

Universidad Nacional de La Plata



Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación

Trabajo Final de Integración

Especialización en Educación en Ciencias Exactas y Naturales

**Propuesta didáctica para el abordaje de la Naturaleza de la Ciencia en
la formación inicial de futuros docentes de Ciencias Biológicas,
Química y Física**

Autora:

Prof. Natalia Cecilia Arcarí

Directora:

Dra. Teresa Inés Legarralde

Co- Director:

Dr. Alfredo Martín Vilches

2023

RESUMEN

Actualmente son diversos los desafíos planteados para la formación de docentes de ciencia, siendo la enseñanza de la Naturaleza de la Ciencia una de las preocupaciones que ha tomado notoriedad en los últimos tiempos, en tanto es un componente imprescindible de la Alfabetización Científica. En este proyecto se presenta el diseño e implementación de una secuencia didáctica sobre la Naturaleza de la Ciencia, utilizando un enfoque explícito- reflexivo. El diseño de la propuesta se sustentó en la indagación de trabajos de investigación en el área, y se implementó en la formación académica inicial de profesores/as de Ciencias Biológicas, de Física y de Química de la Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación de la Universidad Nacional de La Plata. A lo largo de la implementación de las diferentes actividades se lograron concretar instancias de trabajo individual y colaborativo, que les permitieron a las y los estudiantes elucidar y poner en tensión las propias representaciones individuales sobre la ciencia, su construcción y sobre los estereotipos existentes acerca de quienes se dedican a la actividad científica, resultando enriquecedor el distanciamiento crítico que las y los estudiantes hicieron de sus ideas iniciales y la vinculación sobre la posible influencia de estas ideas en sus futuras propuestas de clase.

Palabras clave: Profesorados de Ciencias Naturales - Formación inicial- Naturaleza de la Ciencia- Actividad científica - Secuencia didáctica.

ABSTRAC

Currently, there are several challenges for the training of science teachers, being the teaching of the Nature of Science one of the concerns that has gained notoriety in recent times, as it is an essential component of Scientific Literacy. This project presents the design and implementation of a didactic sequence on the Nature of Science, using an explicit-reflective approach. The design of the proposal was based on the investigation of research works in the area, and was implemented in the initial academic training of teachers of Biological Sciences, Physics and Chemistry of the Faculty of Humanities and Educational Sciences of the National University of La Plata. Throughout the implementation of the different activities, instances of individual and collaborative work were achieved, which allowed the students to elucidate and put in tension their own

individual representations about science, its construction and the existing stereotypes about those who work in scientific activity, resulting in an enriching critical distancing of the students from their initial ideas and the linking of the possible influence of these ideas in their future class proposals.

Keywords: Natural Sciences Teachers - Initial training - Nature of Science - Scientific activity - Didactic sequence.

*A quienes ven a la docencia como un camino
de oportunidad hacia la democratización del conocimiento
y como la posibilidad de crear un mundo más justo.*

AGRADECIMIENTOS

A Teresa Legarralde y Alfredo Vilches por su orientación, dedicación, motivación y respeto por mis tiempos personales.

A Silvina, Sonia, Silvia, Roberto, Ramón, Sabrina y Analía por ser un grupo de cursada entrañable.

A los y las docentes de la Especialización, por sus innumerables aportes a mi formación académica.

A mis estudiantes, a los que fueron y a los que serán, por todo lo que de ellos y ellas aprendo.

A Leticia Lapasta y Graciela Merino, por la confianza depositada al permitirme ser parte del equipo docente de Didáctica Específica I y prácticas docentes en Ciencias Naturales.

A Florencia Menconi y Jimena Lorenzo, por las charlas que ayudaron a despejar temores y a sembrar nuevas ideas.

A mi hija Emma, un agradecimiento y una disculpa por el tiempo de juego robado.

A Esteban, mi esposo, por su aliento y escucha permanente.

A Cristi (qepd), mi mamá, por enseñarme sobre perseverancia y esfuerzo.

INDICE GENERAL

1. Introducción.....	1
1.1 Ciencia para toda la ciudadanía.....	1
1.2 La Naturaleza de la Ciencia: un conocimiento poliédrico e inherente de la Alfabetización Científica.....	2
1.3 La reflexión sobre la ciencia en la formación inicial de docentes de Ciencias Naturales.....	3
1.4 Fundamentos de la elección del tema.....	4
2. Objetivos.....	5
2.1 Objetivo general de la propuesta.....	5
2.2 Objetivos específicos de la propuesta.....	5
3. Metodología y desarrollo de la experiencia.....	6
3.1 Población destinataria de la propuesta.....	6
3.2 Diseño de la secuencia didáctica.....	6
3.3 Aspectos generales sobre la secuencia de actividades y sobre la recolección de datos durante las clases.....	8
3.4 Implementación y análisis de la secuencia didáctica.....	10
3.4.1 Primera etapa.....	10
3.4.2 Segunda etapa.....	26
3.4.3 Tercera etapa.....	33
3.4.4 Evaluación de la experiencia.....	34
4. Resultados.....	36
5. Conclusiones.....	45
6. Consideraciones finales y posibles horizontes.....	46
7. Referencias bibliográficas.....	47

1. Introducción

1.1 Ciencia para toda la ciudadanía

Es de público conocimiento que durante las últimas dos décadas, organizaciones educativas internacionales como la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y la Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI), han tomado como temas prioritarios de sus agendas a la alfabetización científica y tecnológica, considerándola parte esencial de la educación básica de todas las personas (Acevedo Díaz, 2004). Entre las razones que avalan una educación científica para toda la ciudadanía, se destacan la necesidad de utilizar la información científica para la toma de decisiones relativas a la aplicación de nuevos conocimientos (Declaración de Budapest, 1999), en una sociedad que se encuentra plagada de productos de la indagación científica, así como para la participación en discusiones públicas acerca de asuntos importantes que se relacionan con la ciencia y la tecnología e incluso para compartir la emoción y la realización personal que puede producir la comprensión del mundo natural (Fourez, 1997).

En relación con lo mencionado, Gil Pérez et al., (2005) expresan que la importancia concedida a la alfabetización científica de todas las personas se ha manifestado en el gran número de investigaciones, publicaciones, congresos y encuentros realizados bajo el lema “Ciencia para Todos”, así como en las reformas educativas que han tenido lugar en diversos países, y que contemplan la alfabetización científica y tecnológica como una de sus principales finalidades. Sin embargo, también son igual de vastas las investigaciones que dan cuenta de diversas inquietudes y desafíos en torno a la formación científica en los diferentes niveles de educación, tanto en la apropiación de conocimientos disciplinares (Caamaño e Izaroque, 2009; Carrascosa, 2005; Gonzalez Galli, 2011; Furió y Domínguez, 2007; Legarralde, Gallareta, Vilches, y Menconi, 2014; Sandoval y Mora, 2013) como en el desarrollo de habilidades vinculadas con procesos como la interpretación de información, la generación de hipótesis, así como la argumentación y comunicación de ideas (Aleixandre, Otero, Santamaría y Mauriz, 2009; Barbosa, 2008; De Longhiet al., 2012; Domínguez y Stipcich, 2009; Furió y Domínguez, 2007; Mejía, Abril y Martínez, 2013; Revel Chion y Aduriz Bravo, 2014; Sánchez y Gómez, 2013; Sandoval y Mora, 2013). De estas producciones cobran especial relevancia para este trabajo de especialización aquellas que

proponen la enseñanza de la Naturaleza de la Ciencia como una estrategia para el desarrollo de dichas habilidades, así como un modo de intervención para trabajar sobre las representaciones distorsionadas acerca de la ciencia y de las personas que la hacen posible: las y los científicos/as (Acevedo Díaz, García Carmona y Aragón Mendez, 2018; García Carmona, 2012; Pujalte, Bonan, Porro y Adúriz-Bravo, 2014; Vazquez Alonso y Manassero Mas, 2011, entre otros.)

1.2 La Naturaleza de la Ciencia: un conocimiento poliédrico e inherente de la Alfabetización Científica

La Naturaleza de la Ciencia (en adelante NDC) es considerada un saber de segundo orden, un meta-conocimiento sobre la ciencia que surge de las reflexiones interdisciplinarias hechas desde la Filosofía, la Historia y la Sociología de la Ciencia, por expertos en estas disciplinas, así como por algunos científicos y educadores de ciencias (Acevedo Díaz y García Carmona, 2016). En las últimas décadas se ha robustecido fuertemente como una línea de investigación, dentro del campo de la Didáctica de las Ciencias Naturales partiendo de la premisa de que la alfabetización científica de calidad para todas las personas, plantea la necesidad de que la población no sólo deba saber de ciencia sino saber sobre la ciencia. De acuerdo con Adúriz Bravo (2009), esto implicaría que la ciudadanía en su conjunto, además de adquirir conocimientos científicos, pueda dar cuenta de qué es la ciencia, de qué forma funciona, se desarrolla y cambia en el tiempo, así como el modo en que la ciencia se relaciona con la sociedad y la cultura. A esto se le sumaría el reconocimiento de cuáles son sus fundamentos epistemológicos y ontológicos; los rasgos del trabajo de los/as científicos/as, sus valores como grupo social, así como las influencias mutuas entre ciencia, tecnología y sociedad (Acevedo Díaz, Vázquez Alonso, Manassero Mas y Acevedo Romero, 2007).

La importancia atribuida a la NDC ha sido palpable desde la década del noventa, donde autores como Shamos (1995) han esbozado que la NDC es el componente más importante de la alfabetización científica porque este conocimiento es lo que la gente usa para valorar los asuntos públicos que involucran a la ciencia y la tecnología. En esta misma línea Bybee (1997), en el nivel más alto del modelo continuo que propone para la alfabetización científica, incorporó la comprensión de la NDC, junto a los aspectos históricos y sociales, como elementos distintivos del nivel multidimensional.

Para otros autores (Acevedo, Vázquez, Manassero y Acevedo, 2007; Acevedo y García-Carmona, 2016), la NDC cobra valor en tanto trata de todo aquello que caracteriza a la ciencia como una forma especial de construcción de conocimiento, refiriéndose tanto a los valores propios y contextuales de la ciencia (Acevedo, 1998; Echeverría, 2002; Longino, 1983 y 1990 como se citó en Acevedo Díaz y García Carmona, 2016) como a los supuestos subyacentes al conocimiento científico, que son consecuencia del carácter humano de la propia actividad científica, incluyendo sus limitaciones e influencias de todo tipo (Acevedo, 2006a; Ziman, 2003a y 2003b como se citó en Acevedo Díaz y García Carmona, 2016).

En suma, la NDC puede entenderse como un componente curricular de reflexión crítica (Mc Comas 1998 como se citó en Adúriz Bravo 2005) y son diversas las razones esgrimidas para justificar su presencia explícita en la educación científica: razones utilitarias, en tanto permite dar sentido a la ciencia y posibilita manejarse con los objetos y procesos tecnológicos; razones democráticas, ya que permite tomar decisiones informadas en cuestiones sociocientíficas; razones culturales, considerando que permite apreciar el valor de la ciencia como parte de la cultura contemporánea; razones axiológicas, en tanto colabora con la comprensión de las normas de la comunidad científica que involucran compromisos morales de valor universal para la sociedad (Driver, Leach, Millar y Scott, 1996).

1.3 La reflexión sobre la ciencia en la formación inicial de docentes de Ciencias Naturales

Siguiendo a Lederman (2006 como se citó en Pujalte, Bonan, Porro y Aduriz Bravo, 2014), la investigación en la línea de NDC se ha centrado progresivamente en los siguientes focos de atención: concepciones de las y los estudiantes; curriculum; concepciones de las y los profesores/as; propuestas para la mejora de las concepciones del profesorado; la relativa eficacia de diversas prácticas instruccionales. En relación a estos tres últimos focos de atención, una de las razones que explican el interés por el estudio de las concepciones docentes sobre la NDC estriba en el convencimiento de que dichas concepciones incluyen reduccionismos y deformaciones que podrían obstaculizar la correcta orientación de la enseñanza (Fernández, Gil, Carrascosa, Cachapuz y Praia, 2002). Se señala que necesariamente deben tenerse en cuenta las imágenes o visiones globales acerca de la ciencia que traen consigo los futuros profesores y profesoras, en el sentido de que puedan constituirse

en verdaderos obstáculos a la hora de lograr aprendizajes genuinos de adecuadas nociones acerca de la NDC (Abd-El-Khalick, 2001 como se citó en Pujalte, Bonan, Porro y Aduriz Bravo, 2014).

De acuerdo con lo mencionado anteriormente y en coincidencia con Aduriz Bravo (2005), es posible afirmar que el surgimiento de una nueva componente curricular de carácter metacientífico ha requerido la adecuación de contenidos, estructuras, enfoques así como de recursos didácticos, pero en forma más importante aún, ha derivado en la necesidad de acercar a los futuros/as y actuales profesores/as de Ciencias Naturales al conocimiento y a la enseñanza de unos contenidos que estaban muy poco presentes en la formación docente tradicional. Este mismo autor propone que a falta de una asignatura específica dedicada a esta temática, esto puede ser subsanado introduciendo los contenidos de NDC en el área de Didáctica de las Ciencias, lo que permitiría completar la mirada metacientífica con una mirada centrada en la enseñabilidad de las Ciencias Naturales.

1.4 Fundamentos de la elección del tema

Durante la cursada de los seminarios que constituyen el recorrido académico de esta carrera de postgrado, he tenido la sensación (compartida con varios/as colegas) de que algunas temáticas deberían de haber contado con mayor protagonismo durante nuestra formación inicial de grado, entre ellas las vinculadas a la Naturaleza de la Ciencia. Independientemente del hecho de que la formación de postgrado actualmente es pensada casi como un camino natural en la formación de cualquier profesional, lo que llevaría a especular que en algún momento, ya sea como parte de una carrera de postgrado o en el curso de la formación continua, quienes egresan como profesores y profesoras del área de las Ciencias Naturales tendrán la oportunidad de profundizar diferentes temáticas; lo cierto es que no hay garantías de que la totalidad de quienes egresan como docentes de ciencias transiten por estos caminos de formación, o al menos que lo hagan inmediatamente, perdiéndose así de las potencialidades que brinda la enseñanza de esta área de conocimiento en particular. A sabiendas de que las propias concepciones de los docentes pueden operar como obstáculos en la enseñanza, se acuerda con Ravanal Moreno y Quintanilla Gaticca (2010) cuando expresan que “cualquier innovación educativa debe ser a partir de la formación misma del profesorado de ciencias, o por lo menos tener en cuenta la preparación profesional del docente” (p. 112). Lo expuesto representa una de las motivaciones que resultó el germen para iniciar un camino

de reflexión conducente a observar la necesidad de pensar en el diseño de una secuencia didáctica que, al menos, brindara información respecto al estado vigente del tema en parte de la población actual de estudiantes de los profesorados en Ciencias Biológicas, Química y Física.

Sin embargo, la elección de la Naturaleza de la Ciencia como hilo conductor de esta propuesta, no sólo se basa en mi parecer personal y subjetivo, sino que también encuentra asidero en la existencia de investigaciones que dan cuenta que la enseñanza de la Naturaleza de la ciencia es un aspecto nodal, a la vez que relegado, en las aulas de ciencia de los diferentes niveles educativos (Acevedo Diaz, García Carmona y Aragón Mendez, 2018; García Carmona, 2012; Pujalte, Bonan, Porro y Adúriz-Bravo, 2014; Vazquez Alonso y Manassero Mas, 2011, Wainmaier y Speltini, 2013 entre otros). En este sentido, esta área de vacancia documentada por los autores citados, representó un importante factor que movilizó intereses vinculados a la necesidad de iniciar acciones didácticas en este campo, orientadas al trabajo en el aula universitaria con futuros/as docentes de Ciencias Naturales.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general de la propuesta

Diseñar, implementar y evaluar una propuesta didáctica para el abordaje de la Naturaleza de la Ciencia en el marco de la formación docente inicial de futuros profesores y profesoras de Ciencias Biológicas, Física y Química.

2.2 Objetivos específicos de la propuesta

- Promover instancias de trabajo individual y colaborativo, que permitan elucidar y reflexionar acerca de las propias representaciones individuales sobre la ciencia, su construcción y los estereotipos existentes sobre quienes se dedican a la actividad científica.
- Proponer actividades que permitan profundizar la comprensión de los reduccionismos y visiones distorsionadas sobre la actividad científica.

- Favorecer el discernimiento acerca de la posible influencia de los reduccionismos y visiones distorsionadas en las futuras propuestas de clase de los/as docentes en formación.
- Propiciar instancias de trabajo y diálogo para enriquecer la mirada acerca de la ciencia y su construcción, en vistas a colaborar con el surgimiento de una mirada superadora y realista de la misma.

3. Metodología y desarrollo de la experiencia

3.1 Población destinataria de la propuesta

La presente propuesta se desarrolló en el espacio curricular Didáctica Específica I y Prácticas docentes de Ciencias Naturales. La mencionada asignatura corresponde al cuarto año de los planes de estudio de las carreras de profesorado de Ciencias Biológicas, profesorado de Química y profesorado de Física de la Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación de la Universidad Nacional de La Plata. El grupo de estudiantes que habitualmente cursa la materia es heterogéneo, no sólo porque es un espacio curricular compartido por tres carreras diferentes, sino porque además, al interior de cada carrera convergen estudiantes que han escogido las carreras de profesorado como primer opción y otros que han optado por ellas como segunda carrera; por esta razón, el recorrido académico que poseen los y las estudiantes, incluso al interior de cada profesorado, es diverso. Muchos/as de ellas y ellos provienen de la Facultad de Ciencias Exactas, de la Facultad de Ciencias Médicas, de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo, entre otras unidades académicas de la Universidad de La Plata; pero también existen procedencias de otras universidades nacionales de Argentina. En particular, la cohorte destinataria de esta secuencia didáctica estuvo constituida por un total de once estudiantes; tres de ellos correspondientes al profesorado de Física y ocho al profesorado de Ciencias Biológicas.

3.2 Diseño de la secuencia didáctica

Partiendo de la idea de que no existe una receta canónica sobre cómo elaborar secuencias didácticas de calidad, y que la Didáctica de las Ciencias es una disciplina que se va ajustando con la retroalimentación que brinda la práctica (Fernández y Pujalte, 2019), el

punto de partida para el diseño de la presente propuesta, abordó inicialmente el qué, para qué y cómo enseñar y aprender, aspectos básicos de cualquier propuesta, y consideró el aporte de diversas investigaciones que se utilizaron como sustento del trabajo. En este sentido, se nutrió de aportes clásicos, como puede ser el esquema propuesto por Sánchez Pérez y Valcarcel Blanco (1993), quienes proponen un diseño constituido por cinco tareas: análisis científico, análisis didáctico, selección de objetivos, selección de estrategias didácticas y selección de estrategias de evaluación; también se consideraron los criterios para la toma de decisiones acerca de las unidades didácticas sugeridos por Sanmartí (2000, 2003), entre los cuales se puede mencionar a las pautas para la selección, organización y secuenciación de contenidos, criterios para la selección y organización de actividades, así como para la organización y gestión del aula. Asimismo, fueron sustento del diseño los aportes de Couso (2013); quien destaca que:

“no se pueden construir las nuevas ideas, ni siquiera convenientemente secuenciadas en orden lógico o empírico a no ser que partamos de lo que los alumnos saben (constructivismo), compartamos con ellos lo que se quiere saber (metacognición), progresemos en complejidad de forma contextualizada (aprendizaje situado) y consigamos un cierto nivel de abstracción antes de la aplicación (transferencia)” (Couso, 2013, p. 21).

El enfoque didáctico seleccionado para la presente propuesta fue explícito- reflexivo. En este sentido, los enfoques didácticos utilizados en la enseñanza de la Naturaleza de la Ciencia, pueden clasificarse en implícitos y explícitos (Acevedo Díaz, 2009); diferenciándose estos últimos, de los primeros, por orientar concretamente la enseñanza de diversos aspectos de la Naturaleza de la Ciencia (valiéndose de la Historia de la Ciencia y en ocasiones también de la Filosofía de la Ciencia). Los enfoques implícitos no consideran la enseñanza de la Naturaleza de la Ciencia de manera deliberada, sino más bien como una especie de efecto secundario de propuestas que se centran en otras temáticas; en cambio los explícitos si lo hacen. Este mismo autor realiza un análisis de bibliografía especializada en el tema, particularmente de las investigaciones que se han ocupado de estudiar la eficacia de estos enfoques en la comprensión de la Naturaleza de la Ciencia por parte de estudiantes y profesores, concluyendo que los enfoques explícitos, particularmente los reflexivos, presentan ventajas notorias respecto a los implícitos, en la medida en que posibilitan una comprensión más adecuada de la Naturaleza de la Ciencia. En este sentido, Deng, Chen, Tsai y Chai (2011) (como se citó en Vazquez Alonso y Manassero 2018), manifiestan que en la enseñanza

innovadora de la Naturaleza de la Ciencia, dos condiciones son clave para la eficacia: i) el carácter explícito de la enseñanza, opuesto a implícito o indirecto, con tratamiento intencional y planificado por el docente, de los contenidos de la Naturaleza de la Ciencia, y ii) la realización por parte de los estudiantes, de actividades de auto-reflexión (metacognitivas) que proyecten demandas cognitivas, como la argumentación y el pensamiento crítico. Bajo estas consideraciones el diseño de la secuencia didáctica contempló una propuesta de actividades que permitieran la explicitación de creencias acerca de la Naturaleza de la Ciencia, la participación en debates y que ofrecieran diversidad de momentos metacognitivos por parte de las y los estudiantes de las carreras de profesorado mencionadas.

3.3 Aspectos generales sobre la secuencia de actividades y sobre la recolección de datos durante las clases

Tomando como base el marco teórico y los principios didácticos presentados, se diseñó una secuencia que se organizó en tres etapas de trabajo (Tabla 1); las mismas incluyeron actividades, desarrolladas durante cuatro clases presenciales de dos horas de duración cada una, así como dos actividades domiciliarias o no presenciales. La secuencia se implementó en el marco del programa de la asignatura Didáctica Específica I y prácticas docentes en Ciencias Naturales durante el ciclo lectivo 2019. En cada uno de los encuentros se combinaron: i) actividades individuales, que permitieron recabar información sobre saberes e ideas de los estudiantes sobre el tema; ii) actividades grupales que posibilitaron la socialización y enriquecimiento de las ideas iniciales y iii) momentos de plenario en los que se formalizaron ideas y se compartieron reflexiones.

Tabla 1. Descripción de la secuencia de actividades para la recolección de la información. La intensidad de los tonos de grises reflejan las etapas del trabajo.

