

Universidad Nacional del Comahue - Facultad de Ingeniería

Doctorado en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Tesis de Doctorado

Diseño, implementación y evaluación de una unidad didáctica para la enseñanza de modelos de membrana celular en la formación biológica del profesorado, con aportes de ideas metacientíficas provenientes del eje *naturaleza de la ciencia*

Mg. Eduardo E. Lozano

Director: Dr. Agustín Adúriz-Bravo (UBA)

Codirectora: Dra. Nora Bahamonde (UNRN)



A Marce, por el amor y la fortaleza que inspira
A Nadia y su mundo de las artes, del cine y la actuación
A Juan y su mundo de la salud, del cuerpo y del espíritu
A Julián y su mundo de construcciones de sueños
A Fermín y su mundo militante del diseño y la política
A mi mamá Lilia y su vitalidad
A mi hermanazo Alfredo, Laurita y mis queridísimos Julito y Lautaro
A la querida compañera Pipi y la Lala
A Sábas y Mario, por la espera
A Perla, a María Elena y Eduardo M., por las oportunidades

A la memoria de Roberto Lozano, mi papá
A la memoria del ex Presidente Néstor Carlos Kirchner, por
haber sentado desde el año 2003 las bases
para la recuperación del sistema científico y
tecnológico de nuestro país

Agradecimientos

A Agustín Adúriz-Bravo y a Nora Bahamonde
por la confianza,
por orientar y nutrir el camino
y por la calidad humana al transitarlo.

A mis alumna/os del profesorado, especialmente
a los que participaron en las clases de implementación
de la UD en los años 2013 y 2014.

A Soledad Brezina por el acompañamiento en las clases
y la asistencia para el desarrollo de la UD.

A Gabriela Sito, por las estrategias para llevar a cabo la tarea.

A Leonardo Salgado, Cecilia Cremer y todos los compañeros
del Profesorado en Biología de la UNRN
que hicieron aportes y me ayudaron en este proceso.

A mis compañeros/as del Grupo de Epistemología, Historia y
Didáctica de las Ciencias Naturales
(GEHyD, CeFIEC-UBA)

A Lucía Pérez y Gimena García.

A Myriam Ortiz, Bibiana Ayuso y Mari Rassetto
por todo el acompañamiento que me dieron
y que permitió sostener la última etapa de la tesis,
junto con la organización del
VI Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología (ADBIA-UNRN)

A Ricardo Chrobak, por el trabajo constante para el sostenimiento de la Maestría y la
creación y acreditación del Doctorado en Enseñanza de las Ciencias.

Al Dpto. de Posgrado de la Facultad de Ingeniería
de la Universidad Nacional del Comahue.

Resumen

Situados en el Profesorado en Biología en el ámbito de la Universidad, sostenemos que es necesario que los espacios de formación en modelos didácticos comiencen a permear ideas y estrategias de trabajo hacia los espacios de formación disciplinar en biología; la integración de estos ámbitos redundará en hacer más estables y significativos los aprendizajes vinculados tanto a los modelos científicos disciplinares de la biología como a los modelos didácticos que construyan los estudiantes. La modelización y el tratamiento de ideas metacientíficas son directrices provenientes de perspectivas teóricas actuales del campo de la didáctica de las ciencias naturales, y esta tesis pone en valor tales directrices al interior de un espacio de formación disciplinar. En ese marco, la investigación didáctica desarrollada se contextualizó en el ámbito de la materia Biología Celular, y tuvo el objetivo general de interpretar procesos de modelización de fenómenos biológicos de membrana celular y de ideas metacientíficas construidas por los estudiantes. La investigación tuvo un enfoque cualitativo y, orientada desde la perspectiva de los estudios de diseño, implicó la elaboración, implementación y evaluación de una unidad didáctica. El escenario en el cual se construyó el corpus empírico fue el ámbito natural de las clases del docente investigador. Se pudo constatar que los alumnos aprendieron, involucrándose en lo que llamamos “actividad científica escolar”, contenidos de membrana celular mediante procesos de modelización y también contenidos metacientíficos del eje naturaleza de la ciencia y que pudieron aplicarlos ante nuevas situaciones.

Palabras clave: formación del profesorado - didáctica de las ciencias – biología celular – modelización – naturaleza de la ciencia

Abstract:

From the Biology Teaching at university, we state that it is necessary for the areas of education in didactic models, to start “permeating” ideas and working strategies to the areas of subject education in Biology. The integration of these fields will lead to a more stable and significant learning in relation to both biology subject scientific models, and the teaching models the students may construct. The modelling and the treatment of meta-scientific ideas are guidelines coming from present theoretical perspectives within the field of didactics of science. And this thesis tests the value of such guidelines in the context of a subject of biological contents. Within this framework, the didactic research developed was contextualized in the subject Cellular Biology, and its main objective was to interpret modelling processes of cellular membrane biological phenomena, and meta-scientific ideas constructed by the students. The research had a qualitative approach and, oriented from the perspective of design-based research, it meant the elaboration, implementation and evaluation of a teaching unit. The setting in which the empirical corpus was constructed, was the natural context of the classes of the researcher-teacher. It was confirmed that the students learned, getting involved in what we call “school scientific activity”, cellular membrane contents through modelling processes and also meta-scientific contents of nature of science, which they could apply to new situations.

Keywords: teacher education – didactics of science – cellular biology – modelling – nature of science

Índice

Introducción	1
1 Planteamiento del problema y de los objetivos de la investigación	4
1.1 Planteo general del problema y justificación del estudio. La formación del profesorado en ciencias en el ámbito de la universidad	
1.2 La delimitación del problema en el ámbito de la materia Biología Celular	9
1.3 Hipótesis orientadora y propósito de la investigación	10
1.4 Las preguntas de la investigación	11
1.5 Objetivos de la investigación	12
1.5.1 Objetivo general	
1.5.2 Objetivos específicos	13
2 Marco Teórico	15
2.1 Introducción: Fundamentos del modelo cognitivo de ciencia escolar	
2.1.1 Modelo cognitivo de ciencia. Modelos y concepción semántica de las Teorías	
2.1.2 La ciencia considerada como actividad científica	22
2.1.3 Características principales del modelo cognitivo de ciencia escolar	25
2.2 La actividad científica escolar	26
2.2.1 La modelización en la actividad científica escolar	27
2.2.2 Sobre los tipos de actividades que orientan la organización de una UD, desde la ACE	31
2.3 El componente <i>naturaleza de la ciencia</i>	32
2.3.1 Sobre la organización de la enseñanza de <i>naturaleza de la ciencia</i>	35
3 Metodología	38
3.1 Un enfoque cualitativo	
3.2 La investigación en didáctica de las ciencias naturales y los estudios de Diseño	40
3.2.1 Los estudios de diseño ubican la investigación en el contexto natural en que ocurren los fenómenos estudiados	42
3.2.2 Sobre el lugar de la teoría en este tipo de enfoque	42

3.3	Diseño de la investigación	44
3.3.1	Primera fase: preparación del diseño	
3.3.2	Segunda fase: Implementación del diseño	46
3.3.2.1	Estudio 1	
3.3.2.2	Estudio 2	
3.3.3	Tercera fase: el análisis retrospectivo	47
3.3.3.1	Toma y registro de datos en las clases y unidades de análisis	
3.3.3.2	Determinación de la muestra en el Estudio 2	50
3.4	Análisis documental	52
4	Estudios sobre el saber de referencia para la determinación de las ideas claves disciplinares y metacientíficas	53
4.1	Un modelo de transposición didáctica	
4.2	Modelos de membrana celular. Un enfoque histórico-epistemológico	56
4.2.1	Parte I. La construcción de la membrana celular. De las fibras a las Células	
4.2.1.1	Discusiones sobre los blastómeros. Cuando el modelo de célula no necesitaba una membrana	58
4.2.1.2	Hipótesis fisiológicas y una analogía con pompas de jabón. Aunque no sea visible, es necesaria una membrana celular	61
4.2.1.3	La normalidad ha llegado, la membrana está en la escuela	64
4.2.2	Parte II. Siglo XX. Nuevas analogías para una membrana	65
4.2.2.1	Sándwich de bicapa lipídica y proteínas	
4.2.2.2	¿Ver (membranas) para creer?	67
4.2.2.3	Una mirada evolutiva sobre las membranas: Discusiones sobre el origen de las endomembranas	69
4.2.2.4	Fluidez. La analogía del mosaico líquido	72
4.2.2.5	Membranas, balsas y más analogías	73
4.3	Análisis de temas de membrana celular en manuales universitarios	75
4.3.1	Estructura. Fluidez y autoensamblaje	77
4.3.2	Intercambios	79

4.3.3	Formación de gradientes	
4.3.4	Compartimentalización celular	80
4.3.5	Comunicación celular	
4.3.6	Evolución de los sistemas de endomembranas	81
4.4	Construcción de las ideas claves disciplinares y metacientíficas, como saberes a enseñar	82
4.4.1	Las ideas claves disciplinares sobre aspectos del modelo de membrana celular	
4.4.2	Las ideas claves metacientíficas sobre naturaleza de la ciencia	83
5 La unidad didáctica. Diseño, implementación y análisis del Estudio 1 (Estudio preliminar)		86
5.1	Diseño de una actividad de iniciación	
5.2	Análisis de los modelos iniciales de los alumnos	87
5.3	Actividades para promover la reelaboración de los modelos iniciales. La presentación de un nuevo punto de vista	89
5.4	Actividades para la estructuración del modelo científico y la introducción a pensar sobre los modelos analógicos	91
5.5	Actividades de aplicación	93
5.6	Discusiones sobre el Estudio I	97
6 La Unidad Didáctica. Diseño del Estudio 2		100
6.1	Etapa 1. Idea clave disciplinar: Fluidez y autoensamblaje. Idea clave epistemológica: La observación y los modelos analógicos	
6.1.1	Actividades de Iniciación	
6.1.2	Actividades para la modelización intermedia	102
6.1.2.1	Parte 1. Del trabajo inicial con los materiales a la producción de Pompas	
6.1.2.2	Parte 2: De las pompas a la estructura de la membrana	103
6.1.3	Actividades para la estructuración del conocimiento	105
6.1.4	Introducción a los modelos analógicos. Actividades de explicitación, modelización y estructuración	107
6.1.5	Actividades de aplicación	109

