un aspecto de la naturaleza de ciencia y tecnología: Una experiencia innovadora para profesores en formación inicial. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10(Número Extraordinario), 630-648.
- WILLIAMS, C. T. y RUDGE, D. W. (2016). Emphasizing the history of genetics in an explicit and reflective approach to teaching the nature of science. A pilot study. *Science & Education*, 25(3-4), 407-427.
- WONG, S. L. y HODSON, D. (2009). From the horse's mouth: What scientists say about scientific investigation and scientific knowledge. *Science Education*, 93(1), 109-130.
- WONG, S. L. y HODSON, D. (2010). More from the horse's mouth: What scientists say about science as a social practice. *International Journal of Science Education*, 32(11), 1431-1463.



## Sobre los autores

### 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, dos libros, 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 cerca de un centenar de artículos en revistas nacionales e internacionales, varios libros, numerosos capítulos de libros, y ha participado con numerosas comunicaciones en congresos nacionales e internacionales. Sus principales contribuciones se centran en el aprendizaje de la ciencia basado en la indagación, la comprensión y enseñanza de la naturaleza de la ciencia, y el enfoque educativo CTS.

### María del Mar Aragón-Méndez

Licenciada en Ciencias (Sección de Químicas), Doctora en Didáctica de las Ciencias Experimentales, Profesora de Física y Química de Enseñanza Secundaria, con 30 años de experiencia, y Profesora Asociada al Departamento de Didáctica de la Universidad de Cádiz. Además de su dedicación a la formación inicial del Profesorado de Secundaria, ha impartido numerosos cursos de formación continua. Compagina la docencia con la investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales, especialmente en el campo de la modelización, habiendo publicado artículos en revistas y realizado comunicaciones en congresos, nacionales e internacionales. Ha publicado material didáctico para la enseñanza de la Física y Química y para la formación inicial del profesorado.



# Enseñar y aprender sobre naturaleza de la ciencia mediante el análisis de controversias de historia de la ciencia

**iber-ciencia**

Organização  
de Estados  
Ibero-americanos  
  
Para a Educação,  
a Ciência  
e a Cultura



Organización  
de Estados  
Iberoamericanos  
  
Para la Educación,  
la Ciencia  
y la Cultura