	Tipo de actividad	Foco temático	Momentos de trabajo
Primera etapa	Clase presencial N° 1	Representaciones sobre la Ciencia y sobre quienes producen conocimiento científico.	3 momentos
	Clase presencial N° 2	Representaciones sobre la producción del conocimiento científico.	2 momentos
	Clase presencial N° 3	Aportes de la Historia de la Ciencia para pensar la producción científica.	2 momentos
Segunda etapa	Trabajo domiciliario N°1	Construcción de una visión de Ciencia Humanizada. Intervención en <i>muro virtual colaborativo</i>	
	Clase presencial N° 4	Socialización y análisis de las intervenciones del <i>muro virtual colaborativo</i>	2 momentos
Tercera etapa	Trabajo domiciliario N°2	Síntesis y análisis de recursos didácticos audiovisuales y gráficos.	
	Análisis de la actividad de síntesis y devolución.		

Recolección de datos

Durante la implementación de la secuencia, la técnica de registro predominante fue la observación participante, siendo esta una herramienta de recogida, análisis de las interacciones del grupo objeto de estudio e interpretación de información (Marradi, Archenti y Piovani, 2010). Se utilizaron como instrumento las notas de campo, entendiendo a estas como un elemento analítico cuyo registro se realiza en términos descriptivos, captando la perspectiva interna, es decir, se registran los datos como fueron percibidos (Marradi et al., 2010). Las notas de campo se complementaron con notas personales que incluyeron interpretaciones, así como posibles áreas de indagación y que posteriormente facilitaron la

reconstrucción de las situaciones observadas. Asimismo, se utilizaron registros fotográficos de las producciones que las y los estudiantes realizaron en clase.

3.4 Implementación y análisis de la secuencia didáctica

A continuación, se describirá cada una de las etapas de implementación de la secuencia didáctica. En este punto es importante reforzar que la elección de recursos y estrategias utilizadas se basan en diversas investigaciones didácticas sobre el tema, por lo que se considera necesario justificar en cada una de las clases las elecciones realizadas. En líneas generales para describir lo acontecido durante la implementación de la secuencia, se proveerá de la siguiente información: i) las consignas de las actividades y los argumentos teóricos que sustentan las mismas; ii) el modo en que fueron gestionados los momentos de trabajo, así como las ideas que circularon durante el desarrollo de los mismos; iii) análisis de lo acontecido en cada una de las clases.

3.4.1 Primera etapa

Clase presencial N°1

El objetivo principal de esta clase fue elucidar las representaciones que se poseen acerca de la ciencia y sobre quienes producen conocimiento científico. Para cumplir con este objetivo se propusieron tres momentos de trabajo: un primer momento de trabajo individual y dos de trabajo colaborativo. Se considera que ambas modalidades se complementan y ofrecen condiciones esenciales para lograr aprendizajes significativos. El período de trabajo individual tuvo el propósito de que cada estudiante pusiera en juego sus representaciones y los saberes disponibles que cada quien trae consigo. Por su parte, las instancias de trabajo colaborativo en el aula se emplearon con el fin de potenciar los aprendizajes, tomando como base las contribuciones de la psicología social, específicamente los aportes de Vygostky, en cuya línea de pensamiento se hace referencia a la Zona de Desarrollo Próximo (ZDP), destacándose los beneficios cognitivos y afectivos que conlleva el trabajo que desempeña una persona con otros en favor de un aprendizaje determinado (Vygotsky 1979).

Descripción de los momentos de trabajo

Primer momento

Para este primer momento de trabajo, se seleccionó una actividad inspirada en el estado del arte o estado actual del conocimiento basado en distintas investigaciones acerca de las

imágenes de ciencia y científico con foco en la naturaleza de la ciencia realizado por Pujalte, Bonan, Porro y Adúriz-Bravo (2014).

Se le solicitó al grupo de estudiantes que, de manera individual, realizaran una ficha de presentación de alguien que, a su criterio, se dedica a la actividad científica. La ficha de presentación de ese “alguien” dedicado/a la actividad científica debía contener la siguiente información: nombre, edad aproximada, disciplina a la que se dedica, características físicas y vestimenta habitual, características vinculadas a su carácter/temperamento/formas de ser o actuar. Además, debía estar acompañada de la descripción de una situación cotidiana en la que ese personaje o persona se viera involucrado/a.

En el enunciado de la actividad, se utilizó de manera intencional el pronombre indefinido “alguien” para evitar sesgos, ese “alguien” podría ser una persona real o un personaje (animado o no) de película, serie, dibujos animados, etc. También se propuso la opción de realizar una creación original, es decir, en caso de no contar con ningún ejemplo que les resultara satisfactorio, tenían la posibilidad de inventar un personaje y caracterizarlo.

Segundo momento

Una vez que el grupo de estudiantes culminó con la actividad individual, se propuso que formaran duplas de trabajo para realizar una primera socialización de sus producciones. Se propuso que cada integrante comparta con su pareja de trabajo la ficha confeccionada; luego se les preguntó si después de dicha socialización se sentían motivados/as a realizar cambios en la ficha del personaje seleccionado o creado y, en tal caso, debían indicar cuáles eran esos cambios y explicitar las razones.

Tercer momento

Considerando que la caracterización sobre personas que hacen ciencia contenidas en las fichas, son un epifenómeno de una imagen particular de ciencia (Adúriz Bravo, 2008), en el tercer momento de trabajo se propuso analizar la definición de ciencia brindada por la Real Academia Española (RAE, 2019) “Conjunto de conocimientos obtenidos mediante la observación y el razonamiento, sistemáticamente estructurados y de los que se deducen principios y leyes generales con capacidad predictiva y comprobables experimentalmente”.

Inicialmente se propuso su lectura y análisis; luego se solicitó que expresaran si estaban de acuerdo con ella o si modificarían algo de dicha definición. En caso de considerar necesario realizar alguna modificación debían especificar cuál sería la modificación y argumentar esa decisión.

3.4.1.1.1 Gestión de las actividades

La instancia de trabajo individual (primer momento) y la socialización en duplas (segundo momento) se organizaron consecutivamente. Durante estas dos instancias, la intervención docente se destinó a organizar el tiempo de trabajo, a responder dudas sobre las consignas y recorrer los grupos de trabajo registrando los comentarios que hacían las duplas durante la socialización de sus producciones.

Finalizado el segundo momento de trabajo, se realizó una primera socialización de las fichas elaboradas y de los intercambios surgidos al interior de las duplas, en forma plenaria. Concluida esta primera socialización de ideas, se brindó un espacio para realizar la tercera actividad (tercer momento) y posteriormente tuvo lugar una segunda socialización de ideas.

Socialización de las producciones del primer y segundo momento de trabajo

Fichas de presentación

Como se especificó anteriormente, en el enunciado de la primera actividad, se utilizó de manera intencional el pronombre indefinido “alguien” para evitar cualquier tipo de sesgo. Se aclaró además que ese “alguien” podría ser una persona real o un personaje (animado o no) de película, serie, dibujos animados, etc. También se propuso la opción de realizar una creación original. El propósito de la consigna fue otorgar las alternativas suficientes como para que cada estudiante pudiera elegir la opción que le resultara más pertinente de acuerdo a sus representaciones sobre quienes se dedican a la actividad científica. Considerando que la consigna habilitaba la opción de inventar un personaje y caracterizarlo, en caso de no encontrar un personaje que les resultara satisfactorio, inicialmente se manejó la hipótesis de que varios de los y las estudiantes se inclinarían por esta alternativa, motivados principalmente por cuestiones de género.

De la socialización de las producciones surgió que: tres estudiantes (número 1, 5 y 11, Tabla 2) optaron por crear a su propio personaje, una estudiante eligió a una persona real y el resto del grupo seleccionó como protagonistas de sus fichas a diferentes personajes de

ficción, tales como: Emmet Brown (de la película *Volver al Futuro*); Rick Sánchez (de la serie animada *Rick and Morty*); James Isaac Neutrón (de la serie animada *Jimmy Neutrón*); Walter White (de la serie de televisión *Breaking Bad*); Egon Spengler (de la serie cinematográfica: *Los cazafantasmas*).

Al comienzo de la socialización de las producciones, los estudiantes 7 y 9, que seleccionaron como protagonistas de sus fichas y relatos a alguno de los personajes de ficción antes mencionados, y que habían conformado duplas de trabajo con las estudiantes número 1 y 5, quienes optaron por crear sus propios personajes, expresaron no estar conformes con el modo en que resolvieron la actividad. Estas alumnas manifestaron que una sensación de inconformidad o incomodidad se generó desde que realizaron la elección del personaje, como si intuyeran que no era una elección apropiada; dicha sensación se acrecentó durante el momento de trabajos en duplas, al conocer las producciones de sus compañeras. A raíz de estos comentarios, se les consultó el motivo por el cual, ante esa inconformidad, no habían optado por la alternativa de crear un personaje, a lo que respondieron que no se les ocurrió cómo caracterizar a quienes se dedican a la actividad científica “sin caer en el estereotipo” de “científico loco” o “científico super genio”. A partir de estos intercambios, se les consultó al resto de quienes habían optado por los personajes de ficción, si compartían esta sensación de “inconformidad”, algunos respondieron no haber reparado en estas cuestiones y otros expresaron que utilizaron el relato para adjudicarles a estos personajes, “características más reales”.

En dos de las tres producciones en las que las y los estudiantes optaron por la alternativa de crear su propio personaje y también en el caso en el cual la producción se basó en una persona real, se identificaron los siguientes aspectos: las protagonistas de las fichas fueron mujeres de entre 25 y 40 años, dos de ellas se desempeñaban como científicas en el área de Ciencias Naturales y la restante en el área de Ciencias Sociales. La tercera ficha, tuvo como protagonista a un personaje original, pero con características muy similares a los personajes de ficción antes mencionados. Durante la socialización, se les consultó el motivo por el que optaron por la alternativa de crear un personaje; las estudiantes 1 y 5 coincidieron en que se embarcaron en dicha tarea por no encontrar un ejemplo, real o ficticio, que representara sus ideas sobre quienes se dedican a la actividad científica, particularmente no contaban con ejemplos reales ni de ficción de científicas mujeres; además expresaron que la tarea les había

resultado compleja. Por su parte, la estudiante que basó su producción en una persona real, señaló que se trataba de una amiga, de manera que conocía en profundidad cuestiones de su personalidad, así como aspectos de su trabajo, por lo que la actividad le resultó sencilla. El cuarto estudiante, afirmó haber optado por crear un personaje a modo de ejercicio creativo.

Relatos de situaciones cotidianas

Como se mencionó con anterioridad, las fichas de caracterización fueron acompañadas de la descripción de una situación cotidiana en la que el personaje o persona estuviera involucrado/a. Los aspectos clave de los relatos se destacan en la Tabla 2.

Tabla 2. Elección de personajes y aspectos relevantes de los relatos realizados por las y los estudiantes que participaron en el trabajo.

	Elección de personaje/persona	Aspectos relevantes del relato
Estudiante 1	Creación de personaje mujer	<p>-Contexto de trabajo/actividad cotidiana No se precisa con exactitud pero si hace referencia a que el personaje <i>“debate con su equipo de trabajo”</i>.</p> <p>- Características personales, formas de ser o actuar. <i>“Curiosa”, “revoltosa”, “rechazo por el contacto físico”, “viste con ropa suelta, cómoda” “usa un piercing en la nariz”</i></p> <p>- Contexto extralaboral/ocio <i>“ practica boxeo”, “le gusta salir de fiesta”, “activista ecológica”</i></p>
Estudiante 2	Elección de personaje de ficción hombre	<p>-Contexto de trabajo/actividad cotidiana Laboratorio y lugares donde se cometió algún crimen. Tiene una compañera de trabajo.</p> <p>- Características personales, formas de ser o actuar. <i>“pelo blanco y corto, “usa anteojos”, “tranquilo”, “serio”, “inteligente”, “disfruta de sus momentos a solas”, “habla de manera coherente y lógica” “antisocial, no tiene amigos por fuera del laboratorio”.</i></p> <p>- Contexto extralaboral/ocio No se menciona.</p>

Estudiante 3	Elección de personaje de ficción hombre	<p>-Contexto de trabajo/actividad cotidiana Laboratorio, <i>“trabajando en un experimento éticamente cuestionable”</i></p> <p>- Características personales, formas de ser o actuar. <i>“pelo blanco alborotado”, “egocéntrico”, “tiene honestidad brutal”, “divertido”, “capacidad para usar la información disponible a su favor”, “nihilista”, “apasionado por lo que hace”.</i></p> <p>- Contexto extralaboral/ocio No se menciona.</p>
Estudiante 4	Elección de personaje de ficción hombre	<p>-Contexto de trabajo/actividad cotidiana Laboratorio, se lo describe <i>“haciendo inventos”.</i></p> <p>-Características personales, formas de ser o actuar. <i>“pelo blanco y alborotado”, “ansioso”, “paranoico”, “disciplinado”, “apasionado por su trabajo”, “amable”</i></p> <p>- Contexto extralaboral/ocio Lee libros de Julio Verne, planea aventuras, pasa tiempo con su familia.</p>
Estudiante 5	Creación de personaje mujer	<p>-Contexto de trabajo/actividad cotidiana Se menciona que trabaja en un laboratorio <i>“compartiendo ideas con un colega”</i> y se hace referencia a que también da clases, especificando que <i>“mantiene una postura tradicional en el aula”.</i></p> <p>-Características personales, formas de ser o actuar. <i>“Delgada”, “cabello largo”, “poco empática”, “responde a intereses propios”.</i></p> <p>- Contexto extralaboral/ocio No se mencionan.</p>
Estudiante 6	Elección de personaje de ficción hombre	<p>-Contexto de trabajo/actividad cotidiana Se menciona que trabaja en un laboratorio <i>“compartiendo ideas con un colega”</i> y se hace referencia a que también da clases, especificando que <i>“mantiene una postura tradicional en el aula”.</i></p> <p>-Características personales, formas de ser o actuar. <i>“Impulsivo”, “soberbio”, “poco empática”, “responde a intereses propios”.</i></p> <p>- Contexto extralaboral/ocio No se mencionan.</p>

Estudiante 7	Elección de personaje de ficción hombre	<p>-Contexto de trabajo/actividad cotidiana Laboratorio.</p> <p>-Características personales, formas de ser o actuar. “egoísta”, “impulsivo”, “soberbio”, “ambicioso”, cínico”, “pedante”, “caprichoso”,</p> <p>- Contexto extralaboral/ocio No se mencionan.</p>
Estudiante 8	Elección de personaje de ficción hombre	<p>-Contexto de trabajo/actividad cotidiana “Inventando cosas para usar en la vida diaria”</p> <p>-Características personales, formas de ser o actuar. “inteligente”, “bueno”, “alegre”, “estudioso”</p> <p>- Contexto extralaboral/ocio No se mencionan.</p>
Estudiante 9	Elección de personaje de ficción hombre	<p>-Contexto de trabajo/actividad cotidiana “Profesor de química frustrado”</p> <p>-Características personales, formas de ser o actuar. “serio”, “super inteligente”, “agobiado”,</p> <p>-Contexto extralaboral/ocio Se menciona que tiene familia y que le gusta tocar la guitarra,</p>
Estudiante 10	Elección de persona real mujer	<p>-Contexto de trabajo/actividad cotidiana Se describe un trabajo en el hogar tipo “home office”, con fuerte presencia del uso de computadoras y programas vinculados a la producción de simulaciones de Física.</p> <p>-Características personales, formas de ser o actuar. “introvertida”, “perseverante”, “con mucho sentido del humor”, “ansiosa”, “impuntual”</p> <p>- Contexto extralaboral/ocio Anda en bicicleta le gusta el cine y la música.</p>
Estudiante 11	Creación de personaje hombre	<p>Contexto de trabajo/actividad cotidiana Se menciona que trabaja en un laboratorio y que también dicta clases: “se quitará su guardapolvo de científico pero se pondrá el otro guardapolvo, el de educador en ciencia”</p> <p>-Características personales, formas de ser o actuar. “De vestir sencillo”, “muy querido por sus estudiantes”</p> <p>- Contexto extralaboral/ocio Se menciona una salida con amigos.</p>

3.4.1.1.2 Análisis de las producciones e ideas que circularon en el aula durante los tres momentos de trabajo

A partir del análisis de las producciones y de las ideas que circularon en la socialización de las mismas, se detectó en la mayoría de las y los estudiantes, ideas similares a las halladas en una amplia diversidad de indagaciones realizadas en el campo de la Didáctica de las Ciencias Naturales, consideradas en la investigación de Pujalte, Bonan, Porro y Aduriz Bravo (2014), donde la imagen de las personas que se dedican a la actividad científica se encuentra muy ligada al género masculino, de mediana o avanzada edad, realizando actividades en el contexto de un laboratorio. Estos resultados reafirman la fuerte impronta del estereotipo de científico en el imaginario colectivo a la que estos mismos autores refieren cuando expresan que es una imagen distorsionada que trasciende fronteras, etnias, edades y niveles educativos.

Resulta curioso la ausencia de personajes históricos dedicados/as a la actividad científica y reconocidos, como Albert Einstein o Maria Salomea Skłodowska-Curie. Por otra parte es interesante focalizar las limitaciones que manifestaron tener algunos de los estudiantes para realizar una propuesta que no “cayera en el estereotipo”, es decir que, aún siendo plenamente conscientes de que la elección del personaje de ficción encarnaba el “estereotipo de científico” en contraposición a caracterizaciones “más reales” sobre quienes se dedican a la actividad científica, recurrieron a ellos por no contar con ideas consistentes que les permitiera realizar una propuesta diferente. Esto podría ser un indicador de la potencia que tienen las imágenes simplistas sobre la ciencia y los científicos difundidas por diversas fuentes, tales como los dibujos animados, el cine, comics y revistas.

Como se evidencia en la Tabla 2, el contexto laboral predominante en los relatos fue el laboratorio, mencionado por la mayoría de quienes optaron por un personaje de ficción y la mitad de quienes optaron por la creación de un personaje. Los intentos por caracterizar de modo más realista a los personajes, intención que fue expresada por algunos/as de las y los estudiantes en el comienzo de la socialización de la actividad, no se vieron reflejadas en la caracterización de los personajes, sino en la descripción de la cotidianidad de los mismos; en este sentido, se identificaron cinco relatos en los que se referenció una vida social o familiar, así como hobbies y actividades extralaborales.

Concluido el tercer momento de trabajo, en el cual se solicitó que analizaran la definición de ciencia que propone la RAE (RAE, 2019) y que luego argumentaran si

acordaban o no con dicha definición, surgió que la totalidad del grupo de estudiantes se manifestó en desacuerdo, por considerar que ciertos aspectos de la misma, tales como que la ciencia es un “conjunto de conocimientos obtenidos mediante la observación”, o que a partir de dichos conocimientos “se deducen principios y leyes generales con capacidad predictiva y comprobables experimentalmente”; además expresaron que en dicha definición se excluye a las Ciencias Sociales en cuya metodología no siempre se incluyen mediciones o experimentación. Las ideas que circularon en ese momento, permitieron recuperar el hecho de que en la primera actividad sólo una estudiante referenció a una científica del ámbito de las Ciencias Sociales, es decir, ellas y ellos mismas/os excluyeron a científicos y científicas del área de las Ciencias Sociales. El intercambio de ideas a lo largo de la socialización, permitió que el grupo pudiera explicitar sus propias ideas, creencias y rasgos estereotípicos sobre quienes se dedican a la actividad científica, tanto aquellos vinculados a los modos de ser y actuar, como también los que se vinculan con las áreas disciplinares con las que relacionan la actividad científica. Esto permitió que surgiera la pregunta sobre si, más allá de los estereotipos, los personajes seleccionados serían científicos o más bien tecnólogos o inventores. Esta situación suscitó en el grupo interrogantes más generales, tales como ¿qué es la ciencia? y ¿cómo se construye?.

3.4.1.2 Segunda clase

La segunda clase tuvo por objetivo revisar las características atribuidas al proceso de producción científica y complejizar las representaciones acerca de la producción de conocimiento científico. Para ello se propuso dos momentos de trabajo, uno individual y otro colaborativo.

Primer momento

Como se mencionó el momento de trabajo individual tuvo como propósito que cada estudiante tenga la oportunidad de poner en juego sus representaciones y los saberes disponibles sobre el tema. Esta actividad se tituló “Una imagen vale más que mil palabras” y para su diseño se tomó como referencia a Díaz Barriga (2013) quien propone que las situaciones de enseñanza deben permitir desarrollar un aprendizaje significativo, es decir, deben ser situaciones de aprendizaje que les permitan a las y los estudiantes poner en juego

sus saberes y experiencias previas, y que les demanden establecer vínculos con problemáticas y contextos reales. Para ello se propuso la siguiente consigna de trabajo:

Actividad: Una imagen vale más que mil palabras

Imagina que sos parte de un grupo de diez docentes seleccionados por la editorial Aprender Ciencias, para colaborar en la elaboración de un capítulo de un libro de Ciencias Naturales destinado a estudiantes de primer año de la Educación Secundaria Básica. El tema central del capítulo es la producción del conocimiento científico.

Una de los requisitos para la elaboración del capítulo es que el mismo presente un diagrama o red conceptual, que permita sintetizar cómo se produce conocimiento científico en el área de las Ciencias Naturales. ¿Cómo lo harías? Dibújalo a continuación.

Segundo momento

Culminada la instancia de trabajo individual, se solicitó al grupo general de estudiantes que se organizaran en grupos pequeños de tres integrantes para socializar las producciones individuales, con la intención de que pudieran registrar por escrito las similitudes y diferencias detectadas entre ellas.

En segunda instancia, se les propuso a los grupos que realizaran la lectura y análisis del relato autobiográfico “*Un joven científico y su doctorado sobre la problemática del dengue*” (Anexo 1) de Garelli, Cordero y Dumrauf (2015). El uso de narrativas en el ámbito de la enseñanza de las Ciencias Naturales, es ampliamente sugerido desde la Didáctica de las Ciencias Naturales (Aduriz Bravo y Revel Chión, 2016) ya que se ha identificado como un modo para que las y los estudiantes puedan hilvanar ideas y se sientan interpelados, como una oportunidad para revisar las ideas previas (Lieberman, 2016). El relato se basó en una investigación real sobre la problemática del Dengue, donde se describe el proceso de estudio de una estrategia de control del mosquito *Aedes aegypti* (principal vector del virus de la enfermedad) en la ciudad de Clorinda (Formosa, Argentina); los autores expresan que su escritura tuvo el objetivo de realizar una aproximación a la ciencia auténtica, ya que en el mismo se incluyen preguntas de investigación, objetivos, fuentes de información, procesos de elaboración de hipótesis y diseños experimentales, descripción de salidas de campo, procesos de análisis de datos, de escritura y publicación de artículos científicos y propuestas de nuevas estrategias para la superación de la problemática de origen. También permite visibilizar la

participación de diversos actores sociales en diferentes esferas de acción y contempla aspectos tales como: momento y contexto de formulación del proyecto, marco institucional de la investigación y mecanismos de inserción, conformación de grupos de trabajo y sus relaciones internas, "modas" editoriales y posible impacto social de los resultados de la investigación.