6.2	Etapa 2. Idea clave disciplinar: Origen de las organelas. Idea clave epistemológica: La construcción de los hechos científicos	111
7 Análisis del Estudio 2: Etapa 1		125
7.1	Actividades de Iniciación	
7.1.1	Modelos iniciales para explicar por qué no se rompe un óvulo al ingresar una micropipeta en él	
7.1.2	Los modelos iniciales como base del proceso de modelización Intermedia	132
7.1.3	Ideas sobre el rol de la observación para comprender por qué no se rompe un óvulo	
7.1.4	Expectativas y logros atribuibles a la observación. El inicio de una nueva manera de considerarla	134
7.2	Actividades para la modelización intermedia	138
7.2.1	Parte A: Del trabajo inicial con los materiales a la producción de Pompas	
7.2.1.1	Un contexto material para pensar los modelos	
7.2.1.2	El foco puesto en las pompas de jabón. El trabajo con materiales y la construcción de modelos materiales analógicos	146
7.2.2	Parte B: De las pompas al modelo de fluidez y autoensamblaje de sus moléculas	150
7.2.2.1	Las pompas fluidas de Quincke. Un modelo químico para el ensamblaje de sistemas lipídicos en el aula	
7.2.2.2	Ideas en G8. Un ejemplo de desarrollo del proceso	153
7.2.2.3	Otros ejemplos	159
7.2.2.4	Gotas y pompas que se unen y moléculas que se mueven	161
7.2.2.5	Una maqueta con fundamentos	162
7.3	Actividades de estructuración del conocimiento	166
7.3.1	Del modelo de monocapa al de bicapa lipídica. Análisis de un Experimento	
7.3.2	Diálogo entre modelos: el construido en clase y el de los manuales de Biología	168
7.4	Actividades para modelizar y estructurar una idea metacientífica clave sobre modelos analógicos	169
7.4.1	Un modelo de modelo para pensar como elaboramos los	

	conocimientos	
7.4.2	“La estrategia de Quincke”	172
7.4.3	Sobre los cambios y ajustes en los modelos	173
7.4.4	Analizando Modelos	175
7.4.5	Estructurando la idea de modelo analógico	177
7.4.6	Cierre de las actividades de estructuración de los modelos disciplinares y metacientíficos	178
7.5	Actividades de aplicación	180
7.5.1	Fluidez, autoensamblaje, transporte de vesículas y las dificultades para la aplicación de los modelos	
7.5.2	Fluidez y autoensamblaje para la locomoción y la captura	188
7.5.3	Fluidez y autoensamblaje para comprender la acción de un fármaco	190
8 Análisis del Estudio 2, Etapa 2		196
8.1	El modelo de unidad de membrana no implicó unidad de modelos para explicar el origen de las organelas formadas por membranas	
8.2	Inicio de las discusiones sobre la construcción de los hechos Científicos	197
8.3	Discusiones sobre el ADN de las mitocondrias	202
8.4	El estado actual de la discusión ¿Dónde buscarlo?	207
8.5	Sobre los descubrimientos. Análisis y reescritura del texto de un blog	211
9 Conclusiones de la investigación		216
9.1	Conclusiones para cada uno de los objetivos específicos	
9.1.1	Respecto de los objetivos vinculados a los estudios sobre el saber de referencia	
9.1.1.1	Sobre el encuadre histórico–epistemológico	
9.1.1.2	Sobre el análisis y crítica del estado del saber de referencia en libros de texto	218
9.1.1.3	Sobre la elaboración de las ideas claves disciplinares biológicas y metacientíficas	219
9.1.2	Respecto del objetivo vinculados al diseño de la UD	220
9.1.2	Respecto de los objetivos vinculados al análisis de los procesos de modelización de la membrana	220

9.1.3.1	Sobre el sentido y el desarrollo de las actividades de modelización inicial del modelo de “mosaico fluido”. El inicio de la construcción de un “hecho paradigmático” y un “hecho retórico”	
9.1.3.2	Sobre las actividades de modelización intermedia para la idea clave de fluidez y autoensamblaje	222
9.1.3.3	Sobre las actividades de estructuración/síntesis	224
9.1.3.4	Sobre las actividades de aplicación del modelo biológico construido	225
9.1.4	Respecto de los objetivos vinculados al análisis de los procesos de modelización de ideas metacientíficas	226
9.1.4.1	Sobre el trabajo de modelizar la idea clave de modelo analógico, tomando como problema disciplinar el modelo de membrana de mosaico fluido	
9.1.4.2	Sobre el trabajo de modelización de la idea “los hechos científicos se construyen” tomando como problema disciplinar el origen de las organelas	228
9.1.4.2.1	Sobre la idea clave disciplinar “origen de las organelas”	
9.1.4.2.2	Sobre el trabajo de modelización de la idea “los hechos científicos se construyen”	229
9.2	Síntesis de las conclusiones	231
9.3	Consideraciones finales e implicancias didácticas	232
	10 Bibliografía	234
	Índice de gráficos, tablas y modelizaciones gráficas	242
	Anexos	

*“Más increíble que la flor celestial
o que la flor de un sueño
es la flor futura,
la contradictoria flor
cuyos átomos ahora ocupan otros lugares
y no se combinaron aún”
(Jorge Luis Borges)*

Introducción

Hace seis años, junto a un equipo de trabajo integrado por la Dra. Nora Bahamonde y el Licenciado Pablo Macchi, tuvimos la posibilidad de diseñar e implementar la carrera de Profesorado de Nivel Medio y Superior en Biología, en la Universidad Nacional de Río Negro¹.

El bajo porcentaje de profesionalización docente en el nivel medio de la provincia de Río Negro, en las materias del campo de las ciencias naturales, significó un estímulo para su desarrollo. Por otra parte, la posibilidad de diseñar la carrera independientemente de la estructura disciplinar de una licenciatura - hecho poco frecuente en el sistema universitario – constituyó un gran desafío académico a sostener desde la investigación educativa. Fue en ese proceso en el que nacieron mis motivaciones más profundas respecto de realizar el doctorado y, en la investigación, ocuparme de un problema que fuera relevante y significativo para el análisis de algunas hipótesis que sostenemos sobre el desarrollo de nuestra carrera, y sobre la formación académica que deben recibir nuestros alumnos. Una de ellas sostiene que, si los espacios de formación en modelos didácticos que posee el profesorado comienzan a permear ideas y estrategias de trabajo hacia los espacios de formación disciplinar en biología, la integración de estos ámbitos redundará en hacer más estables y significativos los aprendizajes vinculados tanto a los modelos científicos disciplinares de la biología como a los modelos didácticos que construyan los estudiantes.

¹ De ella soy su Director y Profesor Regular de Biología.

Desde esa perspectiva, la investigación didáctica que desarrollamos tuvo como objetivo general: interpretar procesos de modelización de fenómenos biológicos de membrana celular y de ideas metacientíficas construidos por los estudiantes. La modelización y el tratamiento de ideas metacientíficas, son directrices provenientes de perspectivas teóricas actuales del campo de la didáctica de las ciencias naturales, y esta tesis las pone en valor al interior de una materia de la formación biológica del profesorado, en el ámbito de la universidad.

La investigación, con un enfoque cualitativo y orientada desde la perspectiva de los *estudios de diseño* implicó, para la producción de los procesos de modelización, el diseño, implementación y evaluación de una unidad didáctica (UD), y el escenario en el cual se construyó el corpus empírico fue el ámbito natural de las clases que tengo a cargo en la materia Biología celular, de primer año del profesorado.

En los diferentes capítulos se abordan en profundidad los núcleos que sostuvieron teórica y metodológicamente la investigación didáctica, se analizan las producciones que los alumnos llevaron a cabo y se plantean las conclusiones e implicancias didácticas.

Cuando a principios del 2002 finalizaba la escritura de la tesis de Maestría, decidí colocar como epígrafe de la introducción, un párrafo que Borges escribió en *La flor de Coleridge*². Esa flor representaba para mí, el deseo de un futuro diferente a la realidad social que nos tocaba vivir en esos inciertos años. Era difícil producir y mantenerse en las coordenadas de los problemas didácticos, de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, y en ese momento sentía que el contexto operaba como una serie de vidrios opacos y superpuestos tras los cuales aparecía, como figura difusa y sombría, el contenido de las prácticas pedagógicas. Parecía que no había lugar para las discusiones propias de la enseñanza cuando era la subsistencia misma de las personas las que un Estado ausente no podía garantizar. Era realmente increíble pensar en un futuro mejor, si debía armarse con lo que había quedado en pie.

² inspirado en una nota de Coleridge: "Si un hombre atravesara el Paraíso en un sueño, y le dieran una flor como prueba de que había estado allí, y si al despertar encontrara esa flor en su mano ¿Entonces qué?"