Concluida la lectura, las y los integrantes de los grupos debieron decidir si harían cambios en sus diagramas o redes conceptuales, explicitándolos en forma escrita y argumentando sobre las decisiones tomadas.

3.4.1.2.1 Socialización y análisis de las producciones de la segunda clase

Durante la puesta en común de los diagramas y redes conceptuales elaboradas de manera individual, se identificó en todos los casos una tendencia muy marcada a representar la producción de conocimiento científico como una secuencia de etapas definidas entre las cuales la "observación", la "generación de hipótesis" y la "experimentación" cobraron un papel destacado. Estas representaciones iniciales son coherentes con los hallazgos de las investigaciones a las que refieren Fernández, Gil Pérez, Valdés y Vilches (2005) que han demostrado sistemáticamente como se vincula la construcción de los conocimientos científicos con la implementación de un método universal y preciso: el método científico, lo que indefectiblemente contribuye con la generación de una visión empobrecida e ingenua de ciencia, concebida como aproblemática, empiroinductivista, rígida y algorítmica. Asimismo, en las producciones fue posible reconocer ideas subyacentes como las identificadas por García-Carmona; Vázquez Alonso y Manassero (2011) en las cuales la generación de conocimiento científico se limita a la aplicación del método, a registrar hechos que hablan por sí mismos sin apelar a la creatividad o la imaginación.

Sin embargo, es de destacar que en dos de las producciones se identificaron rasgos vinculados con concepciones más realistas sobre los modos de construcción de la ciencia, como lo es el trabajo colectivo entre científicos/as y la comunicación de hallazgos y resultados; en este sentido, se mencionó la realización de "publicaciones" y "la comunicación a la sociedad por diversos medios".

En la segunda instancia de trabajo en la cual se debía evaluar la necesidad de introducir modificaciones en las redes y diagramas, luego de la lectura de un relato autobiográfico de la investigación sobre Dengue y el intercambio en pequeños grupos, surgió que la totalidad de

las y los estudiantes optaron por realizar cambios y complejizar sus producciones iniciales. Las modificaciones más predominantes incluyeron: la mención de instituciones estatales relacionadas directamente con la investigación como por ejemplo el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y las Universidades Nacionales, el financiamiento y los subsidios, la escritura de artículos científicos como parte del proceso de investigación, el impacto social del trabajo científico, los factores económicos y políticos que influyen en la toma de decisiones, los intercambios entre la comunidad científica y la colaboración interinstitucional. En todos los casos, el relato fue valorado positivamente por las y los estudiantes, ya que les permitió “ver la cocina” de la producción del conocimiento científico de un modo “más tangible”. Asimismo son de destacar los intercambios que se suscitaron en torno al origen de las propias representaciones acerca de la construcción del conocimiento científico, muchas veces reforzadas en sus propias trayectorias académicas, ya sea por acción u omisión, y las reflexiones acerca del posible impacto que éstas tendrán en sus futuras propuestas de enseñanza.

3.4.1.3 Tercera clase

Con la intención de continuar profundizando aspectos vinculados con la producción científica, y tomando en consideración los contextos planteados por García Carmona, Vázquez y Manassero (2012) para la enseñanza de la NDC, para esta clase se optó como estrategia, por la enseñanza de la NDC mediante el uso de la historia de la ciencia (HDC). En este sentido el objetivo específico de esta clase fue identificar a partir de la Historia de la Ciencia, los aspectos sociales, políticos e históricos involucrados en el contexto de la producción científica.

Respecto de dicha estrategia, Acevedo y García Carmona (2016) indican que las narraciones de HDC proporcionan un contexto apropiado que permite abordar de manera explícita y reflexiva aspectos de NDC tales como la naturaleza de las investigaciones científicas, los razonamientos de los científicos, las características del conocimiento científico producido y diversos aspectos contextuales de sociología de la ciencia. Asimismo, estos mismos autores destacan otras de las potencialidades didácticas como la posibilidad de situar el contenido de la ciencia en un contexto humano, social y cultural más amplio.

Durante esta clase los y las estudiantes se organizaron en cuatro grupos pequeños y se establecieron dos momentos de trabajo; en el primero de ellos se propuso la lectura de una narración histórica de la investigación de Semmelweis sobre la fiebre puerperal (Anexo 2), desarrollada en la propuesta de Aragón Mendez, García Carmona y Acevedo Díaz (2016), con la intencionalidad de que a partir de la lectura, los grupos de trabajo se centraran en la identificación de: aspectos epistémicos, entendiendo a éstos como aquellos aspectos que refieren a los productos y procesos de la ciencia, así como los no epistémicos, es decir aquellos vinculados con creencias personales-ideológicas, políticas, religiosas-rivalidades, emociones, rasgos de la personalidad, presiones institucionales de quienes participan de la producción científica (Acevedo Díaz y García Carmona, 2016). Posteriormente a partir de los aspectos epistémicos y no epistémicos identificados por los grupos, se solicitó que seleccionaran aquellos que les permitieran ampliar o enriquecer las redes producidas durante la segunda clase y que los integraran a las mismas. Para concluir, se realizó la puesta en común de los aspectos reconocidos durante la lectura y de las reformulaciones de las redes realizadas por cada grupo.

3.4.1.3.1 Análisis de lo acontecido en la tercera clase

La lectura propició la identificación de aspectos epistémicos y no epistémicos, algunos de los cuales resultaron novedosos ya que no habían sido visualizados en clases anteriores. Con respecto a los aspectos epistémicos se registró que la totalidad de los grupos identificó aspectos metodológicos, tales como la realización de observaciones, la formulación de interrogantes, la formulación de hipótesis y el análisis de datos. A esto se suma que tres de los cuatro grupos identificaron la inferencia como parte del proceso científico. La inferencia fue un aspecto epistémico que no había surgido previamente y esto posibilitó que durante la puesta en común la docente hiciera moderaciones que posibilitaron establecer con claridad diferencias entre observar e inferir; resultó favorecedor preguntar si ¿todos los médicos observan e infierenlo mismo?, ya que los grupos comenzaron a ejemplificar a partir de la re-lectura en voz alta de fragmentos del texto. Estos intercambios colaboraron en la comprensión al por parte del grupo que no había identificado a las inferencias como un aspecto relevante y a su vez facilitó que una de las estudiantes de ese equipo compartiera la siguiente idea: “es como si el mismo hecho se observara de manera distinta, como si estuvieran condicionados por lo que piensan”; a partir de esta intervención resultó propicio presentar someramente la

noción de “carga teórica de la observación” (Hanson, 1977), según la cual quien observa es influenciado por sus saberes y experiencias previas. Así, se dialogó sobre la imposibilidad de ver el mundo tal cual es, ya que entre el mundo y nosotros no se da la captación inmediata sino que lo que media entre el sujeto y la realidad es el propio cuerpo, el lenguaje, el conocimiento previo, etc.

En relación con las observaciones referenciadas en el relato, surgió que uno de los cuatro grupos estableció una diferenciación entre “tipos de observaciones”, proponiendo como “observaciones principales” a las representadas por aquellas que motorizaron a Semmelweis en la formulación de las preguntas que corolaron en el inicio de la investigación; por otra parte estarían las observaciones “secundarias o paralelas”, representadas por las observaciones que se dieron mientras la investigación estaba en curso. La totalidad de los grupos reconoció el análisis de datos como un aspecto epistémico.

En lo que se refiere a los aspectos no epistémicos, la totalidad del grupo reconoció que los aspectos subjetivos, valóricos y contextuales tienen un rol importante en la producción del conocimiento científico. Tres de los cuatro grupos señalaron aspectos no-epistémicos de orden psicológico, como la personalidad de Semmelweis, al que se describió como conflictivo, autoritario y con dificultades para comunicar sus ideas. Sólo uno de los cuatro grupos identificó a las cuestiones políticas como un aspecto contextual importante, por lo que se consideró necesario ampliar el debate hacia ese aspecto, haciendo referencia a las tendencias separatistas del Imperio Austro-Húngaro, propias del contexto histórico en el que Semmelweis vivió y que se encontraban detalladas en el texto propuesto.

A lo largo de toda la clase se evidenció como cada grupo revisó sus producciones, completó, matizó o ratificó las ideas plasmadas previamente en ellas, representando aspectos diferentes a la linealidad, certeza, estructura u orden. Después de poner en común las producciones grupales, se aportaron dos ejemplos de diagramas en los cuales el proceso de producción científica es representado de manera abierta y no secuencial, acorde a una perspectiva más realista sobre la ciencia y su construcción (Figuras 1 y 2).

Se finalizó esta clase, presentando la consigna de la actividad domiciliaria, de la cual se brindan detalles en el siguiente apartado.

UN DIAGRAMA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA
Representación esquemática de un proceso abierto sin reglas ni etapas rígidas

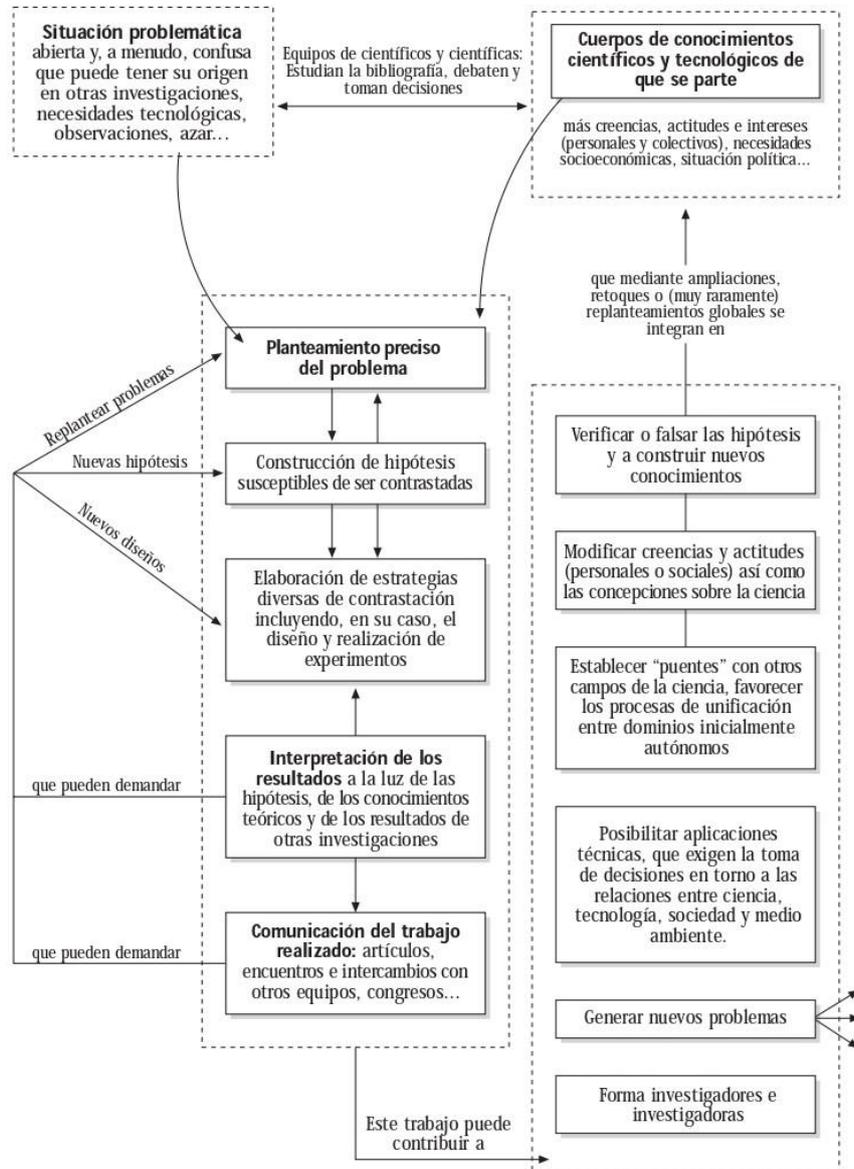


Figura 1. Ejemplo de diagrama donde se representa la investigación científica como un proceso abierto sin etapas rígidas. Tomado de Fernández Gil, Carrascosa, Cachapuz y Praia (2002).

Cómo funciona la ciencia

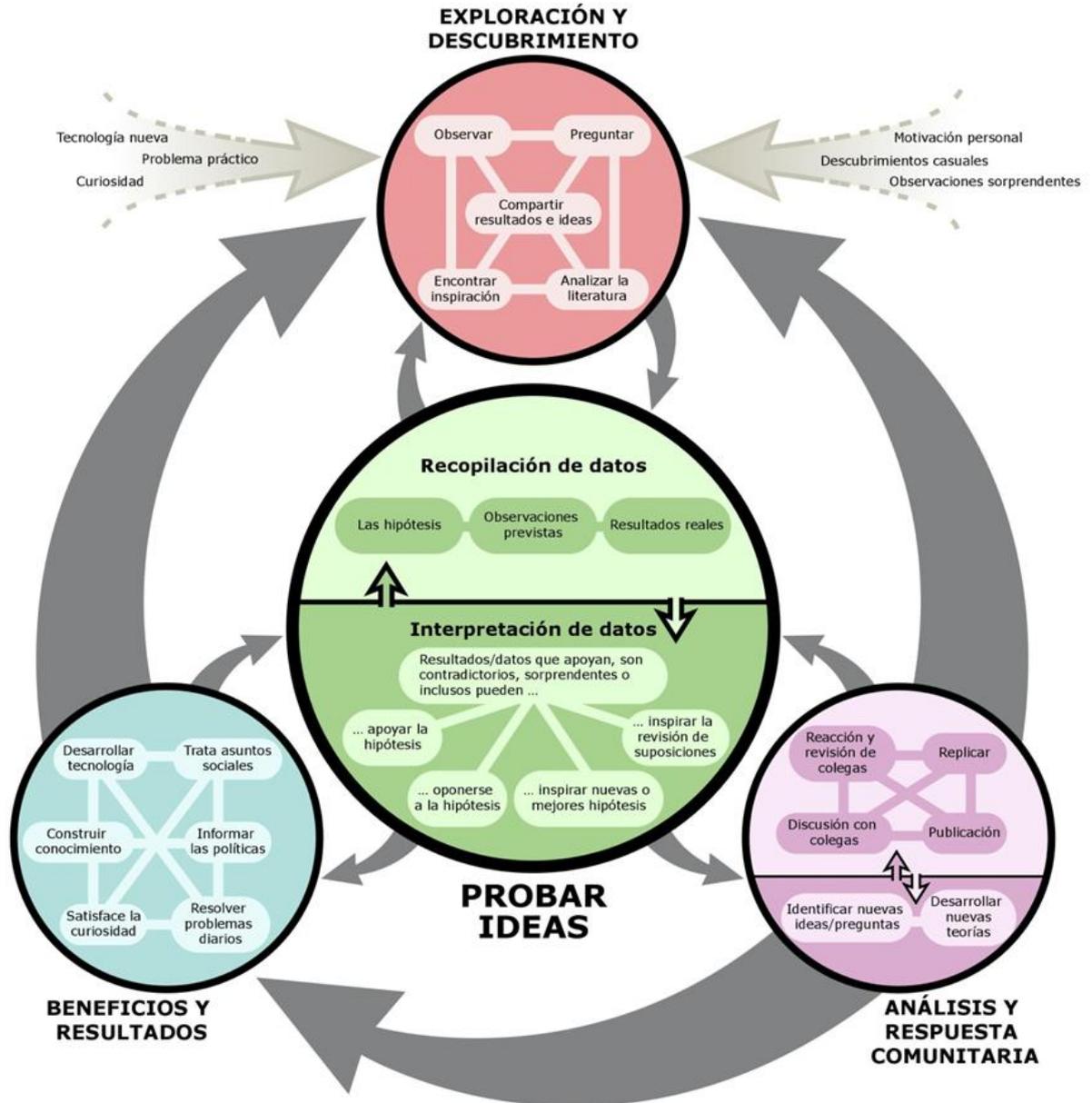


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de investigación científica. Tomado de www.understandingscience.org The University of California Museum of Paleontology, Berkeley, and the Regents of the University of California (2015).

3.4.2 Segunda etapa

3.4.2.1 Actividad domiciliaria I

En esta etapa se propuso una actividad domiciliaria, para la cual se utilizó como soporte un muro interactivo creado en la plataforma *Padlet* (<https://padlet.com>). Desde el punto de vista didáctico, dicha plataforma es un recurso útil para presentar una síntesis de materiales a utilizar en una consigna dada a los y las estudiantes, ya que los muros virtuales colaborativos como *Padlet* cumple la función de un pizarrón en el que es posible “pegar” o incluir dichos materiales. Además, permite publicar, compartir información y contenidos multimedia (e.g., imágenes, vídeos, caricaturas y archivos) de modo individual o colaborativo.

La conformación de un mural interactivo tuvo un doble propósito; por un lado se buscó que la actividad obrara como corolario del recorrido de las clases y que posibilitara a cada estudiante desplegarse reflexiva y creativamente en función de la consigna de trabajo. Simultáneamente favoreció la concreción de una de las intencionalidades del programa de la asignatura, referida a profundizar el empleo de herramientas y soportes digitales que posibiliten un futuro desarrollo profesional docente acorde a los requerimientos digitales actuales.

Antes de compartir con el grupo la consigna de trabajo, que se explicita más abajo, se anticipó el uso de esta herramienta, ante lo cual se consultó al grupo de estudiantes si estaban familiarizados con ella, a lo que respondieron en forma negativa. Por este motivo, se destinó un momento para explicar que *Padlet* es una herramienta de edición abierta que les posibilitaría integrar y articular contenidos diversos (pueden ser imágenes, vídeos, caricaturas, archivos de texto, audios, etc) de manera colectiva, así mismo se explicó el modo de acceso y cómo sumar intervenciones. Posteriormente se explicitó la consigna de trabajo, indicando que, las intervenciones en el muro debían realizarlas por el término de una semana, ya que el objetivo para la clase siguiente (clase 4) era analizar las intervenciones realizadas de manera conjunta.

Consigna de actividad domiciliaria:

El enunciado de la consigna solicitó que, tomando como base las ideas que surgieron y circularon durante las últimas tres clases, realizaran una intervención en el *Padlet* titulado: “*Ciencia humanizada. Construyendo una imagen auténtica*” (disponible en: https://Padlet.com/natalia_arcaria/fy21g40ml9qz), que favoreciera la construcción de una imagen

realista sobre la ciencia y sobre quienes se dedican a ella. A los fines de garantizar que las participaciones resultaran lo más equitativas posibles y de que las y los estudiantes pusieran en juego la mayor cantidad de elementos capaces de dar cuenta de avances conceptuales, se solicitó que las participaciones incluyeran los siguientes componentes: un título, un texto breve (pudiendo ser alguna reflexión, una frase alusiva, un fragmento del material bibliográfico sugerido, una pregunta, etc.), un recurso (imagen, video, enlace o cualquier otro material que la plataforma permita insertar).

3.4.2.2 Cuarta clase:

El *Padlet* contó con un total de once participaciones permitiendo centralizar y exhibir las diferentes ideas desde las cuales las y los estudiantes pensaron a la *ciencia humanizada*. El encuentro de la cuarta clase tuvo por objetivo la socialización y el análisis colectivo de dichas participaciones. Se propició el diálogo para que tuvieran la oportunidad de desarrollar y profundizar sus contribuciones específicas. En el análisis interpretativo de las mismas, fue posible reconocer que la mayoría de las intervenciones realizadas en pos de contribuir a una imagen de ciencia auténtica, se centraron en dos aspectos principales: a) poner en tensión las ideas estereotipadas acerca de quienes integran la comunidad científica y b) presentar a la ciencia inmersa en la sociedad, es decir, como parte de la cultura, como una actividad que ocurre en un contexto determinado y por lo tanto se encuentra atravesada e influenciada por cuestiones sociales, políticas, económicas, etc.

a) *El estereotipo de científico puesto en tensión*

Entre las intervenciones que focalizaron en este aspecto (Tabla 3), se reconocieron variaciones en los puntos considerados para poner en tensión el estereotipo predominante: en seis de las once participaciones (intervenciones 1, 4, 5, 6, 8, 9) el estereotipo de científico fue cuestionado, señalando la inequidad de género que se observa en la actividad científica y la necesidad de reivindicar el rol de las mujeres en la misma; mientras que en cuatro de las once intervenciones (Tabla 3), se focalizó en el hecho de que quienes se dedican a la actividad científica son en primera instancia humanos, “personas corrientes” con familia, con pasatiempos y con una vida social (intervenciones 3, 4, 5, 7).

b) *La ciencia como parte de la cultura*

Este atributo se hizo presente en aquellas intervenciones que: a) referenciaron a la ciencia como actividad laboral, haciendo alusión a la solicitud de subsidios (intervención 4); b) señalaron la ineludible interacción entre ciencia y sociedad, ya sea porque refirieron a aspectos tales como que la ciencia debe comunicar su trabajo a la ciudadanía, o insinuaron a la actividad científica entramada en un contextosocial, político, histórico, etc.(intervenciones 2, 4,7, 9).

Resultó interesante también encontrar intervenciones en las que se mencionaron cuestiones vinculadas a la educación científica; concretamente las intervenciones 2, 7 y 9 hicieron referencia a la enseñanza o al rol docente como componentes que influyen en la construcción de la imagen de ciencia.

Tabla 3: Resumen de intervenciones realizadas en el *Padlet*.

	Título y síntesis	Fragmentos ilustrativos
Intervención N° 1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Título:</u> “La importancia de la mujer en la Ciencia” ▪ <u>Síntesis:</u> Se hizo referencia a la inequidad de género en la actividad científica y se ofreció información sobre María SalomeaSkłodowska-Curie. 	<p><i>“Las mujeres en la ciencia representan menos del 30% de los investigadores del mundo”.</i></p> <p><i>“Marie Curie es un símbolo por la lucha de la igualdad, en su época fue un auténtico referente que rompió muchas barreras y sirvió de ejemplo para que muchas mujeres empiecen a dedicarse a la ciencia.”</i></p>
Intervención N° 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Título:</u> “Divulgación en Ciencia desde YouTube” ▪ <u>Síntesis:</u> En esta participación se compartieron los links y sinopsis de 28 canales que se ocupan de la divulgación científica de habla hispana y anglosajona. Se incluyeron además preguntas e ideas para pensar colectivamente que se citan en la columna adyacente. 	<p><i>“Esta bueno para ver que concepciones de ciencia se puedan estar armando desde este sitio”.</i></p> <p><i>“...en Europa se está financiando todo este tipo de movidas, [la divulgación] desde universidades privadas hasta incluso ¡los bancos! Tema en el que se podría profundizar.”</i></p>

<p style="text-align: center;">Intervención N° 3</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Título: “<i>Valoramos a nuestrxs científicxs?</i>” ▪ Síntesis: Se hizo hincapié sobre la valoración de la tarea realizada por las y los científicos/as, quien en opinión de esta estudiante son estigmatizados/as y su tarea es poco comprendida. En esta intervención se formularon preguntas muy interesantes y se compartió el video de la canción “Western” de la banda Attaque 77. 	<p><i>“Es por esto que creo que llego la hora de dejar de estigmatizar a lxs científicxs, de dejar de pensar que son personas locas, que trabajan en laboratorios de forma individual, que lo único importante en su vida es el trabajo, dejando de lado que también son personas normales.”</i></p> <p><i>“Dejo el link de una canción de ataque 77, la cual está dedicada a Dr. René Favalaro, que a pesar de que tiene varios años sigue mostrando la realidad.”</i></p>
<p style="text-align: center;">Intervención N° 4</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Título: “<i>Científicxs en tiempos de crisis</i>” ▪ Síntesis: Esta intervención tomó como eje el reclamo que investigadores e investigadoras estaban realizando, durante junio de 2019, por más subvenciones a la investigación, en un momento en el que decisiones políticas del gobierno de turno realizó una reducción en los subsidios otorgados para investigación. Se presenta a la divulgación como una herramienta fundamental para generar el apoyo y empatía de la sociedad a la subvención de las actividades de investigación. Además, a lo largo de esta participación se formulan preguntas que permiten pensar a la actividad científica en el contexto de nuestro país y permite visualizar a la investigación como una actividad laboral. 	<p><i>“Ni todxs hombres, ni viejos canosos o pelados, ni solitarixs ni encerradxs en laboratorios oscuros con mucha humedad, ni despojadxs de ideología que le otorga sentido al quehacer, ni todas las mujeres científicas sin hijos, maternando la disciplina, ni todxs con las óptimas condiciones salariales, ni todxs gigantes y heroicxs, ningunx jugando a ser dios...”</i></p> <p><i>“Salir de los institutos es urgente, llevar la ciencia a la calle, dar a conocer los proyectos y darse a conocer... transparentar los escasos presupuestos, recursos, salarios, insumos, y sobre todo la importancia y el impacto de cada una de las investigaciones en la sociedad.”</i></p> <p><i>“Por otro lado, cabe preguntarse: ¿Quiénes hacen mayormente divulgación científica? ¿Es posible hablar de una feminización de la divulgación científica? Me pregunto si acaso es el lugar que nos tienen reservado para que podamos “humanizar” la ciencia con nuestros dotes femeninos, mientras esperamos que el techo de cristal se haga añicos...”</i></p>

<p style="text-align: center;">Intervención N° 5</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Título: <i>“Cortemos con los mitos, los científicxs son personas que...”</i> ▪ Síntesis: Inicialmente se propone pensar en los rasgos estereotípicos adjudicados habitualmente a las personas que se dedican a la actividad científica. Como parte de la narrativa se incluyen preguntas que invitan a pensar en otros rasgos posibles y que reflejan el aporte de ideas de bibliografía específica sobre los motivos que llevan a no elegir las carreras científicas como para desarrollarse profesionalmente. Para finalizar se retoma la idea de que existe una brecha de género en la actividad científica y se comparte una noticia sobre el reconocimiento a 2 científicas, especialistas en biología vegetal y estudiosas del impacto de la crisis climática. 	<p><i>“A los científicxs se les suele asignar rasgos estereotípicos como, por ejemplo, hombre de edad media o avanzada, que a la hora de realizar una actividad científica utiliza lentes y guardapolvo, una persona muy inteligente, antisocial, encerrado en un laboratorio, generalmente aislado del mundo exterior. ¿Pero esto es así o...es una imagen inventada de lo que realmente es un/a científicx?.</i></p> <p><i>No se pueden imaginar a un/a científicx con hijxs , en pareja, hippie , jugando al fútbol, tomando una birra, en un boliche y/o también ser profe de danzas. Tampoco se pueden imaginar al/la científicx con promedio 7, ¿es poco ??.”</i></p> <p><i>“La actividad científica se genera a partir de la interacción de diversos factores: científicx(persona con formación, sin discriminar género, raza, cultura, clase social, edad), proyecto de saber, grupo, institución e interlocutor.”</i></p> <p><i>“Actualmente, las mujeres a partir de una constante lucha, comenzaron a reconocer sus investigaciones y premios que bien merecían.”</i></p>
<p style="text-align: center;">Intervención N° 6</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Título: <i>“Ciencia y poder racial”</i> ▪ Síntesis: Esta intervención vincula al racismo y la Ciencia, siendo esta última presentada como un dispositivo que en diferentes momentos de la historia ha permitido validarlo. A modo ilustrativo se comparte una noticia con el siguiente titular: <i>“Revelaron diarios de viaje de Albert Einstein con comentarios racistas y misóginos”.</i> 	<p><i>“...la ciencia ha sido una estructura no solo de saber sino también de poder, proponiéndose como medio de validación de aquello que estudia y quién lo estudia, excluyendo así a grupos étnicos y a mujeres que también eran apartadas de la ciencia por el solo hecho de ser mujeres.”</i></p> <p><i>“La ciencia ha hecho valer estos criterios apoyándose en hipótesis y publicaciones (superadas en la actualidad) en donde aseguraban que cierto grupo étnico posee mejores capacidades cognitivas que aquellos "primitivos, diferentes"...”</i></p> <p><i>“...los estereotipos sobre ciencia nos llevan a pensar en científicxs varones y blancos”</i></p>

<p style="text-align: center;">Intervención N° 7</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Título:</u> “El papel de la ciencia en las sociedades actuales” ▪ <u>Síntesis:</u> En esta participación se realiza una serie de preguntas que invitan a pensar en la importancia de la Ciencia para la sociedad y en cómo los estereotipos vigentes, así como los modos de entender o de comunicar la Ciencia nos condicionan para valorarla adecuadamente. En este sentido, se propone que la actividad docente tiene la responsabilidad de obrar a favor de la desmitificación de estas representaciones erróneas. 	<p>“En algún momento los estudiantes y todas las personas de otras áreas dejarán de ver al científico y a la ciencia como algo alejado y tan estereotipado, como esa persona lejana, encerrada en un laboratorio, realizando sus investigaciones sin importarle la vida social?”</p> <p>“...cuando somos chicos vemos a la ciencia como una profesión posible, a la que cualquiera se puede dedicar, y a medida que vamos creciendo vamos siendo influenciados por los medios de comunicación, la televisión, y la propia escuela, que van formando esa imagen estereotipada y nos hacen ver a la ciencia como algo a lo que sólo algunos pocos privilegiados pueden dedicarse.”</p>
<p style="text-align: center;">Intervención N° 8</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Título:</u> Caracterización de los personajes de “The Big Bang Theory”: ¿Aproximación a un mundo invisibilizado o reproducción de estereotipos? ▪ <u>Síntesis:</u> Se realiza una caracterización de los personajes, y de las situaciones en las que habitualmente están involucrados, de la comedia estadounidense “The Big Bang Theory”. Durante el desarrollo de la intervención, se efectúa un análisis reflexivo que invita a pensar si esas caracterizaciones permiten que la audiencia se acerque al mundo científico o si por el contrario alimenta los estereotipos ampliamente difundidos. 	<p>“...se van definiendo las personalidades y los roles ocupados por los distintos personajes, como son el del físico teórico Sheldon Cooper -brillante, antisocial, escéptico, soberbio, orgulloso, algo infantil y caprichoso en ocasiones- o el de la microbióloga Bernadette Rostenkowski -tímida, amable, distraída, algo ingenua en ocasiones, temperamental y enamoradiza-. En esta serie vemos rasgos del científico estereotípico que el guion tiende a reproducir, como son la división por áreas científicas según el género -biología para las mujeres, física e ingeniería para los hombres-, la dificultad para socializar con otros, la predilección por la ciencia ficción y los juegos de rol, etc.”</p> <p>“Esta circulación de las ficciones como “The Big Bang Theory” acerca a los jóvenes a la vida cotidiana de los científicos, pero también tiende a reproducir estereotipos no representativos de la situación local de América Latina ¿Serán estas acciones más beneficiosas o más perjudiciales para el atractivo científico que se pretende generar en los jóvenes latinoamericanos?”</p>

<p>Intervención N° 9</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Título</u>: “La construcción de la imagen sobre ciencia en la sociedad: Entre patriarcado y elitismo, los estereotipos” ▪ <u>Síntesis</u>: El hilo de esta intervención propone pensar desde que miradas se construye la imagen de Ciencia y de científico, identificando la influencia de ideas patriarcales y elitistas como predominantes. 	<p>“Los espacios de educación formal e informal, junto a los medios de comunicación y entretenimiento formaron una estructura cerrada (a las diferentes etnias, a las mujeres y a las ciencias sociales, las cuales ni siquiera son mencionadas como campo científico) sobre lo que es la ciencia.”</p> <p>“La noción que se muestra y se enseña sobre la ciencia, no solo es funcional al patriarcado, debido al relegado papel que se le deja a la mujer, ya que no es su campo, y se le atribuyen por sus "instintos maternos" figuras como la de maestra, siempre encargada de formar y resguardar a otras Personas...”</p> <p>“¿A qué otro sistema es funcional la noción que prepondera sobre la ciencia? al capitalismo, dejan claro en todos los medios y las instituciones la conformación elitista del campo científico, donde se valoran los aportes de escuelas de renombre, de países desarrollados y con mecanismos privados y se deslegitima países del 3er mundo e instituciones de servicio público”.</p>
<p>Intervención N° 10</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Título</u>: No se especifica ▪ <u>Síntesis</u>: La intervención se centra en la relación entre la educación científica y la discapacidad, pero resulta superficial y sin un hilo argumental claro. 	<p>“Le preguntaría a los siguientes científicos, ¿si es posible una educación científica para la discapacidad?</p> <p>Stephen Hawking, Louis Braille, MilevaMaric, HughHess, Ana Sullivan, John Nash, Jordyn Castor, Leonardo da Vinci, Wanda Díaz Mercedes, Hildegarde de Bingen.”</p>
<p>Intervención N° 11</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Título</u>: “La poesía es la única verdad” ▪ <u>Síntesis</u>: El eje vertebrador de esta intervención se construye sobre la relación entre Ciencia, conocimiento y realidad. 	<p>“En contraposición con la poesía y el arte, la ciencia se ha caracterizado, o la han definido como la que descubre la verdad de manera objetiva, todo lo que le pasa al ser humano y al entorno que lo rodea podría ser explicado por la ciencia, pero no es sin una interpretación y un marco adecuado que puede deducirse que una cosa es verdadera o falsa, es así como la ciencia de un momento para otro se transforma en una herramienta subjetiva, que establece de antemano la interpretación de una realidad para "encontrar" la verdad en un determinado entorno.”</p>

Tomando en consideración los aportes de Acevedo y García Carmona (2016) respecto a las cuatro dimensiones propuestas para comprender la NDC, es posible afirmar que la dimensión sociológica, tanto en su aspecto interno como externo, prevaleció en las intervenciones del *Padlet*, por sobre la dimensión epistémica y por sobre la dimensión que

considera la relación ciencia y tecnología. Entre los rasgos que estos autores consideran como “*aspectos sociológicos internos a la comunidad científica*”, se evidenció la influencia del género, la personalidad de científicas y científicos, el papel de la comunicación científica, los aspectos morales y éticos, la competitividad científica y las relaciones personales entre los miembros de la comunidad científica. Entre los “*aspectos sociológicos externos a la comunidad científica*” fue posible advertir el apoyo económico a la investigación, la influencia de la política en la ciencia, la influencia de la ciencia en la sociedad, el contexto histórico, social y cultural; en definitiva, que la ciencia es una actividad cultural que responde a necesidades, intereses, problemas sociales, políticos, económicos e ideológicos (Figura 3).

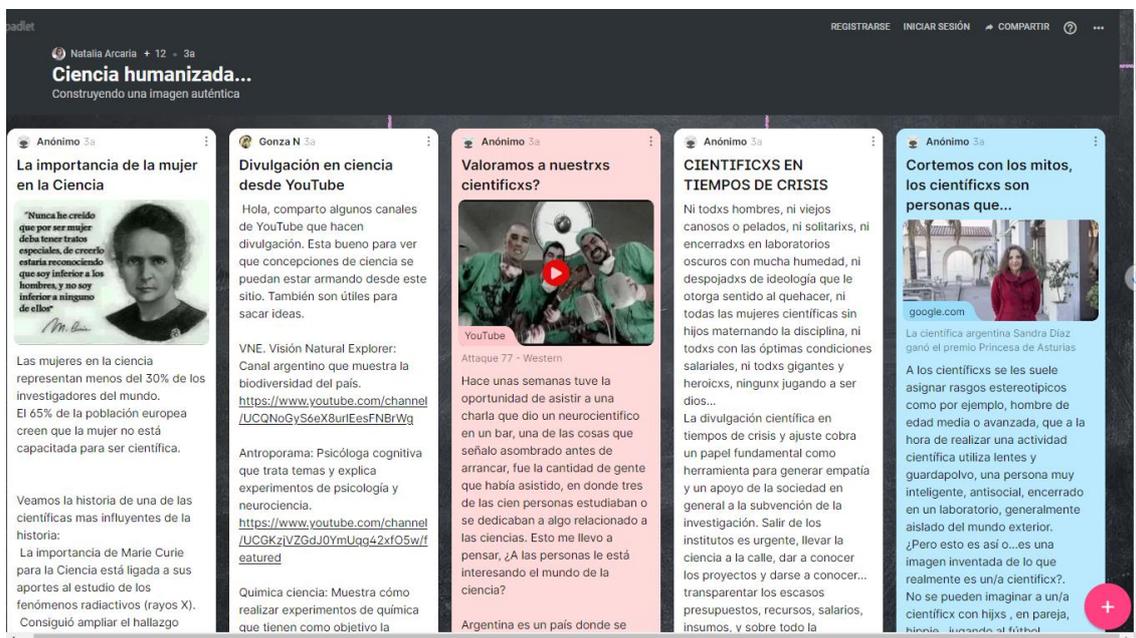


Figura 3. Captura de pantalla del muro interactivo Padlet donde se evidencian algunas de las intervenciones realizadas por las y los estudiantes.

3.4.3 Tercera etapa

En la tercera etapa de implementación, tanto a modo de cierre como de instancia evaluativa de la propuesta (dada la relevancia que tiene la evaluación, se abordará sucintamente en el próximo apartado), se planteó un trabajo de síntesis basado en el análisis de videos y de fragmentos de libros o de textos. Las actividades se diseñaron considerando que, como futuros/as docentes tendrán la necesidad de elegir recursos para sus propuestas de clase, ya sea como apoyo a sus propuestas de enseñanza o bien como soportes de trabajo para

las tareas que deban realizar sus estudiantes de modo tal que la elección de los mismos no debe estar exenta de una estricta vigilancia epistemológica.

3.4.4 Evaluación de la experiencia

3.4.4.1 La triada: enseñanza- aprendizaje-evaluación

Las ideas acerca de la evaluación implicadas en esta propuesta se corresponden con el marco teórico-metodológico propuesto por Anijovich y Capelletti (2017), para quienes evaluar en educación supone no solo juzgar la calidad de los resultados del aprendizaje de las y los estudiantes, sino también la calidad de la enseñanza brindada. En este sentido, implica pensar en los y las estudiantes como sujetos de conocimiento, tomando relevancia no lo que un/a estudiante diga acerca de un concepto (reproducción de información), sino el modo en que lo utiliza en situaciones diversas. Comprender al aprendizaje como un proceso activo, en el que las personas construyen significados a partir de experiencias previas, supone poner en juego estrategias de enseñanza y de evaluación que reflejen la naturaleza dinámica del proceso de construcción del conocimiento, así como la participación activa de ellas en este proceso. De acuerdo con estos argumentos, lo relevante de la evaluación es su función pedagógica, es decir, su carácter formativo, dado que aporta información útil para reorientar la enseñanza. Bajo estas consideraciones, el foco se puso en la valoración del impacto que tuvo la propuesta de enseñanza, a partir del análisis de cómo se enriqueció la imagen de ciencia y de científico/a de la población objetivo.

En consecuencia, se recabó información de las ideas y representaciones de las y los estudiantes de manera continua, a partir del análisis de los registros de clase y de las interacciones dialogadas que acontecieron con y entre los participantes a lo largo de la implementación de toda la propuesta. Para sistematizar y facilitar la toma de notas, se construyó y utilizó un cuadro en el que se consideraron los posibles momentos de intervención (Tabla 4).

Tabla 4. Cuadro con el registro de algunas de las intervenciones realizadas durante la clase 1.

	Comentarios y preguntas realizadas durante el desarrollo de las consignas individuales	Ideas que circulan al interior de los grupos de trabajo durante el desarrollo de las consignas grupales	Ideas que circulan en las socializaciones	
			Ideas que se explicitan y comparten de manera individual	Ideas que se explicitan y comparten de modo grupal a través de un vocero o portavoz
Clase 1	<p>“No se me ocurre un personaje para elegir...”</p> <p>“Elegí el protagonista de una serie, ¿debería hacer referencia a alguna escena o puedo inventar la situación cotidiana?”</p>	<p>“Estuviste re genia con lo de incluir las Ciencias Sociales”</p> <p>“Tuve intenciones de inventar un personaje pero me faltó tiempo”</p>	<p>“Sabía que era estereotipado mi personaje, pero no supe cómo hacerlo diferente”</p> <p>“...como que uno tiene la idea de proceso en la cabeza, pero cuando lo querés plasmar en el papel es como que terminás en la receta del método científico”.</p>	<p>“En este grupo nos pareció que la definición de Ciencia de la RAE, no da lugar a las Ciencias Sociales”</p>

3.4.4.2 La actividad de síntesis: una actividad de evaluación auténtica en el marco de la evaluación alternativa

De acuerdo con Anijovich, Malbergier y Sigal (2004), la evaluación alternativa es aquella que en lugar de enfocarse unilateralmente en medir resultados (como lo hacen las formas de evaluación tradicionales) propone considerar las experiencias, procedimientos y trayectos que hay que recorrer durante el aprendizaje. Según estas autoras, una de las características más relevantes que constituye a este tipo de evaluación, es que se basa en la resolución de consignas significativas y/o auténticas.

Las actividades auténticas involucran la evaluación del desempeño, por un lado requieren que las y los estudiantes elaboren una respuesta o un producto que demuestre su conocimiento y habilidades y que de testimonio del procedimiento empleado; por otro lado exigen la integración de conocimientos sobre contenidos específicos, destrezas, habilidades cognitivas y ciertas actitudes para lograr los objetivos.

Con el objeto de ofrecer una instancia evaluativa que cumpliera con las características antes mencionadas y que además contribuyera en la valoración e interpretación del impacto de la secuencia implementada, se propuso el trabajo de síntesis basado en el análisis de videos y de fragmentos de libros de textos referidos en el punto 3.4.3 como tercera etapa.

3.4.4.3 Descripción de la actividad evaluativa de síntesis e integración

La actividad de síntesis e integración fue de carácter domiciliario y globalizador debiéndose resolver de manera individual. La misma tuvo como propósito brindar un espacio de análisis de tipo funcional e interpretativo, para poner en juego lo desarrollado durante la implementación de la propuesta didáctica. Concretamente se les solicitó el análisis de: i) dos recursos audiovisuales de divulgación científica protagonizadas por personas dedicadas a la actividad científica en nuestro país (recurso audiovisual A <http://encuentro.gob.ar/programas/serie/8035/3372?temporada=2>) y recurso audiovisual B <https://www.youtube.com/watch?v=W7kVm8cOUzo>) y ii) tres textos cuya temática común fue la modelización de la molécula del ADN (Anexos 3, 4 y 5), en los que debían identificar las debilidades y fortalezas que poseían en relación a la imagen sobre la actividad científica y sobre quienes se dedican a ella. El análisis debió argumentarse a la luz de textos, actividades y discusiones que tuvieron lugar durante las clases.

4. Resultados

De manera global se pudo observar una diferencia entre las producciones finales (de síntesis) correspondientes al grupo de estudiantes del profesorado de Física y las realizadas por quienes estudian el profesorado de Ciencias Biológicas. La diferencia radicó principalmente en la calidad del análisis, así como en los argumentos expuestos sobre las fortalezas y debilidades de los recursos presentados. Las correspondientes al grupo del profesorado de Física se respaldaron explícitamente con materiales bibliográficos e ideas socializadas en clase, de acuerdo a lo solicitado por la consigna de trabajo presentada, mientras que en el grupo de estudiantes del profesorado de Ciencias Biológicas, se observó que en la mayoría de los casos, las argumentaciones carecieron de explicitación sustentada o basada en los materiales trabajados durante las clases; sin embargo se referenciaron algunas ideas y debates que circularon en los momentos de socialización durante las clases precedentes, tales como: que la ciencia se construye colectivamente, que es parte de la cultura y por ende es importante no perder de vista el contexto histórico y los vínculos bidireccionales

entre ciencia, tecnología, política y economía, que hay un importante componente creativo en la investigación, etc.

Del análisis de las producciones surgió que el recurso audiovisual “A” fue considerado con mayor cantidad de debilidades que el recurso “B”; en la Tabla 5 se citan las fortalezas y debilidades señaladas por las y los estudiantes. Por otro parte, en lo que respecta al análisis de recursos textuales, la mayoría de los participantes destacó los textos N° 1 y N° 2 como documentos portadores de mayores fortalezas que el texto N°3; las Tablas 6, 7 y 8 recogen las fortalezas y debilidades atribuidas a cada uno de los textos mencionados.

Tabla 5. Resumen de las fortalezas y debilidades de los recursos audiovisuales A y B.