Han pasado quince años, y la realidad social y en particular educativa de nuestro país ha cambiado. Hoy, ese epígrafe tiene un sentido profundamente teórico, es una metáfora del trabajo de modelización que llevaron a cabo nuestros alumnos y que los colocó en un rol protagónico y significativo en la construcción de sus propios aprendizajes; es un testigo que ahora refiere a la posibilidad y la satisfacción de haber vuelto a recuperar las coordenadas de la enseñanza y la investigación, en una carrera de profesorado elegida por cada vez más estudiantes que, en su gran mayoría, son la primera generación de alumnos universitarios en su familia.

General Roca, 25 de mayo de 2015

1 Planteamiento del problema y de los objetivos de la investigación

1.1 Planteo general del problema y justificación del estudio. La formación del profesorado en ciencias en el ámbito de la universidad

Existe una fuerte tradición en los profesorados universitarios en ciencias respecto de establecer una separación entre la formación que reciben los alumnos en el ámbito de las disciplinas de las ciencias naturales y la formación vinculada con los aspectos pedagógicos y didácticos. En ese esquema, las materias que abordan la enseñanza de las disciplinas del campo de las ciencias naturales pueden ser cursadas por alumnos del profesorado y también por estudiantes de otras carreras, y se presentan como espacios de algún modo neutrales e independientes de los objetivos de las distintas formaciones profesionales que se llevan a cabo. En esos espacios, la necesidad de enseñar contenidos potencialmente ubicuos y descontextualizados se sostiene generalmente desde un modelo de transposición didáctica de tipo analítica, mediante el cual un campo de saber es fragmentado en distintos conceptos y procedimientos que se enseñan a los alumnos de forma separada y secuencial, mediante las diferentes lecciones de un tema del programa. Así,

Las hipótesis en que se basa esta manera de transponer el conocimiento, consideran que se puede distinguir los conceptos básicos implicados en una teoría o modelo y que, una vez aprendidos por separado, el estudiante podrá reconstruir el modelo del experto, aunque sea una versión simplificada del mismo (Sanmartí, 2002, p. 87).

Lo cierto es que, para el experto que enseña, los fragmentos disciplinares forman parte de un modelo que él conoce, puede relacionarlos y otorgarles sentido, por ejemplo, cuando aborda problemas en el ámbito de su práctica profesional, pero para los estudiantes esto es una tarea difícil de lograr, y por lo tanto los modelos, que son las entidades que permitirían otorgar sentido al mundo fenoménico en función de los intereses particulares

de la formación profesional que deberían recibir, suelen quedar afuera del campo de enseñanza (Sanmartí, 2002).

La organización de la economía de las universidades, orientada a la conveniencia de contar con espacios de formación disciplinar general para diferentes destinos profesionales, colabora en mantener ese estado de situación, el cual podría problematizarse a partir de preguntar sobre el destinatario de la enseñanza, por ejemplo: ¿A quién va destinada la biología que enseñamos en un curso determinado?

Ahora bien, en el ámbito del profesorado en biología en el cual trabajamos, el plan de estudios fue diseñado con objetivos propios para esa carrera, y a los espacios de enseñanza de las disciplinas biológicas prácticamente solo asisten alumnos del Profesorado; sin embargo su implementación no implicó en sí misma el desarrollo de nuevas prácticas de enseñanza. La matriz tradicional de formación aludida al inicio evidentemente no se sostiene solo por las formas de administrar el dictado de las materias en la Universidad, sino por las fuertes representaciones sobre la ciencia y la enseñanza de quienes la conforman (Bahamonde et al., 2014).

En estudios sobre trayectorias profesionales docentes de investigadores que enseñan biología, (Lozano et al., 2013a) y en el desarrollo de comunidades de aprendizaje integradas por docentes investigadores que enseñan biología en diferentes carreras en la universidad (Bahamonde et al., 2014) se advierten ciertas formas de regulación de las prácticas profesionales docentes, que privilegian el respeto a patrones de enseñanza tradicional ya establecidos y legitimados por la academia para la formación científica de los estudiantes, y generan un contexto poco propicio para la introducción de innovaciones orientadas a pensar cambios en la biología que se enseña, a riesgo de ser consideradas como propuestas que pueden devaluar el nivel científico de la educación.

De este modo, y una vez especificados los destinatarios de la formación, la cuestión que sigue interpela al contenido de la disciplina a enseñar, en nuestro caso: ¿Cuál es la biología más apropiada para la formación del Profesorado en Biología?

En función de esto, y prácticamente desde el inicio de la carrera del Profesorado, nos preocupamos por la construcción de un campo de problematización general relacionado

con la estructuración teórica del contenido de las disciplinas biológicas, y nos preguntamos sobre las razones epistemológicas y didácticas que pueden fundamentar la construcción de criterios para seleccionar contenidos y diseñar unidades didácticas, con una identidad y un sentido particular para la formación de profesores. Sostenemos que los campos disciplinares pueden y deben ser definidos en función del sentido de su enseñanza y creemos que, para la formación de profesores, es necesario incorporar, en el seno de las disciplinas de las ciencias naturales a enseñar, ciertos aspectos centrales que provienen de la investigación en didáctica actual, como el desarrollo de procesos de modelización de fenómenos por parte de los propios estudiantes (Izquierdo-Aymerich, 2000) y el abordaje de contenidos metacientíficos del eje *naturaleza de la ciencia* (Adúriz-Bravo, 2005). Nuestra hipótesis general sostiene que, si los espacios de formación en modelos didácticos que posee el profesorado comienzan a permear ideas y estrategias de trabajo hacia los espacios de formación disciplinar en biología, la integración de estos ámbitos redundará en hacer más estables y significativos los aprendizajes vinculados tanto a los modelos científicos disciplinares de la biología como a los modelos didácticos que construyan los estudiantes.



Gráfico 1: Planteo general del problema. Relaciones entre campos de la formación.

Creemos que así será posible avanzar hacia una formación disciplinar en biología más significativa para los estudiantes, porque además de brindarles oportunidades para

construir modelos científicos escolares, se haría posible la reflexión teórica sobre qué es la ciencia, cómo se elabora y sobre cómo se pueden identificar aquellos modelos que son fundamentales en la organización de una disciplina (Adúriz-Bravo, 2010). Además, la posterior reflexión metacognitiva que sobre las dimensiones disciplinar y metacientífica implicadas en la formación biológica puedan llevar a cabo los alumnos, por ejemplo al cuestionarse qué aprendemos en biología y de qué manera lo hacemos, tendría valor como registro didáctico, el cual podría ser luego retomado y analizado desde ciertos modelos teóricos en el desarrollo de la didáctica. Este carácter multirreferencial que propone vincular de manera intencionada a diferentes campos de la formación profesional del futuro profesor probablemente genere condiciones de mayor estabilidad y significatividad de los modelos científicos y didácticos que se han considerado pertinentes y relevantes para orientar la formación del profesorado.

El desafío de pensar en modificar las lógicas que sostienen la formación de los profesores, como la que proponemos en este estudio, puede dar lugar a cambios puntuales y locales al interior de las materias que se impliquen en este tipo de trabajos, pero también, si se generaliza, puede tener consecuencias favorables para la construcción de una imagen de Profesorado con una fuerte identidad, que sea más atractivo y de interés para los jóvenes que desean formarse como profesores. Estos son aspectos que, en la actualidad, han sido debatidos en el seno de la comunidad universitaria nacional y que han llevado a la explicitación de la siguientes idea, en los Lineamientos Generales de la Formación Docente comunes a todos los Profesorados Universitarios (Consejo Interuniversitario Nacional, 2012):

Abordar las prácticas docentes en su complejidad y multidimensionalidad requiere de la consideración, reflexión y comprensión de sus diversas dimensiones: las relativas a cada campo específico de conocimiento que es objeto de enseñanza, las dimensiones sociales, históricas, políticas, culturales, filosóficas, epistemológicas, subjetivas, pedagógicas, didácticas y metodológicas. En este sentido la formación docente será considerada como un proceso integral que tiende a la construcción y

apropiación crítica de saberes disciplinares y de herramientas conceptuales y metodológicas para el desempeño profesional (CIN, 2012, p. 5).

Otra fuente en la cual justificar el desarrollo de este tipo de intervenciones está asociada a los requerimientos que los diseños curriculares de enseñanza media de las distintas jurisdicciones de nuestro país, en función de los Núcleos de Aprendizajes Prioritarios (NAP), hacen a los profesores de ciencias. Por ejemplo, para el Ciclo Orientado de la Educación Secundaria, prescriben que la escuela deberá ofrecer situaciones de enseñanza que promuevan en los alumnos y alumnas:

- ... un proceso avanzado de construcción de modelos científicos básicos contextualizados en temas de relevancia y actualidad de las disciplinas específicas de esta orientación, así como de las formas de trabajo de la actividad científica, a partir del diseño y desarrollo de procesos de indagación científica escolar, por medio de actividades de exploración, reflexión y comunicación que incluyan la valoración de aspectos estéticos, de simplicidad, de capacidad explicativa y predictiva de dichos modelos;
- ... un proceso de enculturación científica que incluye acciones de promoción y valoración, con el propósito de que los estudiantes se impliquen en temas científicos y puedan interpretar a la ciencia como una actividad humana de construcción colectiva, que tiene historicidad, asociada a ideas, lenguajes y tecnologías específicas (CFE, 2012, p. 2).

Es posible advertir, en la formulación de esas proposiciones, los intereses centrados en el desarrollo de la ciencia escolar y los procesos de modelización, la formación en ideas metacientíficas y el abordaje de problemas significativos para la vida del ciudadano, de interés sociocientífico (Bahamonde et al., 2009). La formación de los futuros profesores será más robusta para dar cuenta de estos requerimientos, si se alimenta no solo desde

los ámbitos de formación en didáctica, sino también en los ámbitos de formación disciplinar en biología.³

1.2 La delimitación del problema en el ámbito de la materia Biología Celular

Es en el campo general de problematización antedicho, y en particular en el ámbito de la materia Biología Celular (BC) de primer año del Profesorado en Biología (PB), que decidimos llevar a cabo una investigación didáctica orientada al diseño, aplicación y evaluación de una unidad didáctica que implique a los estudiantes en el desarrollo de procesos de modelización de fenómenos en los que interviene la membrana celular y el aprendizaje de contenidos metacientíficos provenientes del eje de la *naturaleza de la ciencia*.

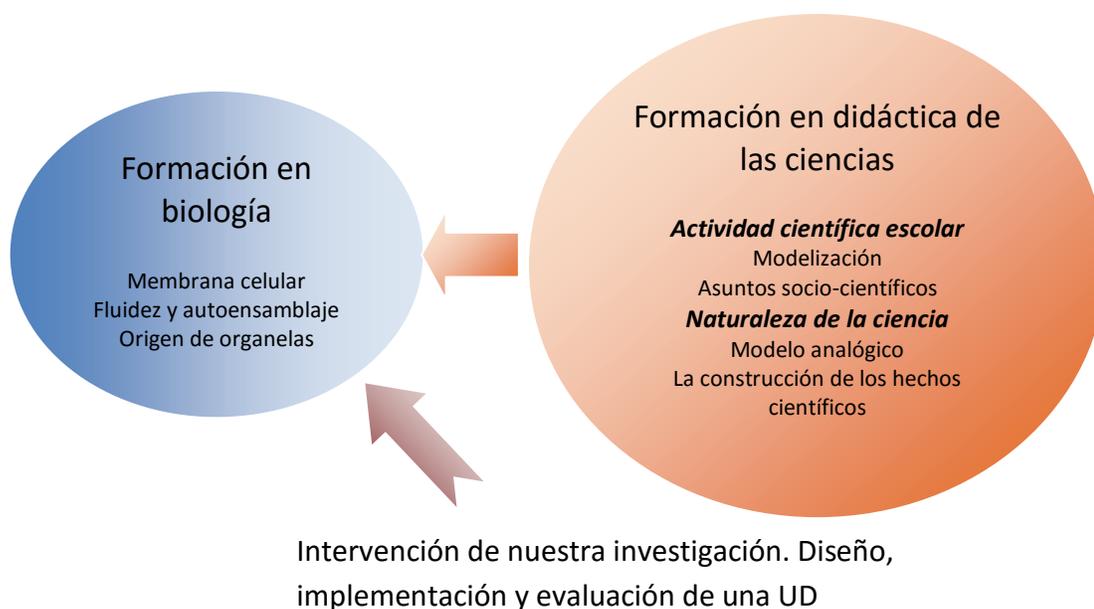


Gráfico 2: Delimitación de la intervención mediante una UD, en el ámbito de la materia Biología Celular del Profesorado.

³ Además, estos aspectos deben dimensionarse en el contexto regional, en el cual la enseñanza en el nivel medio de la biología y de las ciencias naturales en general, posee un bajo nivel de profesionalización docente de sus agentes (Lozano, et al. 2013 c).

Ya situados en el campo particular de problematización, justificamos esta investigación en la necesidad de aportar experiencias educativas inéditas, sistematizadas y validadas que den cuenta de las posibilidades y dificultades de la implementación de este tipo de trabajos en las materias disciplinares de las ciencias naturales, en particular de la biología, en el ámbito del Profesorado en la Universidad.

1.3 Hipótesis orientadora y propósito de la investigación

Situados desde las coordenadas teóricas que aportan el modelo cognitivo de ciencia escolar (Izquierdo-Aymerich, 2000) -especificado operativamente para el trabajo de enseñanza en la llamada “actividad científica escolar” (Sanmartí, 2002; Paz et al., 2008)- y el eje *naturaleza de la ciencia* (Lederman, 1992; Adúriz-Bravo, 2005), sostenemos que la unidad didáctica que implementaremos, orientada a la producción de procesos de modelización sobre fenómenos de membrana celular, advertidos por las ideas metacientíficas que intencionadamente se han implicado, debería permitir a los estudiantes construir modelos e hipótesis teóricas y aplicarlos significativamente sobre ciertos fenómenos de la realidad, de interés sociocientífico, para otorgarles sentido. También podrán establecer relaciones significativas entre sus modelos y el modelo científico “mosaico fluido” y podrán reflexionar sobre ciertos aspectos metacientíficos, como los modelos analógicos, la carga teórica de la observación y los sentidos atribuibles al concepto de descubrimiento y la construcción de hechos científicos en la actividad científica.

De este modo, desarrollamos esta investigación para producir conocimiento didáctico fundamentado teóricamente y evaluado en una práctica que, en el mismo seno de la formación disciplinar biológica del profesorado, brinde oportunidades a los estudiantes para construir procesos de modelización sobre determinados fenómenos naturales y haga posible la reflexión teórica sobre diversos aspectos de la ciencia (Adúriz-Bravo, 2010).

1.4 Las preguntas de la investigación

Para la estructuración de los aspectos disciplinares y epistemológicos del saber de referencia, nos preguntamos:

- ¿Cómo fue la génesis, evolución y desarrollo de los modelos de membrana celular en la historia? ¿Qué dificultades aparecieron en su constitución? ¿Qué aspectos de interés disciplinar y metacientífico de este análisis pueden incorporarse al desarrollo de la UD?
- ¿Qué temas vinculados con la membrana celular abordan los actuales manuales universitarios de biología general y de biología celular y molecular de uso extendido en la formación básica? ¿Qué tipos de fenómenos explican y qué ideas claves sostienen? ¿De qué manera particular se aborda el modelo de mosaico fluido? ¿Qué recursos se utilizan para su modelización? ¿A qué tipos de fenómenos se lo vincula? ¿Qué otros fenómenos no abordados por la literatura pueden implicarse?

Para la tarea de modelización que deben llevar a cabo los alumnos:

- ¿Qué modelos iniciales ponen en juego los alumnos al abordar un problema de interés sociocientífico que implica fluidez de membrana celular?
- ¿Qué procesos de modelización intermedia y de vinculación con el modelo científico de mosaico fluido llevan a cabo los alumnos durante el desarrollo de la UD?
- ¿Con qué nivel de significatividad los alumnos ponen en juego el modelo construido en la UD para comprender situaciones nuevas de interés sociocientífico?

Para el trabajo con las ideas metacientíficas implicadas en el desarrollo de la UD:

- ¿Cómo reflexionan los alumnos sobre el lugar de la observación y la utilización de modelos analógicos en el trabajo sobre la fluidez de la membrana?

- ¿Cómo reflexionan los alumnos sobre la cuestión del descubrimiento en las ciencias y la construcción de hechos científicos, al analizar un episodio histórico sobre una discusión científica?
- ¿Qué ideas desarrollan y cómo las aplican a nuevas situaciones?

A partir de la formulación de las preguntas, fue posible comenzar a identificar los temas de la investigación, esto es, las cuestiones específicas a estudiar:

- Aspectos históricos y epistemológicos del desarrollo de los modelos de membrana celular desde el siglo XIX a la actualidad.
- Estado actual del saber sobre membrana celular en manuales de biología de uso universitario.
- Procesos de modelización sobre fenómenos de membrana celular que implican el carácter fluido de su composición y que permiten otorgar sentido a diversos fenómenos de la vida cotidiana, de laboratorio y de interés sociocientífico, a partir del diseño de una unidad didáctica desde el modelo cognitivo de ciencia escolar, advertido por ideas metacientíficas del eje *naturaleza de la ciencia*, para la enseñanza de la Biología Celular en el ámbito del Profesorado.
- Procesos de reflexión sobre ideas metacientíficas implicadas en el proceso de modelización y en el análisis particular de un episodio de discusión científica entre teorías rivales sobre el origen de los sistemas de endomembrana y organelas en la célula eucariota.
- Las condiciones que han favorecido o dificultado el desarrollo del trabajo en el contexto natural de clases en la materia Biología Celular que lleva a cabo el profesor-investigador.

1.5 Objetivos de la investigación

1.5.1 Objetivo general

- Interpretar procesos de modelización científica y metacientífica en estudiantes del Profesorado en Biología durante la implementación de una UD para la enseñanza de temas de Biología celular, en el contexto natural de las clases de biología.

1.5.2 Objetivos específicos

- Desarrollar un encuadre histórico-epistemológico que dé cuenta de la producción de diferentes modelos científicos de membrana celular desde la postulación de la teoría celular hasta la formulación del modelo de mosaico fluido, con el objeto de identificar aspectos disciplinares y metacientíficos (como por ejemplo la utilización de diferentes analogías) de interés para la elaboración de la unidad didáctica.
- Desarrollar un panorama actualizado y crítico del estado del saber sobre membrana celular en manuales de biología de uso universitario.
- Elaborar ideas claves disciplinares y metacientíficas para el desarrollo de la unidad didáctica.
- Diseñar una unidad didáctica en la materia Biología Celular del Profesorado en Biología, para la enseñanza de modelos biológicos (mosaico fluido, origen de las organelas) y de ideas metacientíficas (modelos analógicos y construcción de hechos científicos).

Luego de implementar la UD:

- Describir y analizar diferentes modelos iniciales, procesos de modelización intermedia y modelos finales sobre fluidez de membrana construidos en el desarrollo de la UD, al abordar una situación problemática de interés socio-científico.
- Describir y analizar las relaciones que establecen los estudiantes entre los procesos de modelización que llevan a cabo y el modelo científico de mosaico fluido.