RECURSO AUDIOVISUAL “A” Proyecto G. Segunda temporada. Capítulo 8: <i>Cambios químicos</i> . Emitido por canal Encuentro	
Fortalezas	<i>“Se puede rescatar que todas las explicaciones surgen a partir de una pregunta”.</i>
Debilidades	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>“En el video del canal de encuentro se apela a la visión de la ciencia elitista, y aparentemente patriarcal, no se ve ninguna mujer en el trabajo...”</i> 2. <i>...”la figura que se muestra en ambos científicos, vestidos de forma que lo distingue de los ayudantes, referencias hacia éstos infiriendo que no saben mucho y están aprendiendo todo de ellos que tienen el poder de saber más, si bien un científico hacia preguntas, todas eran suposiciones correctas”.</i> 3. <i>“Los doctores tienen nombres propios, mientras que los señores son ‘de acá’ y ‘de allá’ (al igual que los ayudantes)”</i> 4. <i>“El científico se presenta como poseedor de la verdad que tiene respuestas a todo y nunca duda”.</i> 5. <i>“Favorece una visión de ciencia experimental en la que hay que cumplir una serie de métodos para poder comprender la realidad”.</i> 6. <i>“Se puede distinguir una jerarquización entre doctores y sujetos experimentales”</i> 7. <i>“La representación del científico aparece entonces como un ser de vestimenta y léxico diferentes, varón, que posee un saber cualitativamente superior y que accede a ese conocimiento mediante la experimentación y la observación de fenómenos acontecidos en un ambiente controlado y/o aislado del entorno.”</i> 8. <i>“...contribuye a reproducir el estereotipo de científico varón de léxico complejo y poseedor de todos los saberes valiosos...”</i> 9. <i>“La experimentación es vista como una secuencia de pasos a seguir, predeterminada, sin margen de error”.</i> 10. <i>“El espacio donde transcurren las acciones es extra-cotidiano y da la sensación de ‘atemporal’”.</i>

11. <i>“No realizan búsquedas de bibliografía”.</i>
RECURSO AUDIOVISUAL “B” Ciencia a la carta. Capítulo 1: <i>Carnes rojas</i> Emitido por canal TEctv
Fortalezas
<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>“Se muestra en este video que las mujeres también realizan actividad científica, y ahora si podría hablar de la vida de la protagonista fuera de su lugar de trabajo”</i> 2. <i>“ Eugenia [...], se nutre de los conocimientos de Juan, y él de los de ella.”</i> 3. <i>“...muestra una imagen más desestructurada de cómo se trabaja en ciencia...”</i> 4. <i>“...rompe con el estereotipo y nos la presenta a Eugenia [la científica] en un entorno distinto al del laboratorio...”</i> 5. <i>“Las principales acciones transcurren en la cocina, que se constituye como escenario de experiencias más allá del laboratorio”.</i> 6. <i>“La científica es una mujer y el hombre es un cocinero, roles que hasta hace algún tiempo posiblemente fueran pensados al revés cotidianamente.”</i> 7. <i>“Teniendo en cuenta que este es el video que más se asemeja al científico como una persona común y corriente y que el primero lo muestra un poco más alejado de la realidad, sería el que elegiría para representar la imagen de un científico.”</i> 8. <i>“También está muy buena la participación de la mujer en la ciencia”.</i> 9. <i>“Al buscar ‘la mejor representación de una persona que se dedique a la actividad científica’ considero al recurso B con mayores fortalezas, las problemáticas culinarias, las relaciones que entabla con los demás y la vestimenta de Eugenia son propias de cualquier persona”.</i> 10. <i>“...se ve como Eugenia tiene cosas que aprender de Juan aunque ella sea una profesional en su área.”</i> 11. <i>“Nos muestra una idea más desjerarquizada de los saberes”.</i> 12. <i>“La científica se presenta como una persona normal y corriente.”</i> 13. <i>“Debatimos como a los científicos no se los veía en otro lugar que no sea el laboratorio y no tenían más vida que la investigación, algo que contrasta muy bien acá, donde ella habla de su familia, donde está cocinando con un amigo, esta bueno eso”.</i>
Debilidades
<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>“Sin embargo, algo de la tradicional imagen de científicxs se cuela cuando el cocinero dice ‘ella es científica, tiene respuestas a todo’”.</i> 2. <i>“Se remarca varias veces que, como científica, ella tiene todas las respuestas sobre los temas complicados...”</i> 3. <i>“...mantiene un lugar de verdad absoluta en sus explicaciones.”</i>

En lo que respecta específicamente a los recursos audiovisuales, la única fortaleza destacada en el recurso “A” se vinculó con el protagonismo que tienen las preguntas en la escena. Mientras que en las debilidades señaladas (Tabla 5), se identifican ideas que pueden relacionarse principalmente con algunos elementos de las visiones deformadas de la ciencia que proponen Fernández, Gil Pérez, Valdez y Vilches (2005) como la empiroinductivista, elitista, ahistórica y descontextualizada. Las debilidades N° 5, 7 y 9 pueden asociarse a la

visión empiroinductivista, concepción que atribuye la esencia de la actividad científica a la experimentación; mientras que las N°1,2,3,4,6 y 8 se vinculan con la concepción elitista de la ciencia, según la cual el trabajo científico es un dominio reservado a minorías especialmente dotadas, con discriminaciones de naturaleza social y sexual, donde la ciencia es presentada como una actividad eminentemente masculina. Por otra parte, la debilidad N°10 hace referencia a la descontextualización espacio-temporal en la que transcurre la escena, mientras que la debilidad N° 11, al mencionar la ausencia de la búsqueda bibliográfica, permite pensar en el lugar otorgado a ésta en el proceso de investigación y a la vez introduce secundariamente la consideración de la dimensión comunicativa.

De los análisis en torno al recurso audiovisual B surgió que las fortalezas identificadas se vinculan con cuestiones de género, siendo valorado positivamente que apareciera en escena una mujer científica (fortalezas N° 1, 6 y 8); asimismo se remarcó el aspecto vincular y colaborativo entre los protagonistas al momento de construir conocimiento (fortalezas N° 2,10 y 11), así como la idea de que se transmite una imagen más humanizada de la científica, quien es representada como una persona “común y corriente” (fortalezas N° 7, 9,12 y 13). En lo que respecta a las debilidades del recurso, las mismas convergieron en el hecho de que, en un momento del video, se hace referencia a que la protagonista por ser científica tiene respuestas para todo, cuestión que se puede relacionar con ideas distorsionadas que conciben a la ciencia como infalible y poseedora de verdades absolutas.

Tabla 6 Resumen de las fortalezas y debilidades del recurso textual N°1.

RECURSO TEXTUAL N°1	
Tomado de: Liberman, D. (2011). El ADN como material hereditario: una mirada histórica. En Mazzalomo, L. (Ed.) <i>Biología. Flujo de la información y funciones de relación, integración y control. ADN, genes y proteínas</i> (142-143 pp.). Editorial SM)	
Fortalezas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>“Teniendo la posibilidad de contar sólo los resultados finales de lo que sucedió, en el texto se elige hacer un recorrido de cómo fueron los distintos descubrimientos y quienes los realizaron.”</i> ▪ <i>Muestra las “Faceta competitiva de los científicos”</i> ▪ <i>“Se hace referencia a una científica (Rosalind Franklin) destacando sus conocimientos superiores en cristalografía y lo relevante que fueron.”</i> ▪ <i>“...algo importante a destacar es que se nombró el aporte en el descubrimiento que realizó Rosalind Franklin.”</i> ▪ <i>“Se menciona aportes anteriores al modelo de la molécula de ADN, lo cual contribuye a fortalecer en los estudiantes la idea de que los avances científicos son una sucesión de aportes de toda la comunidad, y no el producto de las ideas brillantes de un individuo.”</i>

<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>“Se hace énfasis en el robo a Rosalind Franklin y su no reconocimiento por parte de la comunidad científica, y no deja de ser explícito que esto es producto en gran parte del sesgo de género característico de la época y en particular del ámbito científico.”</i> ▪ <i>“...se puede destacar una imagen de ciencia como construcción social con un carácter provisional.”</i> ▪ <i>“Visibiliza desacuerdos, controversias y tensiones hacia el interior de la comunidad científica en distintos momentos históricos, alejándose de la imagen de ciencia desconflictuada y ahistórica.”</i> ▪ <i>“...hace referencia al trabajo científico colaborativo organizado en grupos de investigación pero sin ignorar las ‘carreras’ entre los mismos...”</i> ▪ <i>“Respecto al rol de Rosalind Franklin en el descubrimiento del ADN, no solo tienen una mirada que busca recuperar su labor históricamente invisibilizado sino que permite ir más allá problematizando el rol de las mujeres en la ciencia a lo largo de la historia y la actualidad.”</i> <i>“...no se conforma con mencionarla como descubridora con el mismo status que su par masculino, sino que elige mencionar su recorrido y los reconocimientos que le fueron negados.”</i> ▪ <i>“...se explica una breve reseña sobre el marco social machista en el que se trabajaba...”</i> ▪ <i>“Tiene en cuenta los juicios que realiza la comunidad sobre los trabajos de sus pares”</i> ▪ <i>“Muestra las dificultades de tipo social a las que se enfrentan los investigadores, por ejemplo, la discriminación”.</i> ▪ <i>“Toma la controversia de la historia de Rosalind Franklin donde relata cómo sus estudios fueron robados y como antiguamente no se le daba un lugar a la mujer en la ciencia.”</i> ▪ <i>“...se muestra el trabajo en conjunto que se tiene entre científicos, que no necesariamente trabajan juntos, se ve la comunidad científica como universal, quienes comparten sus descubrimientos.”</i> ▪ <i>“Trata el punto de no siempre tener las respuestas, se trabaja con incógnitas siempre y el trabajo es ir develándolas con distintas técnicas, no fue ni una sola persona ni solo una técnica o un método la forma en que se descubre algo, también tiene que verificarse.”</i> ▪ <i>“...la reivindicación de Rosalind Franklin, la mirada crítica sobre la ciencia pasada.”</i>
<p>Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>“...olvida mencionar a los otros investigadores que estuvieron a punto de modelizar el ADN en la “carrera” que se vivía en la comunidad, en particular no menciona el hecho de que Pauling tuvo restringido, por su militancia política, el acceso a los datos de los que si dispusieron Watson y Crick.”</i> ▪ <i>“...no se relaciona la utilidad social, parece una ciencia restringida al laboratorio.”</i> ▪ <i>“En tanto a la visión del científico manifiestan como avocados a su labor, especialistas en su área, no se muestra más que eso...”</i>

Tabla 7. Resumen de las fortalezas y debilidades del recurso textual N° 2.

<p>RECURSO TEXTUAL N°2</p> <p>Tomado de: Audesirk, T.; Audesirk, G y Byers, B. (2004). Descubrimiento de la doble hélice. En Audesirk, T.; Audesirk, G y Byers, B. (Eds.) <i>Biología. Ciencia y Naturaleza</i>(144</p>
--

pp.).Pearson
<p>Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>“Se destaca la competitividad entre científicos, las trabas que pone un gobierno (Pauling)”</i> ▪ <i>“Habla de la competencia entre científicos. En este sentido, dicen que son personas, como cualquier otra, desarmando de alguna forma esa visión alejada...”</i> <i>“...demostrando que no siempre se cumple con esa imagen de científico modelo que prioriza el conocimiento común y lo comparte”.</i> ▪ <i>“Menciona el contexto social. Cuenta como Pauling participaba por el movimiento por la paz”</i> ▪ <i>“Se puede ver que inciden diversos factores como lo social, personales (competencias), factores de género, en relación al lugar que se le da a las mujeres y los hombres.”</i> ▪ <i>“Lo más destacable es mencionar que, aunque la ciencia busca contribuir al conocimiento, los científicos buscan su propio reconocimiento, como algo inherente a cualquier ser humano.”</i> ▪ <i>“Da indicios de cómo la Ciencia está rodeada de intereses, los factores políticos incidieron en la investigación de Pauling.”</i> ▪ <i>“Menciona la ‘carrera’ que se vivía por ver quién era el primero en modelizar la molécula, y hace especial énfasis en los conflictos políticos que impidieron a Pauling disponer de los mismos datos que si Watson y Crick.”</i> ▪ <i>“Puede verse una fuerte problematización hacia el interior de la comunidad científica que pretende ‘humanizarla’ destacando las disputas y rivalidades en la construcción del conocimiento, como así también la esfera de las decisiones políticas que inciden en la actividad en ese momento histórico.”</i> ▪ <i>“...cuestiona aspectos éticos como el acceso a los datos y el conocimiento como parte del dominio público (algo ausente en los otros dos textos).”</i> ▪ <i>“Muestra que los científicos están sujetos al poder político”.</i> ▪ <i>“Y también que quienes hacen ciencia son personas y por esto no están libres de conductas egoístas que al final pueden entorpecer la actividad”.</i> ▪ <i>“...la redacción la distingo como una fortaleza y también el estudio de los rayos x que en otros anexos no le dan mucha importancia...”.</i> ▪ <i>“...está bueno como se pone en paralelo las jugadas y papeles políticos, se muestra a la ciencia como algo que interpela la sociedad por más de un ángulo...”</i> ▪ <i>“...es muy destacable, como se menciona el trabajo de Watson y Crick, trabajando fuera de los parámetros del método tradicional, mostrando más de una forma de hacer ciencia.”</i>
<p>Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>“...considerando la mención de la competencia entre grupos científicos, se menciona como posible debilidad el hecho de que se continúa alimentando una visión de científico que hace investigaciones a escondidas para ser los primeros en lograr un descubrimiento.”</i> ▪ <i>“No hace ninguna crítica, se afirma que Watson y Crick fueron quienes descubrieron la estructura del ADN.”</i> ▪ <i>“No solo no menciona el hecho del robo de datos a Franklin, sino que expresa los hechos como si Wilkins hubiera tenido derecho a compartir los datos tomados por su</i>

<p><i>compañera y esta hubiera prestado consentimiento a ello, lo cual invisibiliza la participación esencial que tuvo Rosalind en el modelado de ADN reproduciendo la invisibilización de los aportes femeninos a la ciencia”.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>“Da una imagen de científico individualista y competitivo.”</i> ▪ <i>“...el papel que le da a Rosalind Franklin es apenas anecdótico, otorgándole un lugar secundario e ignorando el controversial uso que hicieron de sus datos de investigación.”</i> ▪ <i>“Es una breve reseña pero es empobrecida desde el aspecto en que no se busca un marco social ni porque se buscaba la estructura del ADN.”</i> ▪ <i>“Pareciera que el texto intenta minimizar el hecho de que Wilkins mostró el trabajo de Franklin a otros sin su permiso.”</i> ▪ <i>“...como debilidad noto el lugar que le dieron a Rosalind Franklin, solo la mencionan”.</i> ▪ <i>“...la visión de la competencia por el prestigio aleja al descubrimiento de un acercamiento con utilidad social.”</i> ▪ <i>“En tanto a la visión del científico específicamente, los manifiesta como avocados a su labor, especialistas en su área, no se muestra más que eso...”</i>

Tabla 8. Resumen de las fortalezas y debilidades del recurso textual N° 3.

RECURSO TEXTUAL N°3	
Tomado de: Botto, J. (2008). El modelo de ADN. En: Botto, J. (Coord.) <i>Biología 1° Polimodal</i> (34-35pp.). Tinta Fresca.	
Fortalezas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>“Destaco que lxs científicos deben buscar bibliografía (si ya había investigaciones previas) antes de avanzar con la investigación.”</i> ▪ <i>“Se hace una mínima mención a los descubrimientos realizados por otros científicos (aunque se aclara que sirvieron como base).”</i> ▪ <i>“La presentación de un recorte de los dichos de Watson en su relato autobiográfico, donde relata y describe el proceso por el cual se llegó a un modelo final de la molécula y queda expresa la línea de pensamiento que fueron siguiendo hasta alcanzar su objetivo [...] ayuda a desmitificar la idea usual de que los avances y experimentos científicos se dan en una única dirección, sin interrupciones y sin errores, y que por el contrario se dan en un proceso de invención, reinención y reescritura de lo postulado anteriormente.”</i> ▪ <i>“...resalto el apartado donde se cuenta el procedimiento de razonamiento que se siguió por Watson para la conclusión de la doble hélice, mostrando también las formas de hacer ciencia.”</i>
Debilidades	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>“En el pie de una de las fotografías se menciona a Watson y Crick junto a Wilkins, pero en ningún momento se hace mención de la “injusticia” de que Franklin no haya tenido un verdadero reconocimiento.”</i> ▪ <i>“Faltan destacarse otros intereses, sean políticos, económicos, democráticos.”</i> ▪ <i>“Relaciona poco los descubrimientos y las implicancias sociales.”</i> ▪ <i>“No menciona los aportes previos de otros científicos a la modelización del ADN, lo cual reproduce la concepción de que los descubrimientos científicos se dan como</i>

eventos aislados producto de una única mente brillante, prescindiendo ésta de aportes y construcciones previas al conocimiento.”

- *“En cuanto a la participación que tuvo Franklin y al fraude cometido por su compañero Wilkins, no se menciona el hecho, y se le atribuye el mérito en igualdad de condiciones a ambos.”*
- *“Se ignoran los conflictos de la comunidad científica en torno al tema a lo largo de su descubrimiento”*
- *“Se puede decir que brinda una imagen de ciencia más colaborativa, acumulativa y apromblemática.”*
- *“ Al exponerse un fragmento de la publicación de Watson, Franklin queda desvalorizada y desdibujada...”*
- *“No tiene en cuenta los factores sociales que si son mostrados en los dos textos anteriores.”*
- *“No tiene en cuenta los factores sociales que si son mostrados en los dos textos anteriores.”*
- *“Sólo toma en cuenta la versión de Watson sobre cómo se llevaron a cabo los descubrimientos.”*
- *“...no se habla de métodos de verificación ni de controversias paralelas al descubrimiento, solo se trata lo disciplinar.”*

Como se mencionó con anterioridad, la mayoría de las y los estudiantes resaltaron a los textos N°1 y N°2 con mayores fortalezas que el texto N°3. Tanto las debilidades como fortalezas señaladas en los diferentes recursos textuales pueden incluirse dentro de lo que Irzik y Nola (2011) contemplan en la categoría socio-institucional o en lo que Allchin (2011) propone como características socio-culturales para la enseñanza de la NOS (*“Nature of Science”* en inglés).

Las fortalezas señaladas se vincularon con la consideración de cuestiones de género, así como con la contextualización y presentación del entramado político social en el que tuvo lugar la labor científica. En lo referido a las cuestiones de género, se destacó como una de las principales fortalezas del texto N°1, la mención de la científica Rosalind Franklin y sus contribuciones a la elucidación del modelo de la estructura molecular del ADN. Sobre este mismo texto, se destacaron cuestiones vinculadas al modo en que se construye conocimiento científico, enfatizando en su carácter provisional, así como la visualización de desacuerdos, controversias y tensiones hacia el interior de la comunidad científica en distintos momentos históricos; lo que en palabras de las y los estudiantes *“posibilita alejarse de la imagen de ciencia desconflictuada y ahistórica”*.

Las cuestiones político-sociales, fueron una de las fortalezas destacadas en el texto N°2. Se hizo referencia a que el texto alude al aspecto competitivo de los grupos de investigación;

en este sentido una de las estudiantes indicó: *“Menciona la ‘carrera’ que se vivía por ver quién era el primero en modelizar la molécula, y hace especial énfasis en los conflictos políticos que impidieron a Pauling disponer de los mismos datos que si Watson y Crick.”*. En esta misma línea, otro de los estudiantes expresó que *“Puede verse una fuerte problematización hacia el interior de la comunidad científica que pretende ‘humanizarla’ destacando las disputas y rivalidades en la construcción del conocimiento, como así también la esfera de las decisiones políticas que inciden en la actividad en ese momento histórico”*. Desde un punto de vista comparativo, el recurso textual N° 3 fue al que se le destacaron menos fortalezas, pero vale aclarar que no estuvo exento de las mismas. En este sentido resultó sumamente interesante ver como una misma característica fue concebida como fortaleza por una estudiante y como debilidad por otra. La característica en cuestión refería al aporte autobiográfico que hace el texto al citar dichos de Watson. Con relación a esto, una de las estudiantes señaló como fortaleza que: *“La presentación de un recorte de los dichos de Watson en su relato autobiográfico, donde relata y describe el proceso por el cual se llegó a un modelo final de la molécula y queda expresa la línea de pensamiento que fueron siguiendo hasta alcanzar su objetivo [...] ayuda a desmitificar la idea usual de que los avances y experimentos científicos se dan en una única dirección, sin interrupciones y sin errores, y que por el contrario se dan en un proceso de invención, reinención y reescritura de lo postulado anteriormente”*.

Mientras que la estudiante que identificó esto como debilidad expresó: *“Al exponerse un fragmento de la publicación de Watson, Franklin queda desvalorizada y desdibujada...”*. Si bien es interesante notar como afloraron diferentes puntos de vistas respecto de una misma característica, resulta más significativo aún el hecho de que se logren visualizar dichas cuestiones.

Para finalizar, vale mencionar que otra cuestión identificada en las producciones, estuvo vinculada a quedos de las nueve producciones de estudiantes del profesorado de Ciencias Biológicas, incluyeron dentro del análisis aspectos vinculados con el formato de los recursos, como por ejemplo la existencia o no de imágenes, así como la extensión y claridad del texto. No obstante, estas diferencias, es posible afirmar que en todos los casos fue posible identificar que se pusieron en juego ideas sobre diferentes aspectos de la Naturaleza de la

Ciencia, a partir de los cuales se justificaron las fortalezas y debilidades de los recursos objeto de la tarea.

5. Conclusiones

Retomando los objetivos específicos formulados para la implementación de esta secuencia didáctica, es posible concluir que:

- a) Las instancias de trabajo individual permitieron que las y los estudiantes elucidaran sus representaciones sobre la ciencia, el modo en que ésta se construye y las características adjudicadas a quienes se dedican a la actividad científica. Por otra parte, las instancias de trabajo colaborativo posibilitaron el intercambio de ideas que pusieron en tensión creencias y rasgos estereotípicos vinculados a quienes se dedican a la actividad científica, tanto los asociados a los modos de ser o actuar, como aquellos referidos a las áreas disciplinares con las que relacionan la actividad científica.
- b) Se logró profundizar la comprensión de reduccionismos y visiones distorsionadas sobre la actividad científica, pudiéndose observar un impacto significativo en el reconocimiento de aspectos epistémicos que dan cuenta que la imagen de ciencia se matizó y enriqueció, principalmente en cuestiones referidas a la concepción de ciencia neutral y empiroinductivista, así como a las representaciones metodológicas, complejizando el modelo de "método científico", que comenzó siendo una secuencia lineal de pasos, para posteriormente incluir instancias de retroalimentación, así como etapas de comunicación de resultados a través de la escritura de artículos científicos.
- c) La mirada acerca de la ciencia y su construcción se enriqueció, siendo un indicador de esto el reconocimiento de aspectos subjetivos, valóricos y contextuales en la producción del conocimiento científico, destacándose el impacto social del trabajo científico así como los factores económicos y políticos que influyen en la toma de decisiones.