- Analizar el nivel de significatividad del modelo de fluidez de membrana construido por los alumnos al aplicarlo a situaciones nuevas.
- Describir y analizar procesos de reelaboración de ideas metacientíficas por parte de los alumnos referidas a la idea de modelo analógico.
- Describir y analizar procesos de modelización sobre el origen de las organelas y la construcción de los hechos científicos a partir del abordaje de una discusión científica de mediados del siglo XX.

2 Marco Teórico

2.1 Introducción: Fundamentos del modelo cognitivo de ciencia escolar

Esta investigación tiene por objeto principal describir e interpretar procesos de modelización sobre ideas científicas y metacientíficas, desarrollados por estudiantes que se forman en el Profesorado, en el ámbito de la materia Biología Celular. De aquí la necesidad de justificar teóricamente cómo se conciben y qué lugar ocupan los modelos y los procesos de modelización en el ámbito de la actividad científica escolar, en virtud de la centralidad que poseen en el presente trabajo.

La actividad científica escolar (ACE) es una propuesta teórica para la producción de ciencia en el contexto educativo, que permite operativizar en el aula las ideas que sostiene el modelo cognitivo de ciencia escolar (Izquierdo-Aymerich, 2000). Este modelo, desarrollado en el Departamento de Didáctica de la Matemática y de las Ciencias Experimentales de la Universidad Autónoma de Barcelona a fines de los '90, considera que la educación científica consiste en lograr que los estudiantes puedan pensar el mundo con teorías para intervenir en él, realizando actividades parecidas a las que desarrollan los científicos cuando generan y justifican representaciones sobre el mundo (Paz et al., 2008). El modelo cognitivo de ciencia escolar se ha nutrido básicamente de dos vertientes metacientíficas. Una, de raigambre epistemológica, vinculada con los modelos cognitivos de ciencia y en particular con la concepción semántica de las teorías científicas (Giere, 1992). Otra, orientada más desde la reflexión axiológica de la ciencia, que la define en términos de actividad científica y que propone la discusión de valores que van más allá de los epistémicos, propios de la visión tradicional de las ciencias (Echeverría, 1998).

A continuación se presentan algunas ideas centrales relacionadas con los núcleos teóricos implicados en el modelo cognitivo de ciencia escolar.

2.1.1 Modelo cognitivo de ciencia. Modelos y concepción semántica de las teorías.

Un modelo cognitivo de ciencia destaca los aspectos que permiten dar sentido a un conjunto de datos. Los modelos cognitivos de ciencia hacen hincapié en que la

ciencia es el resultado de una actividad cognitiva, como lo son también los aprendizajes y que, por ello, para hacer ciencia es necesario actuar con una meta (que es interpretar el mundo, darle significado para poder intervenir en él) utilizando la capacidad humana de representarse mentalmente lo que se está haciendo y de emitir juicios sobre los resultados (Izquierdo-Aymerich, 2000, p. 40).

El concepto de representación es el que articula la epistemología con la ciencia cognitiva (Nersessian, 1992 en Adúriz-Bravo, 2002); el modelo cognitivo de ciencia, que considera que la actividad principal de los científicos es *representar* el mundo a través de teorías para otorgarle sentido y evaluar los resultados, se sustancia en una concepción semántica de las teorías científicas, afianzada a partir de la década de los '70 y alternativa a la concepción sintáctica de la visión tradicional (positivista) de ciencia. Si bien la designación de concepción semántica incluye en realidad una diversidad de corrientes y autores con importantes diferencias entre sí, la literatura filosófica los asocia fundamentalmente con F. Suppe, B. van Fraassen y R. Giere (Estany, 1993), quienes básicamente coinciden en que:

La concepción semántica sostiene que la verdad y la adecuación empírica son las dos categorías semánticas más importantes, tal y como afirma van Fraassen: “las propiedades semánticas son aquellas que tienen que ver con la relación de la teoría con el mundo, o más específicamente, que tienen que ver con los hechos sobre los que trata la teoría” (Estany, 1993, p. 198).

De los autores mencionados, Giere (1992) es el que ha aproximado una versión más sintonizada con las preocupaciones epistemológicas sobre la enseñanza para quienes han desarrollado el modelo cognitivo de ciencia escolar (Adúriz-Bravo, 2012). Uno de los rasgos más distintivos de la propuesta de Giere es el lugar central que les otorga a los modelos teóricos, ya que considera que constituyen las piezas claves de la producción científica:

Los modelos teóricos son los medios a través de los cuales los científicos representan el mundo –tanto para sí mismos como para los demás. Estos modelos son utilizados

para representar los diversos sistemas encontrados en el mundo real: ballestas y péndulos, proyectiles y planetas, cuerdas de violín y parches de tambor (Giere, 1988 en Estany 1993, p. 199).

Al caracterizar los modelos teóricos desde la perspectiva de Giere, es importante reconocer el tipo de relación que él propone que existe entre los modelos y la teoría por una parte y entre los modelos y los sistemas reales por otra. Respecto del vínculo teoría-modelo, Giere establece una diferencia importante con la visión tradicional de la ciencia, para la cual los modelos constituían solo un ejemplo de la teoría:

Tal como sugiere el significado de la palabra “modelo” en el lenguaje natural, los modelos teóricos se proponen ser modelos de algo, y no simples ejemplares para ser utilizados en la construcción de otros modelos teóricos (Giere, 1988 en Estany 1993, p. 199)⁴.

Respecto del vínculo entre los modelos y los sistemas de la realidad a los cuales pretende otorgar sentido, Giere propone que la relación puede establecerse en términos de similitud, e introduce un nuevo concepto, el de hipótesis teórica, para sostener las relaciones entre un ente abstracto, no lingüístico, como es un modelo teórico, y otro sistema no lingüístico como lo es un sistema real, un fenómeno del mundo:

Las denominadas “hipótesis teóricas” son el vehículo del conocimiento científico para hacer *aserciones* con contenido empírico sobre la realidad: ellas afirman que el modelo se parece al sistema *en tales y cuales aspectos y con tales y cuales grados de ajuste*. Estas hipótesis son, por tanto, susceptibles de prueba y, consecuentemente, corroborables o refutables de manera parcial y aproximativa durante la investigación científica (Adúriz-Bravo, 2011, p. 152).

⁴Respecto de un análisis de las diversas relaciones entre teorías y modelos a lo largo de la historia y también en cuanto al análisis del concepto modelo, desde el uso cotidiano que se le otorga hasta las diferencias establecidas en la consideración de los modelos “de” y modelos “para” y el valor epistemológico que poseen y sus implicancias para la enseñanza, es profusa la producción de Adúriz-Bravo.

Además, y respecto de la naturaleza abstracta de los modelos teóricos y de los recursos utilizados para dar cuenta de ellos y definirlos, Giere considera que no hay un único modo, como la axiomatización lo era para la visión tradicional de la ciencia:

Los recursos lingüísticos concretos utilizados para caracterizar estos modelos son de interés secundario. Desde el punto de vista racional, y teniendo en cuenta los fines del análisis metacientífico, no existe un lenguaje que tenga preferencia a la hora de reconstruir las teorías científicas (Giere, 1988 en Estany 1993, p. 199).

Queda así conformado un sistema que relaciona de modo sustantivo dos elementos:

1. El conjunto –amplio y heterogéneo- de recursos simbólicos (“expresivos”) que sirve para definirlo; y
2. El mundo (sistema) el cual viene a modelizar, con el cual mantiene una relación de “parecido” que técnicamente se llama “similaridad” (Adúriz-Bravo, 2011, p. 152).

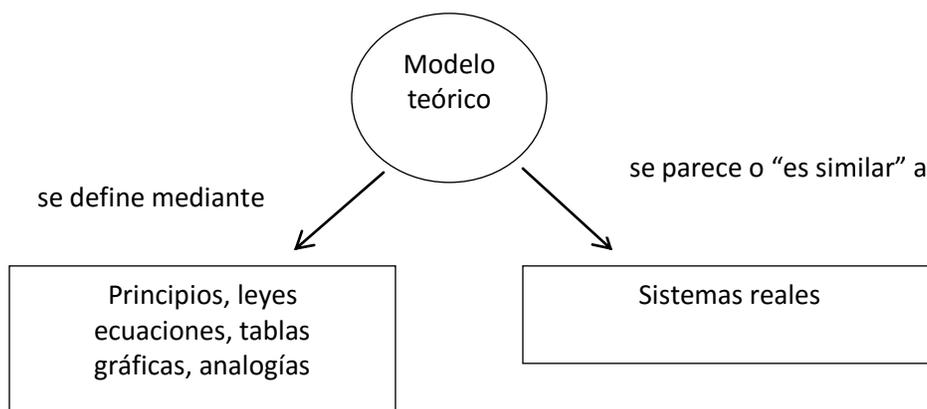
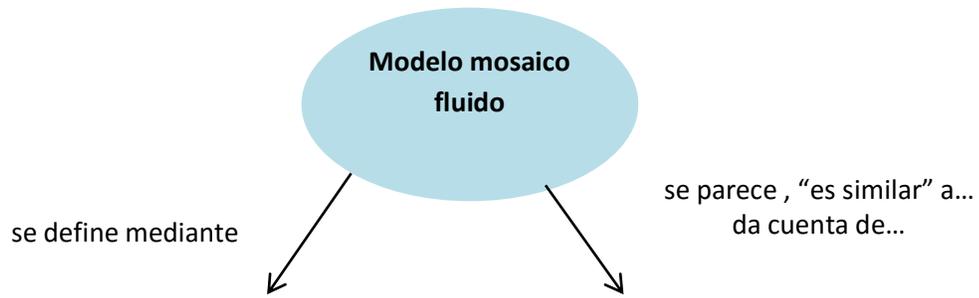


Gráfico 3: Esquema de la actual concepción de modelo teórico (Adúriz-Bravo, 2011, adaptado de Giere, 1988).