Asimismo consideramos que las imágenes acerca de labor científica y de quienes se dedican a ella tomaron distancia de las representaciones iniciales (mayoritariamente estereotípicas), evidenciándose la identificación y consideración de rasgos vinculados con el género, así como con el contexto cultural, social y político.

La implementación de la presente secuencia didáctica no sólo fomentó algunas modificaciones en las representaciones de las y los estudiantes, sino que también evidenció la

necesidad de generar la explicitación y distanciamiento crítico de ellas, así como la toma de conciencia sobre la posible influencia de estas ideas en sus futuras propuestas de clase.

6. Consideraciones finales y posibles horizontes

Al realizar un análisis global de la secuencia didáctica implementada resulta de interés recuperar algunas ideas que surgen como producto de la valoración del trabajo. En este sentido, aflora la necesidad de dejar de esperar que los cambios curriculares estructurales se den en los planes de estudio y comenzar a generar espacios de reflexión acerca de la ciencia y su enseñanza, indistintamente de la asignatura de la que se trate, que posibiliten a las y los estudiantes del profesorado explicitar sus propias ideas acerca de la ciencia y su construcción. Se hace necesario también, la inclusión y/o actualización de los componentes metateóricos que permitan profundizar la comprensión de la Naturaleza de la Ciencia, lo que sin duda alguna, contribuirá con sus futuros desempeños profesionales.

Considero que la investigación en el campo de la Didáctica de las Ciencias Naturales es cada vez más vasta y nutrida, ofreciendo no sólo marcos teóricos de soporte, sino también experiencias prácticas de innovación diversas, por lo que es hora de empezar a construir puentes para que asomen en las aulas de formación del profesorado permitiendo que sirvan como verdaderos pasajes, conducentes no solo a la articulación de conocimientos sino también a mejorar la comprensión de los mismos, a enriquecerlos y a realizar interpretaciones globales o de conjunto.

En cuanto a los posibles caminos futuros, resulta de interés construir e implementar secuencias didácticas que permitan un trabajo metateórico más profundo, incluyendo por ejemplo, la perspectiva de los campos teóricos estructurantes que propone Aduriz Bravo (2016). Asimismo, sería interesante poder valorar, el impacto de dichas secuencias, durante la toma de decisiones didácticas que realizan las y los estudiantes en las prácticas docentes del último año de la carrera.

Por otra parte, sistematizar las actividades de exploración de los diseños curriculares en torno a las temáticas de interés del presente trabajo también representaría un valioso aporte dado que involucra a las y los futuros docentes en procedimientos analíticos sobre los documentos y prescripciones que impactan en forma directa en las prácticas de aula. Observar los modelos curriculares y también las teorías educativas que los respaldan considerando que

son característicos de una determinada época y contexto sociocultural y político en los que están anclados, resultan insumos y saberes calificados para las y los estudiantes de los profesorados. Por esta razón, involucrarlos en actividades concretas y situadas para pensar acerca de los modelos curriculares con los que van a trabajar, les pueden aportar algunos elementos e ideas para sus prácticas de enseñanza.

7. Referencias bibliográficas

- Acevedo Díaz, J. A. (2004). Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: Educación Científica para la ciudadanía. *Eureka*, 1(1), 3-15.
- AcevedoDíaz, J. A. (2009). Enfoques explícitos versus implícitos en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 355-386.
- Acevedo Díaz, 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. y García Carmona, A. (2016). Uso de la historia de la ciencia para comprender aspectos de la naturaleza de la ciencia: fundamentación de una propuesta basada en la controversia Pasteur versus Liebig sobre la fermentación. *Revista iberoamericana de ciencia tecnología y sociedad*, 11(33), 203-226.
- Audesirk, T.; Audesirk, G y Byers, B. (2004). Descubrimiento de la doble hélice. En:Audesirk, T.; Audesirk, G y Byers, B. (Eds.) *Biología. Ciencia y Naturaleza* (144 pp.). Pearson
- Acevedo Díaz, J. A., García Carmona, A. y Aragón Méndez, M. D. M. (2018). 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.
- Acevedo Díaz, J. A., Vázquez-Alonso, A., Manassero Mas, M. M., y Acevedo-Romero, P. (2007). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: fundamentos de una investigación empírica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las ciencias*, 42-66.

- Audesirk, T.; Audesirk, G y Byers, B. (2004). Descubrimiento de la doble hélice. En:Audesirk, T.; Audesirk, G y Byers, B. (Eds.) *Biología. Ciencia y Naturaleza* (144 pp.). Pearson
- Adúriz Bravo, A. (2008). El científico, según la mirada de los niños. La Nación. Disponible en: http://www.lanacion.com.ar/nota.asp?nota_id=1009478 Consultada el 15/01/2020.
- Adúriz Bravo, A. (2009). La naturaleza de la ciencia “ambientada” en la historia de la ciencia. Enseñanza de las Ciencias, Barcelona, p. 1178-1181.
- Adúriz Bravo, A., y RevelChion, A. (2016). O pensamento narrativo no ensino de ciências. *Inter Ação*, 41(3), 691-704.
- Aleixandre, M., OTERO, J. R. G., SANTAMARÍA, F. E., & MAURIZ, B. P. (2009). *Actividades para trabajar el uso de pruebas y la argumentación en ciencias*. Danú.
- Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *ScienceEducation*, 95(3), 518-542.
- Anijovich, R. y Capelletti, G. (2017). *La evaluación en el escenario educativo. En: La evaluación como oportunidad* (1era ed., pp 13-27).
- Anijovich, R., Malbergier, M., y Sigal, C. (2004). La evaluación alternativa, develando la complejidad. En: *Introducción a la enseñanza para la diversidad*. (1era ed., pp 63-72). Fondo de Cultura Económica.
- Aragón Méndez, M. D.M, García Carmona, A. y Acevedo Díaz, J. A. (2016). Aprendizaje de estudiantes de secundaria sobre la naturaleza de la ciencia mediante el caso histórico de Semmelweis y la fiebre puerperal. *Revista Científica*, 4(27), 302-317.
- Barbosa, L. H. (2008). Los experimentos discrepantes en el aprendizaje activo de la física. *Latin-American Journal of physics Education*, 2(3), 24.
- Botto, J. (2008). El modelo de ADN. En: Botto, J. (Coord.) *Biología 1° Polimodal* (34-35pp.). Tinta Fresca.
- Caamaño, A. e Izaroque. G. (2009). La enseñanza y el aprendizaje de la terminología química: magnitudes y símbolos, *Educación Química*, 3, p. 46-55.
- Carrascosa A., J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte I). Análisis sobre las causas que la originan y/o mantienen. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2 (2),p 183-208.

- Couso, D. (2013). La elaboración de unidades didácticas competenciales. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 74, p. 12-24.
- Declaración de Budapest (1999). Marco general de acción de la Declaración de Budapest, <http://www.oei.org.co/cts/budapest.dec.htm>.
- De Longhi, A. L., Ferreyra, A., Peme, C., Bermudez, G., Quse, L., Martínez, S., ...y Campaner, G. (2012). La interacción comunicativa en clases de ciencias naturales. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 9(2), p. 178-195.
- Domínguez, M. A., y Stipcich, M. S. (2009). Buscando indicadores de la negociación de significados en clases de Ciencias Naturales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8(2), 539-551.
- Driver, R., Leach, J. y Millar, R. (1996). *Las imágenes de los jóvenes sobre la ciencia*. McGraw-Hill Education (Reino Unido).
- Fernández, I., Gil, D., Carrascosa, J., Cachapuz, A., y Praia, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 477-488.
- Fernández, I., Gil Pérez, D., Valdés, P., y Vilches, A. (2005). ¿Qué visiones de la Ciencia y la actividad científica, tenemos y transmitimos? En Gil Pérez, D., Macedo, B., Martínez Torregrosa, J., Sifredo Barrios, C., Valdés, P., y Vilches Peña, A. (Eds.) *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años.* (pp.29-56). Chile: Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe.
- Fernández Marchesi, N. y Pujalte, A. (2019). *Manual de elaboración de secuencias didácticas para la enseñanza de las Ciencias Naturales*, Ushuaia, Argentina, Universidad Nacional de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur.
- Fourez, G. (1997). Alfabetización científica y tecnológica. Acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias. Buenos Aires: Colihue.
- Furió, C. y Domínguez, C. (2007). Problemas históricos y dificultades de los estudiantes en la conceptualización de sustancia y compuesto químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(2), 241-258
- García Carmona, A. (2012). Cómo enseñar Naturaleza de la Ciencia (NDC) a través de experiencias escolares de investigación científica. *Alambique*, 72, 55-63.

- García Carmona, A., Manassero Mas, M. A., y Vázquez Alonso, Á. (2012). Comprensión de los estudiantes sobre naturaleza de la ciencia: análisis del estado actual de la cuestión y perspectivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(1), 0023-34.
- García Carmona, A. y Acevedo Díaz, J. A. (2016). 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., 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: revista de investigación y experiencias didácticas*.
- González Galli, L. M. (2011). Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural (Doctoral dissertation, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales).
- Hanson, Norwood. Onhavingthesame visual experiences. *Mind* 69 (275): 340-350, 1960. ———. Patrones de descubrimiento. Investigación de las bases conceptuales de la ciencia. Pp. 67-310, in: Patrones de descubrimiento. Observación y explicación. Trad. Enrique García Camarero. Madrid: Alianza, 1977 (a).
- Irzik, G., y Nola, R. (2011). A family resemblance approach to the nature of science for science education. *Science&education*, 20, 591-607.
- Legarralde, T.; Vilches, A.; Darrigran, G. (2009). Los científicos según la mirada de los estudiantes de secundaria. En Actas II Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales Actas, II (2):171-175, La Plata.
- Legarralde, T., Gallareta, S., Vilches, A., y Menconi, F. (2014). Representaciones sobre el concepto de "gameta" en futuros profesores de Biología. El papel de los libros de texto. *Revista de educación en biología*, 17(1), 55-69.
- Liberman, D. (4 de Noviembre de 2016) ¿Narrar la ciencia? Debates. Enseñanza, investigación y extensión en las Ciencias de la Naturaleza. <https://www.unicen.edu.ar/content/%C2%BFnarrar-la-ciencia>

- Liberman, D. (2011). El ADN como material hereditario: una mirada histórica. En: Mazzalomo, L. (Ed.) *Biología. Flujo de la información y funciones de relación, integración y control. ADN, genes y proteínas* (142-143 pp.). Editorial SM)
- Marradi, A., Archenti, N. y Piovani, J. 2010. *Metodología de las Ciencias Sociales*. Buenos Aires, CengageLearning. 303pp.
- Mejía, L. S., Abril, J. G., y Martínez, Á. G. (2013). La argumentación en la enseñanza de las ciencias. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 9(1), 11-28.
- Pujalte, P., Bonan, L., Porro, S., y Adúriz Bravo, A. (2014). Las imágenes inadecuadas de ciencia y de científico como foco de la naturaleza de la ciencia: estado del arte y cuestiones pendientes. *Ciência&Educação (Bauru)*, 20(3), 535-548.
- Ravanal Moreno, E. y Gatica, M. Q. (2010). Caracterización de las concepciones epistemológicas del profesorado de Biología en ejercicio sobre la naturaleza de la ciencia. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 111-124.
- Revel Chion, A. y Aduriz Bravo, A. (2014). La argumentación científica escolar: Contribuciones a una alfabetización de calidad. *Pensamiento Americano*, 7(13), 113-122.
- Sánchez, A. C. y Gómez, R. R. (2013). Enseñanza de las ciencias naturales para el desarrollo de competencias científicas. *Amazonia investiga*, 2(3), 30-53.
- Sánchez Blanco, G y ValcarcelPerez, M. V. (1993). Diseño de unidades didácticas en el área de Ciencias Experimentales. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 11(1), 33-44.
- Sanmartí, N. (2000). El diseño de unidades didácticas. En Perales Palacios, F. y Cañal de León, P.(Coord) *Didáctica de las ciencias experimentales*, (pp.239-266). España: Editorial Marfil.
- Sandoval, M. y Mora, C. (2009). Modelos erróneos sobre la comprensión del campo eléctrico en estudiantes universitarios. *Latin-American Journal of Physics Education*, 3(3), 647-655.
- Vázquez-Alonso, Á. y Manassero-Mas, M. A. (2012). La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y tecnología (parte 1): Una revisión de las aportaciones de la investigación didáctica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las ciencias*, 9(1), 2-31.

- Vázquez-Alonso, Á. y Antonia Manassero-Mas, M. (2018). Más allá de la comprensión científica: educación científica para desarrollar el pensamiento. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 309-336.
- Vigotsky, L. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona: Grijalbo.
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: *Diccionario de la lengua española*, 23.^a ed., [versión 23.6 en línea]. <<https://dle.rae.es>> [mayo 20219].

ANEXOS

Un joven científico y su doctorado sobre la problemática del dengue

Breve descripción general de la problemática

El dengue es una enfermedad viral principalmente transmitida por un mosquito vector conocido como *Aedes aegypti*. Se trata de una enfermedad re-emergente, dado que desde 1980 en adelante viene reapareciendo en el mundo, aumentando su incidencia año a año. Es considerada la enfermedad viral transmitida por artrópodos más prevalente en la actualidad, con aproximadamente 50 millones de infecciones por año (World Health Organization, 2009). Enfermedad aguda, puede resultar asintomática, leve o grave. En forma leve se manifiesta como una fiebre fuerte con dolor articular y en los huesos (se la conoce en algunas zonas como “fiebre rompehuesos”). Las formas graves tienen mayor probabilidad de ocurrir si un individuo se infecta más de una vez. Existen cuatro serotipos del virus, que son inmunológicamente diferentes, por lo que es posible infectarse hasta cuatro veces. La tasa de mortalidad por dengue grave es 2,5% en el mundo. No existen vacunas ni remedios específicos para su prevención y tratamiento. El mosquito es fundamentalmente urbano y pica casi exclusivamente al humano. Que el mosquito sea vector de la enfermedad significa que es agente de la transmisión, es decir que al picar a un humano infectado, es capaz de infectar a otro a través de una nueva picadura. Se cria fundamentalmente en recipientes artificiales con paredes rígidas como tanques y cacharros, poniendo sus huevos al ras del agua (no se encuentra en cuerpos de agua naturales como lagos o zanjas). El ciclo de vida de los mosquitos comienza como huevos, a partir de los cuales eclosionan larvas que se convierten en pupas (larvas y pupas son estadios acuáticos) de donde finalmente emergen los mosquitos adultos.

El relato (en cuatro fragmentos)

Primer fragmento

El trabajo de mi tesis de doctorado en Biología empezó en 2007. Pretendía analizar el funcionamiento de una estrategia de control del mosquito *Aedes aegypti* para la prevención del dengue, que se estaba implementando en la ciudad de Clorinda, Provincia de Formosa (Argentina). Clorinda es considerada uno de los tres principales focos de riesgo de transmisión del dengue en la Argentina, por la cercanía de la muy transitada frontera con Paraguay, donde la enfermedad es endémica. Es la segunda ciudad en importancia de la provincia, con unos 50.000 habitantes.

El estudio surgió a partir de un acuerdo para colaborar entre un grupo de investigación de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, y una Fundación que venía llevando adelante una estrategia de control del mosquito *Ae. aegypti* para la prevención del dengue en Clorinda entre sus actividades. El grupo de investigación hasta el momento había trabajado otras problemáticas y era la primera vez que estudiaba al dengue.

Por mi parte, yo estaba a punto de recibirme de Licenciado en Biología y me puse a tocar puertas, buscando opciones para mi Doctorado. Una de esas puertas fue la de este grupo, justo cuando estaba comenzando el convenio con la Fundación. El director del grupo me ofreció tomar ese tema y ocuparme del análisis de la estrategia de control en Clorinda. A diferencia de otros doctorandos, tuve la suerte de que aún estaba todo por pensarse y hacerse, no me estaban dando algo ya elaborado. Para realizarlo, obtuve una beca doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), con duración de tres años y opción a renovarla por dos años más.

La estrategia de control a estudiar comenzó en 2003 mediante un convenio entre la Fundación y la Municipalidad de Clorinda. A partir de 2009 quedó en manos de la Municipalidad. Se basó fundamentalmente en inspeccionar todas las casas de la ciudad en forma cíclica (“ciclos focales”) y en la aplicación de un insecticida llamado temefós (inocuo para las personas en las dosis recomendadas). Las referencias internacionales indicaban que el temefós es efectivo entre 8 y 12 semanas y por eso los ciclos focales se realizaban cada 3 ó 4 meses.

La Fundación contaba con un grupo de voluntarios y beneficiarios de planes sociales impartidos por el estado (que luego fueron efectivamente contratados) para realizar las tareas de control y monitoreo, recorriendo la ciudad ordenadamente, en varios grupos de dos personas. Al llegar a una vivienda decían: “Buen día, somos de la Fundación, estamos haciendo la campaña de prevención contra el dengue, ¿podríamos pasar a revisar su patio?”. Si la respuesta era afirmativa (y en el 75% de los casos lo era; 22% de las veces no encontraban a nadie y 3% les decían que no) recorrían el patio de la casa, revisando todos los recipientes que encontrarán. Las casas de Clorinda pueden ser más o menos precarias pero casi todas tienen patio, donde se encuentran recipientes que pueden contener al mosquito. Mucha gente recoge agua en tanques grandes (debido a que el servicio de agua de red no es muy bueno), pueden tener distintos tipos de cacharros (latas, botellas rotas, etc.) y también neumáticos. Al encontrar recipientes con agua, y especialmente si tenían larvas o pupas del mosquito, realizaban algún tipo de acción. Si eran pequeños y no tenían uso, los vaciaban y daban vuelta o los destruían. En el caso de los recipientes más grandes, les pedían permiso a los dueños de casa para tratarlos con temefós y, de obtenerlo, le agregaban una dosis del larvicida con una cucharita (viene en gránulos, como si fuera arena). Los operarios de la Municipalidad actualmente realizan actividades similares, aunque no en forma tan sistemática.

Por nuestra parte, lo primero que hicimos fue analizar los datos que históricamente la Fundación había recopilado. Para ello, juntamos las miles de planillas que nos pasaron y conseguimos un *data entry* (persona que se ocuparía de pasar los datos a la computadora), pagado por la Fundación. Entre otras cosas, las planillas tenían información para lo que se conoce como índice de viviendas, es decir el porcentaje de viviendas infestadas con *Ae. aegypti*. Para empezar el análisis, graficamos ese índice a lo largo del tiempo (en 14 ciclos focales) para ver cómo variaba entre los barrios de la ciudad. Los resultados se ven en la Figura 1, tomada de un artículo que publicamos más tarde (Gürtler *et al.*, 2009).

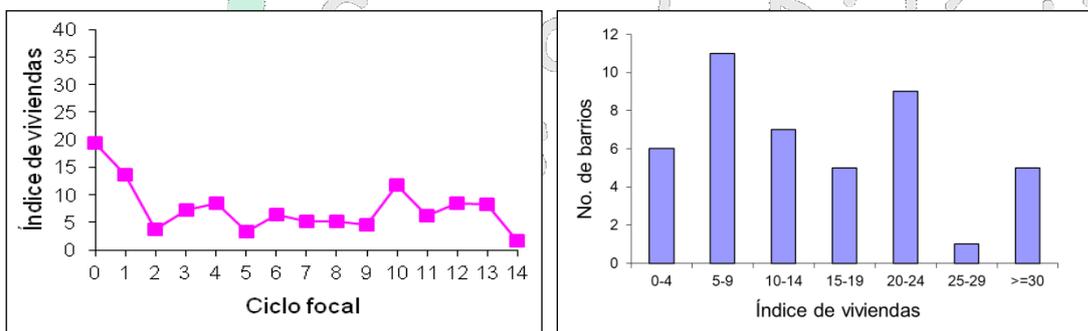


Figura 1. Evolución temporal del índice de viviendas y número de barrios en el primer ciclo focal con diferentes intensidades de índice de viviendas.

Segundo fragmento

Lo que vimos y luego probamos estadísticamente fue que el número de casas infestadas empezó en un 20% y enseguida bajó tras el comienzo de la estrategia de control. Sin embargo, ese descenso encontró un piso alrededor del 7% donde se quedó fluctuando. A su vez,

encontramos una gran heterogeneidad entre barrios, algunos estaban muy infestados y otros muy poco. Es decir, si bien el control tenía un impacto sobre la cantidad de mosquitos, no era suficiente, y, por lo tanto, aún había riesgo de transmisión de dengue, especialmente en algunas zonas.

Entonces nos preguntamos: ¿Por qué los índices no bajan más? (a pesar de todo el esfuerzo de control que están haciendo) ¿Qué es lo que está fallando?

Con estas preguntas realizamos nuestro primer viaje a Clorinda. Yo hasta ese momento había leído muchísimo sobre dengue, todos los días leía varios artículos, poniéndome al día con los antecedentes encontrados en la literatura. Este fue el momento de salir del mundo del papel y de los datos que teníamos, para adentrarnos en el mundo real del “sistema” que estábamos empezando a estudiar. El objetivo del viaje fue empezar a conocer Clorinda, empaparme de su realidad, conocer a su gente, a quienes estaban haciendo el trabajo de control, los hábitats del mosquito y generar hipótesis sobre qué podría estar limitando el control.

Para generar hipótesis sobre las limitaciones al control, revisamos los pasos de la estrategia e identificamos lo que podía estar fallando. En ello fue fundamental conversar tanto con operarios de la Fundación como con dueños de casas que pudimos visitar. Así, se nos ocurrieron estas alternativas (no excluyentes entre sí):

- Que no estuvieran revisando todas las zonas donde podía encontrarse el mosquito. Vimos que había terrenos baldíos a los que no entraban y que en el interior de las viviendas la revisión no era muy exhaustiva.

- Que no estuvieran reconociendo ciertos recipientes que pudieran actuar como criaderos. Si bien podía ser buena la técnica de búsqueda, tal vez existían recipientes que podían criar al mosquito pero que no eran reconocidos como tales, especialmente recipientes naturales (por ejemplo, el interior de una caña). Este tipo de recipientes en muchos programas de control no eran considerados, pero hacía poco se había publicado un artículo de Brasil señalando su posible importancia.

- Que los operarios no estuvieran haciendo bien el trabajo. Por ejemplo, que no encontraran todos los recipientes de las casas o que pusieran mal la dosis de temefós.

- Que en las casas cerradas o renuentes no se estuvieran tratando muchos criaderos. Si bien en general los operarios eran bien recibidos, en el 25% de las casas no podían entrar y quizás por eso dejaban sin tratar muchos criaderos.

- Que existiera resistencia por parte de las larvas al temefós. En otras partes del mundo se había encontrado este fenómeno y tal vez era eso lo que limitaba su acción.

- Que el efecto del temefós no durara tanto como se esperaba. Las referencias internacionales decían que el temefós duraba entre 8 y 12 semanas, sin embargo, conversando con dueños de casas, nos enteramos que muchos recambiaban el agua de sus tanques en forma frecuente, lo cual podría afectar la duración del larvicida.

Tercer fragmento

A la vuelta del primer viaje, comenzamos con dos tareas. Por un lado, a escribir un artículo sobre el impacto de la estrategia de control, algo que nos llevaría muchos meses y que estaría escrito por mi director como primer autor, un integrante de la Fundación como tercero y yo como segundo (Gürtler *et al.*, 2009). Por el otro, empezamos a planificar nuestros siguientes pasos, a pensar cómo responder nuestras preguntas y presentarle a la Fundación un plan de trabajo.

La escritura de este artículo, como de todos los que hicimos, demandó mucho tiempo y esfuerzo. Los *papers* científicos son un género literario particular, tienen su forma pautada de redactarse y es necesario aprenderla, algo que generalmente ocurre en la práctica, al comenzar a escribir. Yo lo fui haciendo a partir de ciclos en los cuales yo escribía y mi director me

corregía hasta llegar a una pulida versión final (en este primer artículo él escribió la mayor parte del texto, pero en los siguientes escribí siempre yo). A su vez, para publicar en las revistas de mayor prestigio, los *papers* deben estar escritos en inglés.

Con vistas a mejorar el control, nos hicimos otras preguntas: ¿Qué características tienen los recipientes en los que más mosquitos se crían? ¿Por qué algunos son criaderos y otros no?



Figura 2. Recipientes hallados en Clorinda: floreros, tachos, baldes, botellas, neumáticos, recipientes con plantas en agua, lonas, tanques, bebederos de animales y aljibes.

Al generar estas preguntas nos vimos fuertemente influenciados por lo que estaba sucediendo en la literatura internacional sobre dengue. Por esa época se hacía una dura crítica a los índices de vivienda y otros parecidos, y científicos muy prestigiosos recomendaban realizar censos pupales: revisar los recipientes contando todas las pupas que albergaran, logrando una estimación cuantitativa. Así, se volvió una especie de moda de esos años hacer censos pupales para determinar qué recipientes eran los más productivos y aparecieron trabajos de muchas partes del mundo publicando estos resultados. Contar pupas se había convertido en un “cambio de paradigma”, en palabras de quienes lo proponían, y nosotros también fuimos parte de eso. Es interesante ver que hoy en día ya no es así y suele considerarse que cada índice sirve, aunque para objetivos diferentes.

A fin de poner a prueba todas estas hipótesis y responder a las preguntas que teníamos le presentamos a la Fundación un plan de trabajo que incluía varios viajes para hacer censos pupales, caracterizar los recipientes más productivos y estudiar las hipótesis 1 a 5. Para ello decidimos trabajar en el barrio 1° de Mayo, el más infestado y populoso de la ciudad. El plan fue aprobado, la Fundación aportó fondos y puso a nuestra disposición su sede en Clorinda, con sus más de 10 operarios. Esto fue lo que trabajamos entre 2007 y 2008.

Lo que hicimos fue fundamentalmente ir a las visitas de todas las casas del barrio, trabajar en conjunto con los operarios de la Fundación y asegurarnos de que todo se hiciera siguiendo los protocolos pautados, que se revisaba todo, incluyendo los baldíos, el interior de las casas y recipientes naturales u otros que antes no fueran detectados como tales; y que se colocara la dosis adecuada de temefós. A su vez, hicimos un esfuerzo para volver a las casas cerradas en otro horario e intentar examinarlas. Además hicimos el censo pupal, anotando también el tipo de recipiente y algunas de sus características (si estaban tapados o no, si estaban al sol o la sombra y otras).

Todo el esfuerzo extra nos sirvió para ver que no había grandes problemas ni con los baldíos, ni con el interior de las casas, ni con recipientes que no fueran previamente reconocidos como tales, encontramos muy poca cantidad de pupas en esos lugares. Lo que constatamos fue que en las casas cerradas que pudimos inspeccionar (logramos bajar el porcentaje a sólo 7%) habían tantos criaderos como en el resto de las casas pero que no podían ser tratados, o sea que en cada ciclo quedaban muchos focos residuales en las casas no inspeccionadas.

Pero lo fundamental que logramos en estas campañas fue hablar con la gente e interiorizarnos más de la problemática. Fortalecimos así mucho la hipótesis 6 a partir de todo lo que nos contaban los pobladores sobre sus hábitos de uso de agua y cómo muchas veces recambian el agua de los tanques, incluso volcando su contenido. Por último, encontramos que los tanques grandes eran por lejos los recipientes más productivos, albergando el 70% de las pupas colectadas, a pesar de ser los recipientes más tratados con el temefós.

Entonces volvimos a hacer lo ya hecho: con el trabajo realizado escribimos un artículo sobre dónde se encontraban los mosquitos en Clorinda (

Garelli *et al.*, 2009) y diseñamos y presentamos a la Fundación un nuevo plan para ver qué pasaba con el temefós en los tanques de la gente, a ser desarrollado entre fines de 2008 y principios de 2009. El mismo también fue aprobado.

Así, fuimos a hablar a 60 casas en Clorinda para tratarles el tanque y, semanalmente, pasar a retirar una muestra de agua. Llevamos cada una de esas muestras al laboratorio y les agregamos 20 larvas de *Ae. aegypti*, registrando la mortalidad de las mismas a las 24 horas. Con esos datos pudimos determinar cuánto duraba el efecto larvicida. El resultado fue notable, apenas entre 2 y 3 semanas en la mayoría de los casos, aunque con una gran heterogeneidad.

Entonces logramos llegar a un diagnóstico acerca de qué estaba pasando en Clorinda. La estrategia de control funcionaba pero encontraba limitaciones: por un lado el efecto del temefós duraba menos de lo esperado y por otro, en las casas donde no se lograba ingresar quedaban criaderos sin tratar. Esto generaba que el sistema funcionara en forma cíclica: al realizarse el tratamiento, la cantidad de mosquitos disminuía, pero al ir perdiéndose el efecto del temefós, los recipientes tratados eran recolonizados, a partir de mosquitos que nacían en recipientes de las casas cerradas o renuentes, aumentando paulatinamente la infestación hasta la llegada del próximo ciclo.

Intentamos publicar todos estos análisis, siempre apuntando a revistas científicas del mayor impacto. Particularmente me interesa contar sobre un trabajo referido a la falta de eficacia en campo del temefós. Si bien nos parecía un trabajo muy importante, nos costó muchísimo publicarlo, demandó más de un año. Lo enviamos a una revista reconocida e inicialmente fue devuelto con una evaluación negativa. Sin embargo, nos pareció que lo que decían los evaluadores no era correcto y estaba poco fundamentado. Decidimos apelar la decisión frente al editor. Así, logramos una segunda oportunidad y finalmente, luego de varios cambios, fundamentalmente de forma y no de contenido, logramos publicarlo (Garelli *et al.*, 2011).

Yo imaginaba que decir que una de las herramientas de control de dengue históricamente más utilizadas no funcionaba como se esperaba era algo que traería repercusiones. Hasta nos hicieron una nota en un importante diario argentino al respecto. Sin embargo, creo que me equivoqué. Hasta ahora, ya dos años después de su publicación nada ha pasado, pensando en los Ministerios de Salud y las estrategias de control en Argentina y otros lugares. Aparentemente el temefós se sigue utilizando igual que antes.

Cuarto fragmento

Desde mi punto de vista, lo que habíamos hecho hasta ese momento era interesante pero necesitaba algo más. Encarar el estudio de una problemática como el dengue y comprender

cómo funcionan algunas cosas de su dinámica tiene valor pero creo necesario aprovechar ese conocimiento para impactar sobre la realidad. Así, nos surgió la pregunta: ¿Cómo podríamos mejorar la prevención del dengue?

Existen múltiples opciones muy distintas entre sí, algunas más exploradas, otras menos. Estas son algunas de las que barajamos:

- Buscar cómo mejorar el control a partir de insecticidas. Podrían buscarse insecticidas alternativos, que duren más tiempo en los recipientes de la gente.

- Utilizar agentes de control biológico. Por ejemplo, en Vietnam utilizan unos bichitos (copéodos) que se ponen a los recipientes y se comen las larvas de los mosquitos.

- Realizar una estrategia con participación de la comunidad. Que la comunidad participe de la prevención, se involucre y tome decisiones es una idea diferente a todo lo que venimos describiendo. La estrategia de la Fundación y la mayoría de las implementadas en la historia son “verticales”, la prevención la realizan ciertas personas de alguna institución pero la comunidad, los dueños de casas no hacen mucho, sólo dejan ingresar en sus casas a los operarios.

- Realizar una campaña para colocarles tapas a los tanques de todas las viviendas de Clorinda. Los tanques suelen ser de fibrocemento o plástico y no poseen tapas, en muchos casos porque se rompen, porque los compraron sin tapa o porque no la utilizan. Una tapa funcional asegura, fuera de los momentos de acopio, mantener al tanque tapado y no permitir a los mosquitos ingresar para poner sus huevos.

- Proporcionarle agua corriente de calidad a todos los habitantes de Clorinda. Si bien traería muchos beneficios, no conocemos que haya planes actualmente para hacerlo.

Por nuestra parte, decidimos intentar fomentar la participación de la comunidad y mientras escribíamos este relato, seguíamos en eso. Pero ésa ya es otra historia y la dejaremos para alguna otra oportunidad...

Referencias

Garelli, F. M., Espinosa, M. O., Weinberg, D., Coto, H. D., Gaspe, M. S., & Gürtler, R. E. (2009). Patterns of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) infestation and container productivity measured using pupal and *Stegomyia* indices in northern Argentina. *Journal of medical entomology*, 46(5), 1176-1186.

Garelli, F. M., Espinosa, M. O., Weinberg, D., Trinelli, M. A., & Gürtler, R. E. (2011). Water use practices limit the effectiveness of a temephos-based *Aedes aegypti* larval control program in Northern Argentina. *PLoS neglected tropical diseases*, 5(3), e991.

Gürtler, R. E., Garelli, F. M., & Coto, H. D. (2009). Effects of a five-year citywide intervention program to control *Aedes aegypti* and prevent dengue outbreaks in northern Argentina. *PLoS neglected tropical diseases*, 3(4), e427.

Anexo

Semmelweis y la fiebre puerperal

Ignaz Philipp Semmelweis nació en Taban, parte de Buda (Hungría)¹⁰. En 1837, ingresó en la Universidad de Viena para estudiar medicina. Concluyó sus estudios en 1844 y, en 1846, entró a trabajar en el Hospital General de Viena (inaugurado en 1784) como asistente del doctor Johann Klein¹¹, director del primer pabellón (PP) de obstetricia desde hacía más de veinte años. El hospital era público y se había fundado, sobre todo, para entrenar a los médicos en obstetricia, pues tenía el centro más grande de Europa en esta especialidad. Debido al gran número de partos, muchos estudiantes de medicina y alumnas de partería acudían al hospital para hacer prácticas clínicas. Estos servicios estaban destinados especialmente a mujeres que no podían pagar la asistencia privada de un médico o una comadrona. La mayoría de ellas eran extranjeras, inmigrantes y madres que daban a luz fuera del matrimonio.

Durante el período del director anterior (1789-1822), el doctor Johann Lucas Boër, la tasa de mortalidad materna del departamento de obstetricia había sido de 1.25% en unos 71.000 pacientes. Boër impartía sus lecciones de anatomía con maniqués para enseñar la anatomía femenina y desaconsejaba el uso del fórceps. Cuando Klein tomó posesión de su puesto, decidió que la enseñanza se hiciera con cadáveres, una práctica que ya se usaba en otras universidades y hospitales de Europa. Klein reorganizó el hospital en dos pabellones: uno para médicos, el PP, y otro para comadronas, el segundo pabellón (SP). Desde entonces, la mortalidad por fiebre puerperal aumentó en el PP frente a la del SP.

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

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

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

¿Cómo –se preguntaba Semmelweis– podía verse infestado durante años el PP del hospital y no el SP? Y ¿cómo compatibilizar esto con el hecho de que mientras la fiebre assolaba el hospital, apenas se producían casos en la ciudad de Viena o sus alrededores? Una epidemia verdadera, como el cólera, no podía ser tan selectiva. Asimismo, Semmelweis comprobó que las mujeres que daban a luz en la calle, mientras iban de camino al hospital, tenían un porcentaje de muertes por fiebre puerperal más bajo que las ingresadas en el PP del hospital, a pesar de las condiciones adversas. Semmelweis escribió en su diario:

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

¹⁰Después de las modificaciones jurídicas, políticas y territoriales introducidas por el Congreso de Viena (1814-15), Austria se anexionó Hungría, parte de Italia y Polonia, además de presidir la Confederación Germánica, configurándose así el Imperio Austro-Húngaro bajo la dinastía de la casa real Habsburgo. Las relaciones entre Viena y las diversas nacionalidades del Imperio siempre fueron tensas.

¹¹Previamente había concursado sin éxito a una plaza como asistente de patología con el doctor Jacob Kolletschka y a otra de asistente del doctor Joseph Skoda.

Semmelweis creía que era poco probable que la fiebre pudiera deberse a estas causas. Recopiló datos estadísticos¹² del número de muertes por fiebre puerperal tanto del PP, dirigido por Klein, como del SP, dirigido Bartch (véase la figura), y razonó que:

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

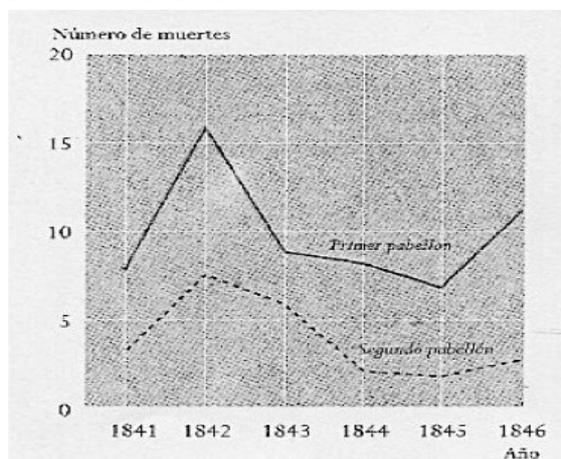


Figura. Número de muertes por fiebre puerperal por cada 100 partos. Tomada de Arregi, Sainz, Tambo y Ugarriza (2005).

Semmelweis examinó otras explicaciones del fenómeno que eran corrientes en la época, eliminó algunas incompatibles con hechos bien establecidos, y contrastó otras. Rechazó que la causa de la mortandad fuera la dieta o la atención general a las pacientes porque ambas eran similares en los dos pabellones. Del mismo modo, excluyó el hacinamiento que incluso era mayor en el SP, en parte porque las mujeres intentaban evitar que las ingresaran en el temido PP. Una explicación psicológica hacía notar que el sacerdote, que portaba los últimos auxilios a una moribunda, tenía que pasar por cinco salas del PP antes de llegar a la enfermería. Se opinaba que la aparición del sacerdote, precedido por un acólito que hacía sonar una campanilla, producía un efecto terrorífico y debilitante en las pacientes de las salas, que las hacía más propicias a contraer la fiebre puerperal. Esto no ocurría en el SP porque el sacerdote tenía acceso directo a la enfermería. Semmelweis le convenció para que diera un rodeo en el PP y suprimiera el toque de la campanilla para no anunciar su llegada. Pero la mortalidad no decreció.

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

Esta hipótesis explicaría que la mortalidad en el SP fuera mucho más baja, porque la preparación de las comadronas no incluía prácticas forenses. También podría explicar que la mortalidad fuera menor en *partos callejeros*, ya que las mujeres, que llegaban con el niño en brazos, casi nunca eran reconocidas después de su ingreso; por lo que tenían mayores posibilidades de escapar a la infección.

Klein no estaba de acuerdo con la hipótesis de Semmelweis, ni con sus propuestas. Sus explicaciones se basaban en la brusquedad de los estudiantes en los exámenes vaginales, debido a que la mayoría eran extranjeros¹³. Tras varias discusiones violentas, Klein lo destituyó como ayudante suyo en octubre de 1846¹⁴.

¹²Semmelweis había estudiado métodos estadísticos y de diagnóstico impartidos por el profesor Skoda, médico de la familia imperial, que se había formado con el doctor Pierre Charles-Alexandre Louis, el cual había fomentado la utilización de métodos cuantitativos en medicina mediante la estadística.

¹³En esa época, las revoluciones burguesas fueron frecuentes en Europa, apareciendo fuertes tendencias separatistas en el Imperio Austro-Húngaro. Muchos húngaros querían independizarse del poder de Viena, *circa* 1848, y Semmelweis fue acusado por Klein de apoyar la separación de Hungría.

¹⁴Klein, protegido por la corte austríaca y el Ministerio de Salud, no admitía que se impusieran las ideas de su subordinado, al que además consideraba ciudadano de segunda clase por ser húngaro. Tampoco ayudó el carácter intempestivo de Semmelweis y la falta de respeto a su superior.

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

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

Poco después, Skoda influyó para que Bartch, director del SP, lo admitiera como asistente suplente. Semmelweis puso a prueba su hipótesis. Por petición suya, los estudiantes del PP entraron en el SP intercambiándose con las comadronas y, en un mes, se triplicó la mortalidad por fiebre puerperal. Si la hipótesis era correcta, la fiebre puerperal se podría prevenir destruyendo químicamente la materia infecciosa invisible adherida a las manos. Dictó una orden por la que se exigía a todos los estudiantes de medicina que se lavaran las manos con una solución de cloruro de calcio, antes de reconocer a ninguna parturienta y después de cada exploración vaginal. La tasa de la enfermedad disminuyó drásticamente del 18% a menos del 3% en tan solo unos meses, y en el año 1848 descendió hasta el 1,27% en el PP, frente al 1,33% del SP¹⁵.

Ese mismo año escribió:

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

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

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

No obstante, Semmelweis desconocía otras evidencias empíricas adicionales distintas a las suyas, ni tenía acceso a publicaciones sobre el tema para oponerse a sus detractores¹⁶. Además, no hizo experimentos controlados y fiables en el laboratorio, salvo unos pocos mal planificados, para comprobar lo que había constatado en su práctica clínica. Tampoco consideró necesario usar el microscopio en sus investigaciones, un instrumento disponible en el Hospital General de Viena. De este modo, perdió una gran oportunidad de complementar su hipótesis con una caracterización más precisa, basada en pruebas empíricas, del principio activo presente en la materia cadavérica. Asimismo, no se esforzó por comunicar personalmente sus hallazgos en revistas especializadas ni en congresos.

¹⁵Sin embargo, Klein atribuyó estos resultados a un nuevo sistema de ventilación que había instalado.

¹⁶Semmelweis no fue el primero en hacer una conexión entre una enfermedad iatrogénica (inducida por el médico) y el parto. En 1842, Thomas Watson, obstetra y profesor de Medicina en Londres, recomendaba lavarse las manos con una solución de cloro, así como que ginecólogos y comadronas se cambiaran de ropa para evitar convertirse en vehículo de contagio. En la misma línea, Oliver Wendell Holmes, patólogo de Boston y profesor de Medicina en la Universidad de Harvard, publicó en 1843 *The Contagiousness of puerperal fever*. Ambos se ganaron la hostilidad de colegas y comadronas, que negaban la posibilidad de que ellos pudieran transmitir la enfermedad a sus pacientes (Cwikel 2008, Villanueva-Egan 2012).

La mayoría de los obstetras europeos rechazaron o ignoraron su descubrimiento¹⁷. Decían que su trabajo no proporcionaba evidencias suficientes y carecía de rigor; que sus resultados no eran reproducibles y que había falseado las estadísticas. Prevalció, pues, la opinión de Klein y, en marzo de 1849, no se le renovó su contrato en el Hospital General de Viena.

Desmoralizado, abandonó Viena en 1850 sin despedirse siquiera de los escasos pero buenos amigos que tenía entre sus colegas. Ejerció un tiempo como médico privado en Hungría y, posteriormente, obtuvo plaza en la Maternidad del Hospital Clínico de la Universidad de Pest gracias, una vez más, a la recomendación de Skoda. Allí implantó sus métodos y, desde entonces, la mortalidad por fiebre puerperal se redujo drásticamente en ese hospital. Semmelweis se decidió por fin a escribir sus ideas en 1860. Su obra se publicó el año siguiente con el título *De la etiología, el concepto y la profilaxis de la fiebre puerperal*, un voluminoso texto árido, reiterativo, confuso a veces y de lectura difícil.

El libro no fue bien recibido y la hostilidad hacia sus ideas y técnicas no disminuyó¹⁸, lo que le hizo escribir violentas cartas abiertas a todos los profesores de obstetricia durante 1861 y 1862:

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

Con esto, aumentó la animadversión de la comunidad médica, más aún cuando se dedicó a pegar pasquines en las paredes de su ciudad advirtiendo a las mujeres embarazadas del riesgo que corrían si iban a parir a los hospitales, y recomendarles que lo hicieran en su domicilio. Abatido, cayó en una profunda depresión con rasgos de locura. Finalmente, murió trágicamente el 16 de agosto de 1865¹⁹.

Poco después, Louis Pasteur expone su teoría germinal sobre las enfermedades infecciosas mediante microbios²⁰, según la cual las enfermedades infecciosas tienen su causa en un ente vivo microscópico con capacidad para propagarse entre las personas. A partir de entonces fue cuando la práctica clínica de Semmelweis cobró sentido dentro de ese marco teórico, y Joseph Lister la extendería, *circa* 1865, a la práctica quirúrgica higiénica del resto de especialidades médicas²¹. En 1879, Pasteur demostró que las bacterias estreptocócicas se podían encontrar en la sangre de las mujeres que tenían fiebre puerperal. Semmelweis es considerado hoy como un pionero y Lister el padre de la asepsia moderna.

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

¹⁸El *mobbing* que se produce cuando el descubrimiento de un hecho científico es castigado más que recompensado se denomina *The Semmelweis Reflex* en el mundo anglosajón.