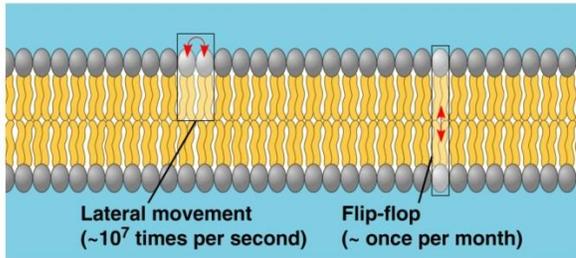
En síntesis, desde la concepción semántica de las teorías científicas que adopta el modelo cognitivo de ciencia escolar como basamento epistemológico, se considera que:

- Los modelos son entidades abstractas, representaciones que subrogan, que reemplazan algunos aspectos del mundo que se estudian y actúan como mapas para facilitar su comprensión (Giere, 1999; Adúriz-Bravo, 2011, 2012).
- Es posible utilizar diferentes formas de lenguaje para definir y caracterizar los modelos, y no solamente sistemas axiomáticos.
- Las relaciones entre los modelos y la realidad se establecen en términos de similitud, esto es, representación y realidad se vinculan, analógicamente, en forma más o menos estrecha, y esto constituye un modo de realismo moderado.
- Las hipótesis teóricas permiten enlazar los modelos con los fenómenos y dan cuenta del nivel de ajuste que los modelos hacen de la realidad.
- Una teoría científica es, para esta concepción, una familia de modelos complejos y articuladamente elaborados, vinculados por medio de vínculos fuertes, y eficientemente caracterizados por medio de enunciados lingüísticos.
- De este modo también es posible entender los modelos como extensiones o proyecciones de una teoría hacia la realidad (Adúriz-Bravo, 2011).

En función de estas caracterizaciones, es posible organizar un esquema de modelo teórico, en referencia al modelo de mosaico fluido, propuesto por Singer y Nicholson en 1972 (Karp, 2009), en particular en cuanto a los atributos de fluidez y autoensamblaje que le confiere la estructura de bicapa lipídica, considerando diferentes formas de definirlo, por medio de enunciados, gráficos, analogías con sistemas materiales y, por otra parte, diferentes sistemas/fenómenos de la realidad que se comportan de manera similar a lo que establece la representación construida sobre la membrana celular.



Las bicapas de fosfolípidos que envuelven las células y las compartimentalizan, son estructuras bidimensionales, fluidas y autoensamblantes



(a) Movement of phospholipids

Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.

Ingreso de micropipetas a las células para manipulación genética

Utilización de liposomas en la producción de fármacos

Locomoción y alimentación de protoctistas

Transporte de sustancias por vesículas al interior de la célula



Gráfico 4: Esquema de modelo teórico adaptado a formas de definición del modelo y fenómenos de interés en el desarrollo de la UD.

Un ejemplo de hipótesis teórica en este esquema fue la formulada por Frye y Edidin (Karp, 2009) respecto de la consideración del movimiento de los fosfolípidos y, a partir de esto, del movimiento que producen a otros componentes presentes en la membrana. La forma de operativizar la relación entre el modelo fluido y un sistema real se puede expresar de la siguiente manera:

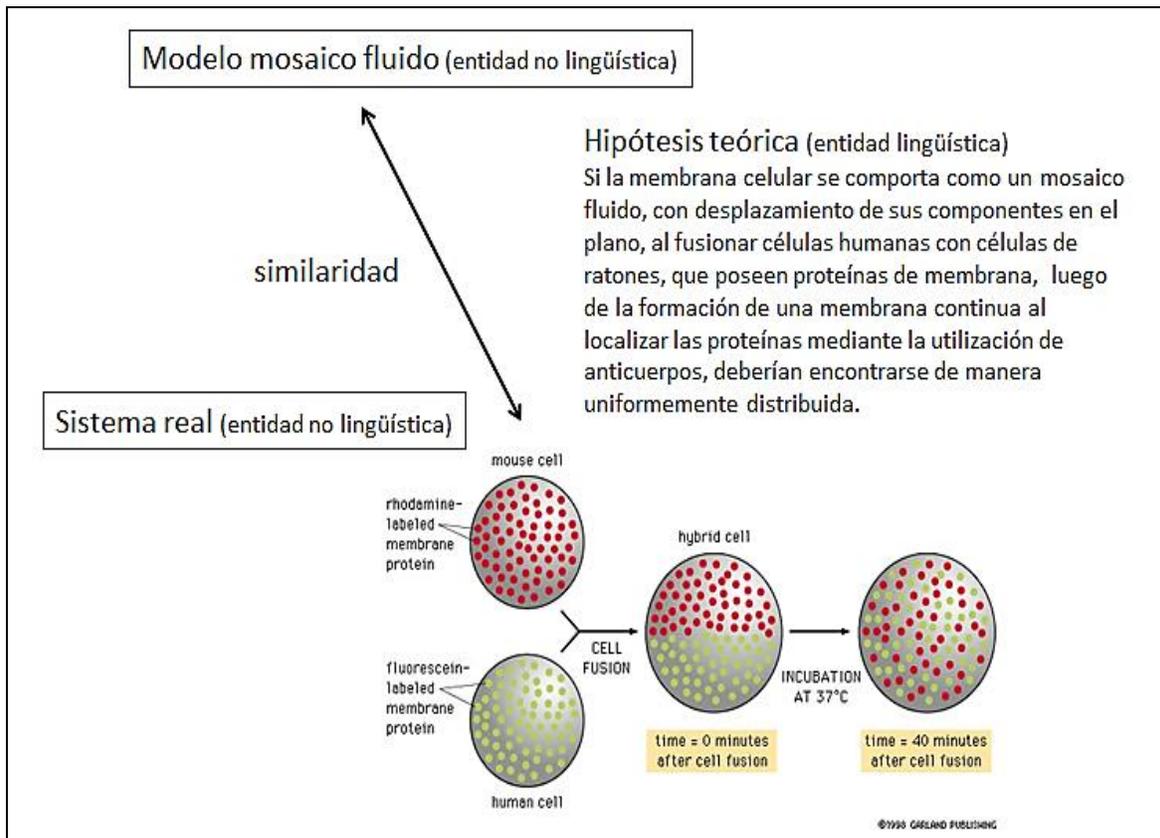


Gráfico 5: Ejemplo de formulación de hipótesis teórica en un caso de fluidez de membrana.

En este caso, el experimento permitió evaluar el nivel de similaridad entre ciertos aspectos del modelo propuesto y los sistemas reales. De este modo, el modelo de mosaico fluido “ajusta”, “da cuenta” de la translocación horizontal de componentes de membrana. En síntesis, este modelo teórico, a modo de método para la producción de sentidos sobre diferentes aspectos de la realidad en la ciencia, posee una notable potencialidad para la enseñanza de las ciencias y es el fundamento epistemológico básico del modelo cognitivo de ciencia escolar.

2.1.2 La ciencia considerada como actividad científica

“Un conocimiento científico considerado desde el punto de vista de los que hacen sus agentes, las personas, inmediatamente se desborda del marco que le ofrece la epistemología” (Izquierdo-Aymerich, 2000, p. 41).

Tal cual propone Izquierdo-Aymerich, en la tarea de estructurar teóricamente un modelo de ciencia escolar no es suficiente con la referencia epistemológica respecto de la elaboración de conocimiento justificado. La imagen de la ciencia asimilada solo al conocimiento científico que produce está reñida con la filosofía tradicional de la ciencia, a partir de la estricta delimitación que en el seno del empirismo lógico se procuraba entre el contexto de descubrimiento y el de justificación, y en la consideración de este último como el único válido para analizar la producción científica (Reichenbach, 1938, en Echeverría, 1998).

Por su parte, la nueva filosofía de la ciencia, en sus vertientes historicistas y externalistas, implicó la consideración de la dinámica del contexto de descubrimiento, desdeñado por los positivistas y, en algunas de sus versiones llegaron a plantear fuertes cuestionamientos a la racionalidad de la producción científica y generaron visiones de la ciencia en extremo relativistas. A partir de estas consideraciones, Echeverría, en su plan de desarrollar aspectos de una axiología de la ciencia, retoma de modo central a Hacking (1983, en Echeverría, 1998) con el objeto de plantear discusiones que no se centren únicamente en los aspectos de la racionalidad, sino de la capacidad de innovación de la ciencia y de intervención en el mundo:

Los filósofos de la ciencia debaten constantemente sobre las teorías y las representaciones de la realidad, pero no dicen casi nada sobre la experimentación, sobre la tecnología o sobre el uso del conocimiento para alterar el mundo (Hacking, en Echeverría 1998, p. 33).

Para Echeverría, una de las preocupaciones centrales de Hacking es fundamentar respecto de que el objetivo principal de las ciencias físicas es la producción de nuevos fenómenos:

El trabajo experimental proporciona la evidencia más fuerte en favor del realismo científico. Pero ello no es porque nos permite verificar hipótesis relativas a entidades. Sino más bien porque entidades que, en principio, no pueden ser "observadas" son manipuladas usualmente para producir nuevos fenómenos y estudiar nuevos aspectos de la naturaleza. Esas entidades son herramientas, instrumentos, pero no para pensar, sino para hacer (Echeverría, 1998, p. 262).