¹⁹La muerte de Semmelweis no está clara. Hay tres versiones distintas. Una dice que murió 14 días después de su ingreso en un manicomio, tras haber sido brutalmente golpeado por el personal para someterlo. Otra afirma que ya estaba infectado por un corte con un bisturí cuando lo internaron en el psiquiátrico, y que murió con los mismos síntomas de la enfermedad que había descubierto cómo evitar. La tercera es una variante de la anterior, que apunta al suicidio cortándose con un escalpelo contaminado en un aula delante de sus alumnos en un arrebatado de locura.

²⁰Pasteur recomendó el uso de ácido bórico como desinfectante antes y después del parto para prevenir la fiebre puerperal. Asimismo, en 1871 sugirió a los médicos de los hospitales militares hervir el instrumental y los vendajes. También diseñó un horno, el *horno Pasteur*, para esterilizar instrumental quirúrgico.

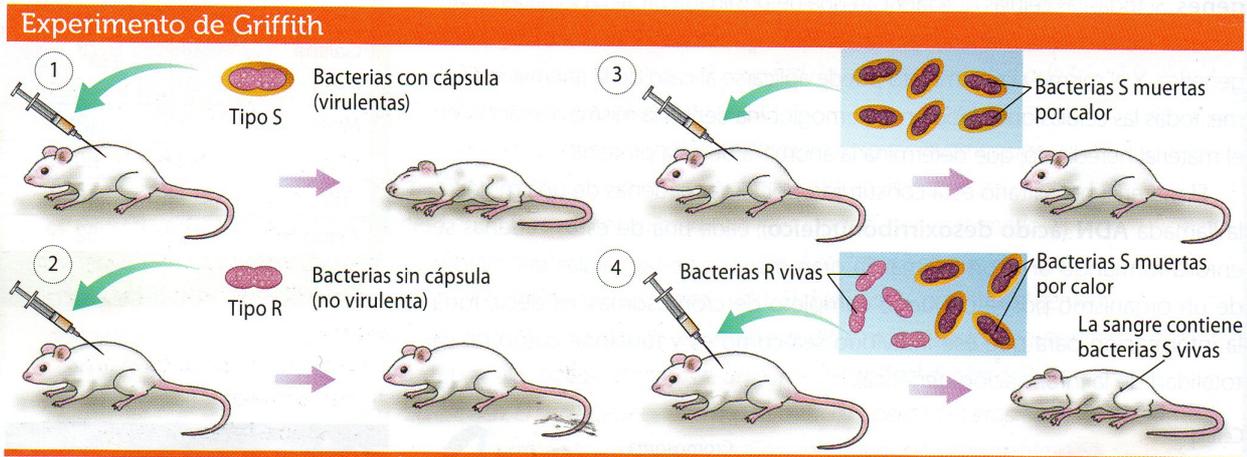
²¹Entre las propuestas de Lister estaban: el lavado de manos de médicos y sanitarios, la utilización de guantes, la esterilización del instrumental quirúrgico antes de ser usado, la limpieza de las heridas con disoluciones de ácido carbólico como antiséptico, etc.

El ADN como material hereditario: una mirada histórica

En 1928, un microbiólogo inglés, Frederick Griffith, investigaba dos tipos de una bacteria (S y R) que causa neumonía, los cuales inyectó a ratones experimentales. Una forma de la bacteria (S) provocó la muerte de los animales (1), mientras que la otra (R) resultó inocua (2). Griffith entonces tomó una muestra de las bacterias letales S y las trató con calor, de modo de aniquilarlas: al inyectarlas, resultaron inocuas para los ratones (3). Pero algo sorprendente ocurrió cuando preparó una muestra de bacterias S tratadas con calor y bacterias R (4):

CONECTA SIGNIFICADOS

Inocuo: inofensivo.



Experimentos de Hershey y Chase.

Griffith concluyó que algún "material" había sido transferido desde las bacterias S tratadas con calor a las bacterias R inocuas: cualquiera fuese el material, este contenía información que cambió a las bacterias R de inocuas a causantes de la neumonía.

Durante diez años, Oswald Avery, médico canadiense, pudo obtener este misterioso material de una muestra de bacterias. Él sospechaba que podía tratarse de proteínas o de ADN. Para averiguarlo, realizó las siguientes pruebas:

PRUEBA	RESULTADO
1. Prueba química estándar para la determinación de proteínas y ADN.	Encontró presencia de ADN, pero no de proteínas.
2. Determinación de la cantidad de fósforo y nitrógeno.	La proporción de estas sustancias se asemejaba más a la del ADN que a la de las proteínas.
3. Prueba para comprobar qué enzimas podían degradar la sustancia misteriosa.	Las enzimas que degradan el ADN rompieron la sustancia; no así las que degradan proteínas.

Griffith y sus colaboradores concluyeron que el "principio transformador" debía ser el ADN, aunque muchos científicos cuestionaron estos resultados.

En 1952, Alfred Hershey y Martha Chase, investigadores estadounidenses, para identificar el material transformador, experimentaron con un tipo de virus, llamados **bacteriófagos**, que infectan a las bacterias insertando su material genético en ellas. ¿Sería este material genético una proteína o ADN? Para ello, realizaron dos experimentos (1 y 2), que finalmente demostraron que el material genético era el ADN.

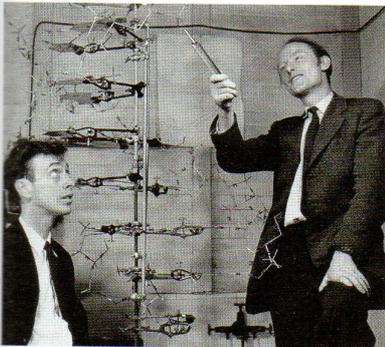
© ediciones ari S.A. Prohibida su fotocopia. Ley 11.723
© ediciones ari S.A. Prohibida su fotocopia. Ley 11.723

La controvertida historia de la doble hélice

Estas investigaciones llevaron finalmente a esclarecer que las instrucciones que portan los genes están escritas en forma química en la estructura del ADN. Para esa época se conocían los elementos que formaban el ADN, pero aún no se sabía cómo estaban dispuestos en la molécula. Conocer la estructura del ADN es fundamental, como veremos más adelante, para entender las funciones de esta molécula. Este conocimiento transformó el estudio de la genética.

La "carrera" por ser el primero en hallar la estructura del ADN se libró en Gran Bretaña y tuvo "dos equipos" participantes. Por un lado, James Watson (bioquímico) y Francis Crick (físico), que trabajaban en Cambridge, y por el otro, Maurice Wilkins (físico) y Rosalind Franklin (biofísica y especialista en cristalografía), del King's College londinense. Rosalind era una mujer brillante y tenaz que no solo tuvo que luchar contra las dificultades de su investigación, sino también contra el rechazo de un mundo científico predominantemente masculino. La clave para develar la estructura de las grandes moléculas se basaba en la técnica llamada *cristalografía*, a partir de la cual se obtenían imágenes que luego debían ser interpretadas. Se trata de una técnica muy compleja que Rosalind Franklin conocía mucho mejor que todos los demás, y en 1952 logró obtener la imagen del ADN. Su compañero Wilkins, quien no había participado de su obtención y sin permiso de Rosalind, mostró la imagen a Crick, a quien le fue de gran utilidad para deducir un año más tarde, junto con Watson, la estructura del ADN y proponer su modelo: la **doble hélice**.

En 1962, Watson, Crick y Wilkins compartieron el Premio Nobel de Medicina. El nombre de Rosalind Franklin no fue mencionado; había muerto de cáncer en 1958, a los 37 años, probablemente víctima de la radiación a la que se había expuesto durante su trabajo como cristalógrafa, y estos premios no se conceden a personas fallecidas. Nadie puede quitar a Watson y Crick el mérito de ser los primeros en dar con la doble hélice; sin embargo, ninguno de ellos la nombró como referencia en su descubrimiento; solo Wilkins la mencionó en sus agradecimientos.



James Watson (izquierda) y Francis Crick (derecha) en 1962, junto al modelo de la estructura del ADN.



Rosalind Franklin: su cristalografía del ADN aportó información fundamental sobre la estructura molecular del ADN.

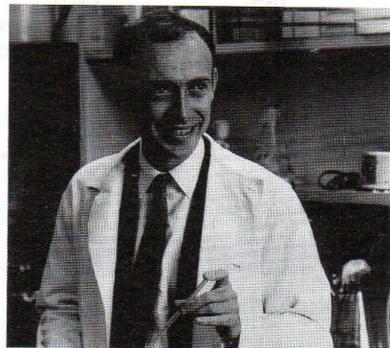
CONECTA SIGNIFICADOS

Cristalografía: técnica experimental que permite determinar la estructura tridimensional de una macromolécula, haciendo pasar un haz de rayos X a través de un cristal de la sustancia a estudiar.

CONECTA 2.0

Accedan a YouTube y busquen el video *Watson & Crick y la doble hélice del ADN*, o entren directamente a www.youtube.com/watch?v=fj7OGR7Sz7M&feature=related.

En esta página, podrán ampliar el descubrimiento de la estructura como doble hélice del ADN.



Maurice Wilkins, quien contribuyó a develar la estructura del ADN sobre la base de estudios cristalográficos.

ACTIVIDADES

- 2 ¿Por qué las experiencias de Griffith y Chase demostraron que el ADN era el material hereditario? lean algunos de los ejemplos citados y discutan entre todos el papel de la mujer en la ciencia a lo largo de la historia. ¿Qué creen que sucede en la actualidad?
- 3 Ingresen a <http://www.oei.es/salactsi/Mujercie.pdf>



Investigación científica

Descubrimiento de la doble hélice

A principios de la década de 1950, muchos biólogos comprendieron que la clave para entender la herencia estaba en la estructura del DNA. Asimismo, los biólogos sabían que quienquiera que dedujese la estructura correcta del DNA se haría acreedor a un reconocimiento, posiblemente al premio Nobel. Linus Pauling, del Caltech, era la persona con más posibilidades de resolver el enigma de la estructura del DNA. Pauling sabía probablemente más acerca de la química de las moléculas orgánicas grandes que cualquier otra persona viva en esa época. Al igual que Rosalind Franklin y Maurice Wilkins, Pauling era experto en técnicas de difracción de rayos X, y en 1950 utilizó estas técnicas para demostrar que muchas proteínas estaban enrolladas y formaban hélices de una sola cadena (véase el capítulo 2). Pauling, sin embargo, tenía dos desventajas principales. En primer lugar, durante años había concentrado sus esfuerzos en la investigación de las proteínas y, por consiguiente, disponía de pocos datos acerca del DNA. En segundo, Pauling participaba activamente en el movimiento en favor de la paz. En esa época ciertos funcionarios del gobierno, entre ellos el senador Joseph McCarty, consideraban que las actividades de este tipo podían ser subversivas y posiblemente peligrosas para la seguridad nacional. Esta última desventaja resultó quizá decisiva.

Los segundos competidores con más posibilidades eran Wilkins y Franklin, los científicos británicos que se habían propuesto determinar la estructura del DNA mediante el estudio de patrones de difracción de rayos X. De hecho, ellos eran los únicos científicos que disponían de excelentes datos acerca de la forma general de la molécula de DNA. Por desgracia para ellos, su metódica estrategia era demasiado lenta.

La puerta estaba abierta para quienes finalmente descubrieron la doble hélice: James Watson y Francis Crick, dos científicos que carecían tanto del fenomenal conocimiento de Pauling de los enlaces químicos como de la pericia de Wilkins en el análisis con rayos X. Watson y Crick no hicieron experimentos en el sentido ordinario del término; en cambio, emplearon el tiempo reflexionando sobre el DNA, intentando construir un modelo molecular que tuviera sentido y se ajustara a los datos. Watson y Crick, debido a que trabajaban en Inglaterra y a que Wilkins era muy abierto en cuanto a sus datos y los de Franklin, conocían muy bien toda la información de rayos X referente al DNA. Esta información era precisamente lo que le faltaba a Pauling. Debido a las supuestas tendencias subversivas de Pauling, el Departamento de Estado de los Estados Unidos se negó a entregarle un pasaporte para que pudiera salir del país, por lo que Pauling no pudo asistir a las reuniones donde Wilkins presentó los datos, ni viajar a Inglaterra para hablar directamente con Franklin y Wilkins. Watson y

Crick sabían que Pauling trabajaba en la estructura del DNA y les aterrorizaba la posibilidad de que se les adelantara. En su libro *The Double Helix (La doble hélice)*, Watson expone su convicción de que, si Pauling hubiese visto las imágenes de rayos X, "a más tardar en una semana, Linus habría tenido la estructura".

A estas alturas, sería lógico pensar lo siguiente: "¡Un momento! Eso no es justo. Si la meta de la ciencia es llevar adelante el conocimiento, entonces todo el mundo debería tener acceso a los datos. Si Pauling era el mejor, tendría que haber descubierto la doble hélice primero." Tal vez sea así. Pero la ciencia es una actividad que llevan a cabo científicos, quienes, al fin y al cabo, también son personas. Aunque prácticamente todos los científicos buscan el progreso y el provecho de la humanidad, cada individuo también desea ser el responsable de ese progreso y hacerse acreedor al crédito y la gloria. Linus Pauling permaneció en la ignorancia respecto a las imágenes de rayos X correctas del DNA y otros se le adelantaron en el descubrimiento de la estructura real (Fig. E8-1). Cuando Watson y Crick descubrieron la estructura de doble hélice del DNA, Watson la describió en una carta a Max Delbruck, su amigo y asesor que trabajaba en el Caltech. Watson pidió a Delbruck no revelar el contenido de la carta a Pauling hasta que la estructura se publicara formalmente. Delbruck, quizá más cerca de lo que debe ser un científico modelo, tenía la firme convicción de que los descubrimientos científicos pertenecen al dominio público y de inmediato le contó a Pauling todo al respecto. Con su calidad de gran científico y gran persona, Pauling felicitó generosamente a Watson y Crick por su brillante solución al problema de la estructura del DNA. La carrera había terminado.

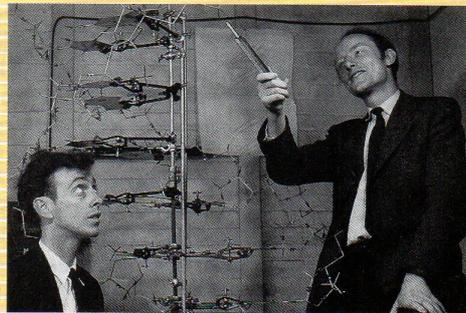


Figura E8-1 Descubrimiento del DNA
James Watson y Francis Crick con un modelo de la estructura del DNA.

¿Cómo se replica el DNA?

La replicación del DNA es un proceso que ocurre en todas las células vivas. Durante la replicación, una molécula de DNA se copia para producir dos moléculas idénticas.

Este proceso es esencial para la vida, ya que permite que las células se dividan y transmitan su información genética a la siguiente generación.

La replicación del DNA es un proceso complejo que involucra a muchas enzimas y proteínas. Estas moléculas ayudan a desenrollar el DNA y a sintetizar nuevas cadenas de DNA.

El proceso de replicación del DNA es altamente preciso, lo que asegura que la información genética se transmita correctamente de una generación a la siguiente.

que se conoce como replicación del DNA. Muchas de las células de un ser humano adulto nunca se dividen y, por tanto, no replican su DNA. En la mayoría de las células de organismos vivos, la síntesis de la replicación del DNA comienza periódicamente a la célula a dividirse. Si una célula no se divide, su DNA sin replicar se acumula y puede ser dañada.

El proceso de replicación del DNA es un proceso que ocurre en todas las células vivas. Durante la replicación, una molécula de DNA se copia para producir dos moléculas idénticas.

Este proceso es esencial para la vida, ya que permite que las células se dividan y transmitan su información genética a la siguiente generación.

La replicación del DNA es un proceso complejo que involucra a muchas enzimas y proteínas. Estas moléculas ayudan a desenrollar el DNA y a sintetizar nuevas cadenas de DNA.

El proceso de replicación del DNA es altamente preciso, lo que asegura que la información genética se transmita correctamente de una generación a la siguiente.

doble hélice
nueva cadena
y una nu

Figura 8-4
Durante la replicación del DNA, las moléculas parentales se desenrollan y se sintetizan nuevas cadenas de DNA. Otras moléculas parentales se agregan a las nuevas moléculas de DNA.

El modelo de ADN

PARA EL AÑO 1952, CUANDO EL BIOQUÍMICO NORTEAMERICANO JAMES WATSON Y EL FÍSICO INGLÉS FRANCIS CRICK SE INTERESARON EN EL ADN, YA HABÍA FUNDADAS SOSPECHAS DE QUE ÉSTE ERA EL MATERIAL QUE CONTENÍA LA INFORMACIÓN HEREDITARIA.

Ya que era imposible observar la estructura del ADN con los instrumentos ópticos, en aquel año resultaba un gran desafío imaginar la molécula y construir un modelo adecuado al conocimiento disponible. Había que pensar en una estructura molecular que pudiera almacenar información, transmitirla a la descendencia, traducirla en actividades celulares y experimentar eventuales cambios. Para la construcción de su modelo fueron muy importantes

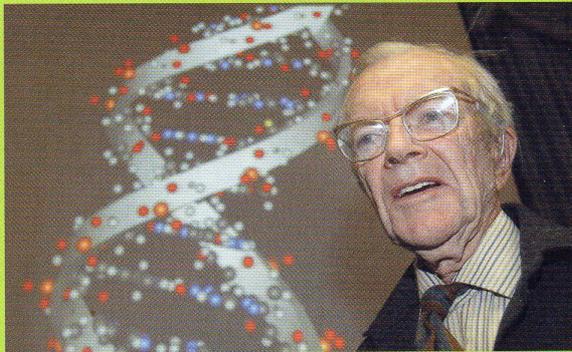
dos tipos de datos: las hipótesis de Chargaff acerca de las proporciones de las bases y los estudios de difracción de rayos X realizados por Rosalind Franklin y Maurice Wilkins.

El modelo del ADN de Watson y Crick, publicado en 1953, incorpora la siguiente información:

- la molécula de ADN consta de dos cadenas antiparalelas de nucleótidos enrolladas alrededor de un eje común;
- las unidades de fosfato y desoxirribosa se ubican en el

exterior de la hélice y las bases en el interior de la misma;

- las bases enfrentadas forman un plano perpendicular al eje de la hélice;
- la adenina se aparea con la timina y la citosina con la guanina a través de uniones puente de hidrógeno;
- una vuelta completa de la hélice tiene diez pares de bases; y
- las bases pueden sucederse en cualquier orden.



La biofísica inglesa Rosalind Franklin (1920–1958) y el físico neocelandés Maurice Wilkins (1916–2004) atravesaron cristales de ADN con rayos X y obtuvieron imágenes que permitieron calcular la disposición tridimensional de los átomos en la molécula. Las imágenes obtenidas por estos científicos inclinaron a Watson y Crick a postular la estructura en forma de doble hélice para el ADN.



1. ¿Cuáles son los trabajos previos citados por Watson?

2. ¿Cuál es la importancia de que fuera el orden de las bases el aspecto irregular en la estructura del ADN?

3. ¿Qué tipo de deducciones posibilitó el descubrimiento de la complementariedad de bases en el modelo estructural del ADN?

Esto decía Watson...

En su libro *La doble hélice* (1968), Watson relata los detalles de la construcción del modelo de la molécula de ADN.

En seguida nos dimos cuenta de que la solución del ADN podría ser más complicada que la hélice α de las proteínas. En la hélice α , una sola cadena formada por un gran número de aminoácidos se enrolla en una disposición helicoidal. Sin embargo, Maurice (Wilkins) había dicho a Francis (Crick) que el diámetro de la molécula de ADN era más grueso de lo que sería si solo estuviera presente una única cadena de muchos nucleótidos. Esto le hacía pensar que la molécula de ADN era una hélice compuesta, formada de varias cadenas de nucleótidos arrolladas una en torno a la otra. Si esto era cierto, antes de comenzar en serio la construcción del modelo era preciso decidir si las cadenas estarían unidas por enlaces de hidrógeno o por enlaces iónicos que afectaran a los grupos de fosfatos, de carga negativa. Una nueva complicación provenía del hecho de que existían cuatro tipos de nucleótidos en el ADN. En este sentido, el ADN no era una molécula regular, sino sumamente irregular. Sin embargo, los cuatro nucleótidos no eran completamente

diferentes, pues cada uno contenía los mismos componentes de azúcar y fosfato. Su irregularidad radicaba en sus bases nitrogenadas, que eran o una purina (adenina o guanina) o una pirimidina (citosina o timina). Pero, puesto que los enlaces entre los nucleótidos afectaban solo a los grupos fosfato y azúcar, no era tan aventurada nuestra suposición de que el mismo tipo de enlace químico unía a todos los nucleótidos. Así pues, al construir los modelos, postularíamos que la cadena azúcar-fosfato era muy regular, y el orden de bases, muy irregular. Si las secuencias de bases eran siempre las mismas, todas las moléculas de ADN serían idénticas y no existiría la variabilidad que debía distinguir un gen de otro. A la mañana siguiente, cuando llegué a nuestro despacho, limpié de papeles mi mesa a fin de tener una superficie amplia en la que formar pares de bases unidas por puentes de hidrógeno. De pronto me di cuenta de que un par adenina-timina tenía forma idéntica a la de un par guanina-citosina. Todos los puentes de hidrógeno parecían formarse de un modo natural, y no se necesitaba ningún artificio para que los dos pares de bases fueran idénticos en su forma (...). (...) había encontrado la solución al enigma de por qué el número



de radicales de purina igualaba exactamente al número de radicales de pirimidina. Dos secuencias irregulares de bases podían ser introducidas de un modo regular en el centro de una hélice, siempre que una purina se enlazara por un puente de hidrógeno con una pirimidina. Las reglas de Chargaff emergían de pronto como consecuencia de una estructura de doble hélice para el ADN. Y, lo que era más excitante, este tipo de doble hélice sugería un esquema de multiplicación mucho más satisfactorio que mi idea de emparejar bases semejantes. Emparejar siempre la adenina con la timina y la guanina con la citosina significaba que las secuencias de bases de las dos cadenas eran complementarias una de otra. Dada la secuencia de una cadena, quedaba automáticamente determinada la de su compañera. Era muy fácil imaginar cómo una cadena aislada podía ser la plantilla para la síntesis de una cadena con la secuencia complementaria.

Watson y Crick, junto con Wilkins, fueron distinguidos en 1962 con el Premio Nobel de Fisiología y Medicina por su contribución al cambio de rumbo de la Biología en el siglo XX.

James Watson. *La doble hélice: un relato autobiográfico sobre el descubrimiento del ADN*. Barcelona, Salvat, 1987.