Desde esta perspectiva, y de otros aportes que provienen de diferentes escuelas de sociología de la ciencia (Knorr-Cetina, 1981; Latour, 1979), Echeverría plantea que la ciencia, si bien es especulativa y experimental, básicamente es una actividad científica que se desarrolla para intervenir en la naturaleza, produciendo nuevos fenómenos para conocerla mejor, pero fundamentalmente para transformarla, y por ello considera necesario trabajar en una ampliación de los clásicos contextos de la ciencia, el de descubrimiento y el de justificación, para extender la actividad científica también a los ámbitos de la educación y también a aquellos en los cuáles se aplica y se sigue transformando el conocimiento producido. En su propuesta considera que la actividad científica se sostiene en una compleja red de interacciones entre cuatro contextos: educativo, de descubrimiento/innovación, de justificación/evaluación y de aplicación, y desarrolla las particularidades que los caracterizan y el modo en el que en cada uno de ellos se expresa la producción de la ciencia (Echeverría, 1998).

En lo referido a las reflexiones axiológicas, y en el marco de la ampliación de los contextos en los que desarrolla la actividad científica, Echeverría desarrolla una profunda revisión y una crítica a los valores tradicionalmente asociados a la ciencia.

Desde la visión del empirismo lógico, que restringía la ciencia al producto científico justificado, los valores que podían considerarse eran inevitablemente epistémicos, esto es, la consideración de la ciencia en valores como la verdad, la coherencia, la simplicidad o la capacidad predictiva (Echeverría, 1998). El énfasis puesto en la verdad constituyó lo que Echeverría denomina monismo axiológico.

... se podría decir que, para la gran mayoría de los filósofos de la ciencia, el conocimiento científico debía ser descriptivo, explicativo o comprensivo de lo que

es", pero en modo alguno tenía que ocuparse de lo que debe ser: esto último era tema para éticos, políticos, ideólogos, predicadores o "malos" filósofos de la ciencia. Mezclar cuestiones morales y argumentos científicos, de acuerdo con estas posturas, implica caer en lo que, desde Moore, se llama falacia naturalista (Echeverría 1998, p. 68)⁵.

La ampliación de los contextos en los que se desarrolla la ciencia y la centralidad otorgada a la idea de intervención en el mundo para su transformación, habilitan la pregunta ¿Cómo será esa intervención?, y se abre así a la consideración de valores que no se contemplan en el análisis de la ciencia centrada sólo en las teorías, su axiomática y en el contexto de justificación como único espacio de interés de la filosofía de las ciencias (Echeverría, 1998). La idea de intervención y producción de fenómenos por parte de la ciencia disuelve su consideración como transcripción lógica de la realidad y así desaparecen los límites respecto a la asignación de valores no epistémicos. La ciencia es una construcción social y se la puede valorar socialmente.

La tesis de la falacia naturalista pesa muy fuertemente sobre la tradición empirista: a partir de aserciones factuales no se pueden implicar aserciones morales. Los científicos pueden conjugar el verbo "se", pero no deben usar la expresión *deber ser*. Sin embargo, esta línea de argumentación se basa en una tesis previa que difícilmente se puede seguir manteniendo en la actualidad: la naturalización de los hechos. En la medida en que, como afirmó Fleck, y tras él numerosos sociólogos de la ciencia, haya una construcción social de los hechos, la falacia naturalista se desmorona (Echeverría 1998, p. 70).

Desde esta perspectiva, el autor propone una suerte de pluralismo axiológico, al plantear que del mismo modo que las observaciones están cargadas de teorías, la actividad científica se encuentra influenciada profundamente por diferentes sistemas de valores y

⁵Si desde la perspectiva del empirismo lógico, la ciencia "es" la realidad (a modo de transcripción lógica) y si, por la falacia naturalista de Moore estamos impedidos de trasladar a la realidad natural valoraciones construidas socialmente (por ejemplo: la naturaleza es buena), resulta que es imposible atribuir a la ciencia otras valoraciones que no sean epistémicas

anticipa una serie de ellos que responden a la pregunta de cómo debe ser la actividad científica:

1. Los resultados de la actividad científica *deben ser* públicos, tarde o temprano, y no sólo privados.
2. Los resultados de la actividad científica *deben ser* comunicables y enseñables.
3. El saber científico *debe ser* accesible a cualquier ser humano, previa educación.
4. La objetividad prima sobre la subjetividad. O si se prefiere, la ciencia *debe ser* objetiva.
5. En la medida de sus posibilidades, los científicos *deben* tratar de mejorar lo logrado por sus predecesores (Echeverría, 1998, p. 73).

2.1.3 Características principales del modelo cognitivo de ciencia escolar

A partir de los desarrollos teóricos introductoriamente reseñados antes, se constituyen los pilares básicos del modelo cognitivo de ciencia escolar, el cual direcciona hacia la educación científica la potencialidad que ofrecen como referentes epistemológicos y axiológicos de como hoy se entiende a la actividad científica.

Así, a partir de las elaboraciones de Izquierdo-Aymerich (2000), Sanmartí (2002), Adúriz-Bravo (2007) y Paz et al. (2008), es posible sintetizar los siguientes aspectos:

- La ciencia escolar tiene como propósito que los alumnos construyan modelos teóricos escolares a través de procesos de modelización, para dar sentido a hechos del mundo y también utilizar hechos del mundo para dar sentido a los modelos teóricos que los profesores les enseñan. Esto implica la construcción de hechos científicos escolares.
- La ciencia escolar además de vincular los hechos del mundo con los modelos apropiados para explicarlos, lleva la exigencia de vincularlos con los lenguajes apropiados para representarlos y para argumentar sobre las principales relaciones entre uno y otro, lo cual implica la construcción de hechos retóricos (Paz et al., 2008, p. 14)

- La ciencia escolar debe procurar que el conocimiento producido sea potencialmente transformador del mundo, haciendo a los alumnos capaces de intervenir en él. Esto conlleva reflexiones axiológicas, referidas tanto a la valoración de la consistencia de los modelos construidos (valores epistémicos) como a la valoración social, respecto de la relevancia de los hechos del mundo abordados y el sentido de las intervenciones que se lleven a cabo.

Esta hibridación de aspectos sobre los que se constituye el modelo cognitivo de ciencia escolar, le han conferido atributos de un enorme potencial para la transformación de la enseñanza de las ciencias en virtud de, por una parte y en sus aspectos cognitivos-representacionales-modélicos de los fenómenos de la realidad, poner en el centro de los aprendizajes a la producción de modelos e hipótesis teóricas sobre diferentes parcelas de la realidad por parte de los alumnos, y valorizar así una alfabetización científica orientada a la construcción de sentidos sobre los fenómenos del mundo. Por otra parte, y complementario a lo anterior, desde la vertiente axiológica y en consonancia con el modelo de actividad científica propuesto por Echeverría, contribuir a que los aprendizajes, las modelizaciones teóricas que los alumnos construyan en las clases, tengan como objeto la comprensión de aspectos de interés del mundo, relevantes y que den lugar a la intervención sobre el mismo, a partir de los desarrollos producidos.

2.2 La actividad científica escolar

Tal cual se expuso en la introducción de este capítulo, la ACE es una propuesta teórica que extiende las ideas centrales del modelo cognitivo de ciencia escolar, al trabajo de diseñar la enseñanza. De este modo, la ACE implica el desarrollo de un currículo que procura que la orientación de la clase sea en todo momento, “altamente teórica, pero mostrando siempre la dimensión práctica, comunicativa y valorativa propia de las teorías científicas” (Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, en Paz et al., 2008, p. 15).

En este marco, la actividad científica escolar está compuesta por cuatro elementos básicos (Paz et al., 2008): a) los hechos, que ocurren o que se pueden provocar; b) la teoría y los modelos, esto es lo que se piensa y representa respecto de lo que ocurre o de aquello

que provocamos; c) los objetivos y la metas en cuanto a las finalidades que nos llevan a representar y/o intervenir y los valores implicados; d) el lenguaje adecuado para dar sentido y comunicar a otros los modelos e intervenciones.

Así, el diseño de la actividad científica escolar, según Izquierdo-Aymerich (2000), consiste en montar un escenario en el que aparezcan preguntas teóricas, centrales de cada una de las disciplinas de las ciencias naturales y también se encuentren las reglas del juego para responderlas:

Además, ha de proporcionar itinerarios para el proceso de modelización (consistente en pensar, hacer y comunicar), que ha de culminar en el establecimiento de los conceptos, términos y habilidades *correspondientes a la matriz disciplinar que el escenario ha recreado para los alumnos* (Izquierdo, 2007, en Paz et al., 2008, p. 14).

Pensar, hacer y comunicar (Guidoni, 1985, en Paz et al. 2008) en el marco de la ACE, constituyen acciones que se disponen en función de posibilitar la modelización con el objeto de construir hechos científicos escolares. Estos, son hechos del mundo pero reconstruidos al interior de la clase en función del desarrollo de modelos mentales que los representan satisfactoriamente y de la construcción de hipótesis teóricas para validarlos. Además, la vinculación de los hechos con los modelos requiere la utilización de lenguajes abstractos que les den sentido y permitan comunicarlos por parte de los alumnos, y esto implica la consideración de los hechos científicos como hechos retóricos (Paz et al., 2008). En estos procesos se hace imprescindible el desarrollo de habilidades cognitivolingüísticas por parte de los alumnos, procesos cognitivos muy utilizados en la actividad científica, como: describir, definir, narrar, resumir, explicar, justificar, argumentar y demostrar (Sanmartí, 2002).

2.2.1 La modelización en la actividad científica escolar

Además de constituir una de las actividades centrales de la producción científica, es creciente el desarrollo de la modelización en el ámbito de la didáctica de las ciencias (Gilbert, 1993, 2004, 2010; Galagovsky, L., et al., 2001 Moreira, et al., 2002; Gómez, 2005;

García Rovira, 2005; Felipe, et al, 2005; Bahamonde, 2007; Camacho González et al., 2012).

Adúriz-Bravo (2009), al analizar la modelización científica, entiende que puede significar la creación de modelos científicos originales; la construcción de argumentaciones en las que se subsumen a modelos disponibles ciertos hechos investigados; el ajuste de modelos establecidos ante la aparición de nuevos datos; el ejercicio intelectual de aplicar modelos ya establecidos a hechos ya estudiados en un ámbito educativo. De este modo, afirma que la modelización científica es identificable en cada uno de los contextos de la actividad científica (Echeverría, 1998).

En el ámbito de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, la modelización es una finalidad y también es un proceso (Gómez, 2005).

La finalidad de la modelización escolar es producir modelos científicos escolares, y estos no son una simplificación de los modelos eruditos sino que son una versión que los tiene como meta, pero que han sido elaborada teniendo en cuenta el contexto educativo y las finalidades de la enseñanza (Gómez, 2005).

La modelización como proceso, y a partir de la formulación de modelos iniciales, transcurre por medio de avances y recursividades que implican ponerlos a prueba y revisarlos y ajustarlos, al aplicarlos a situaciones específicas. En este proceso se implican las propias construcciones de cada uno de los alumnos, la interacción entre ellos y los profesores, la interacción con los instrumentos y las formas comunicativas en función de la construcción de los sentidos (Gómez, 2005).

En función de esta visión, es importante enfatizar que la explicitación de los modelos iniciales de los estudiantes, no se hace con el objetivo de detectar errores, para que luego los alumnos adoptando los modelos científicos produzcan un cambio conceptual (Pozo, 1999). Desde la perspectiva que adoptamos, más importante que identificar modelos erróneos, es dar lugar a que los modelos iniciales de los alumnos transcurran por el proceso de modelización mencionado, en el que se generan formas de mirar a los fenómenos que se adecúan a las formas de mirar que llevan a cabo los científicos y

también se producen formas de hablar, al aceptar las reglas de juego que impone la ACE, adecuadas también a las formas de hablar en la ciencia (Arcà, Guidoni y Mazoli , 1990).

En los procesos de modelización que llevan a cabo los estudiantes es posible identificar modelos intermedios, aproximaciones parciales que son funcionales, esto es que permiten ajustar de algún modo un fenómeno analizado y que cuentan con algunos elementos presentes en el modelo científico, pero que aún pueden soportar reelaboraciones, ajustes, pueden ser complejizados y enriquecidos. En esta tarea, y con el objeto de fortalecer los procesos de modelización, juegan un papel fundamental las analogías y las metáforas que puedan ser elaboradas y adoptadas con el fin de potenciar los procesos de atribuir significados, de conectar los modelos con los hechos del mundo (Gilbert, 2004). Un mediador analógico facilita el desarrollo de una representación al dar lugar a las comparaciones entre dominios que tienen alguna semejanza y colaboran en hacer más cercano un hecho que, a priori, aparece como lejano e inaccesible (Gómez, 2005). Adaptamos un esquema de Clement (2000), reformulado por Gómez (2005), que refiere a un proceso de construcción de un modelo escolar a partir de una sucesiva elaboración de modelos intermedios, para ejemplificar un proceso de modelización en la UD de nuestra investigación.

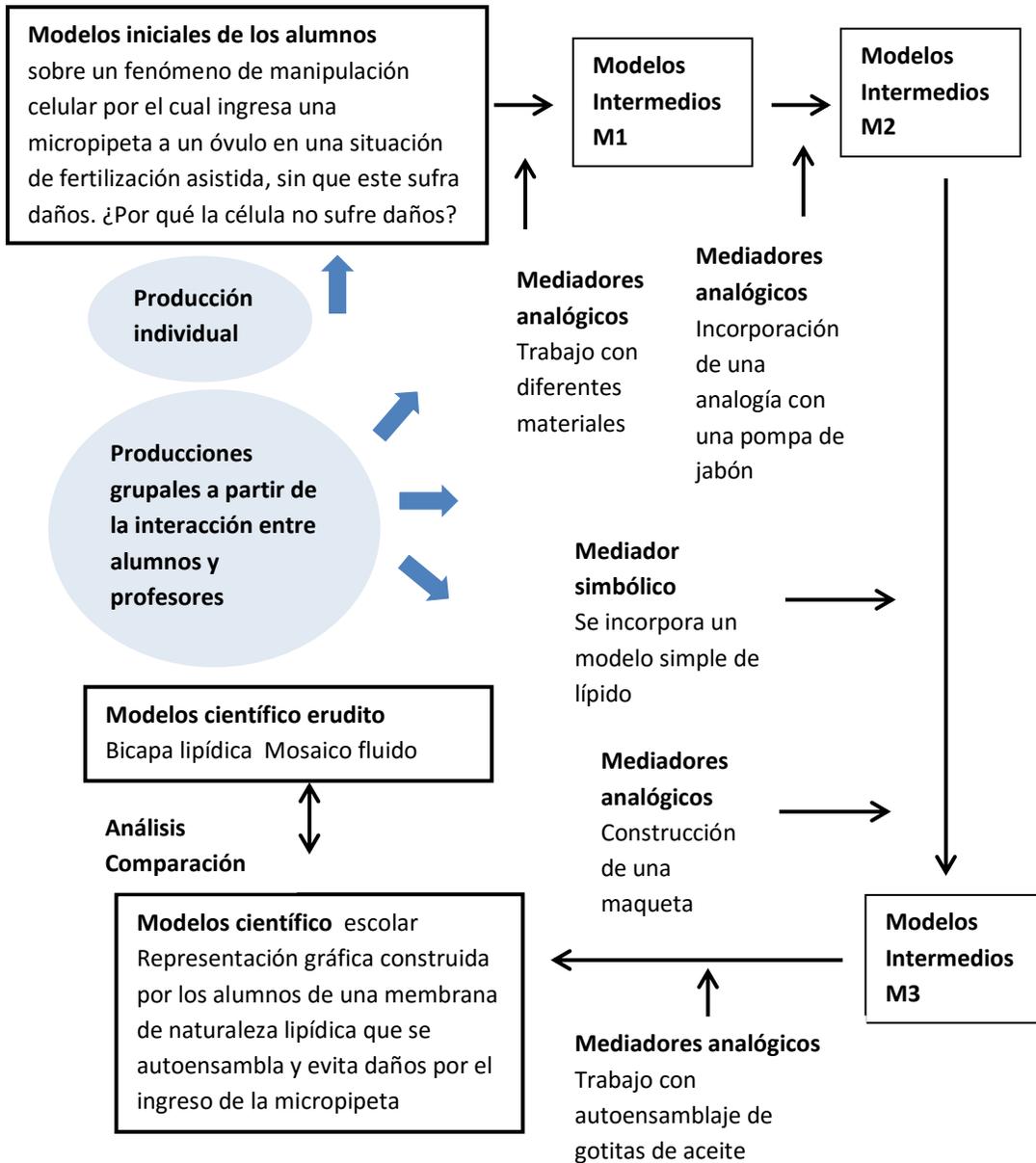


Gráfico 6: Proceso de construcción de un modelo escolar implicado en la UD. Adaptado de Clement (2000) reformulado por Gómez (2005).

Así, por medio de la modelización, la ACE promueve la construcción de hechos científicos escolares, los que a su vez se constituyen también como hechos que pueden ser comunicados.

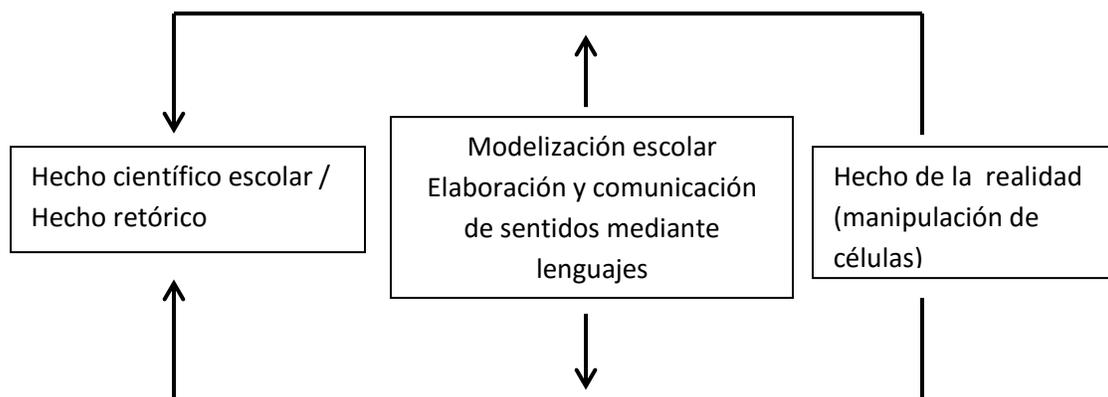


Gráfico 7: Actividad científica escolar y construcción de hechos científicos escolares y retóricos.

2.2.2 Sobre los tipos de actividades que orientan la organización de una UD, desde la ACE

Las actividades didácticas son un conjunto de acciones planificadas por el profesorado que tienen como finalidad promover el aprendizaje de los alumnos en relación con determinados contenidos. A través de ellas se favorece la comunicación entre tres polos: el del saber, el del que enseña y el del que aprende. Las actividades son las que concretan las intenciones educativas (Sanmartí, 2002, p. 175).

En función de organizar y direccionar el trabajo de los alumnos, adoptamos un tipología de actividades que Sanmartí (2002) desarrolló in extenso, en el marco de un abanico de metodologías constructivistas, con el objetivo de facilitar y secuenciar las acciones de modelización, experimentación y comunicación y discusión en las clases.

En función del desarrollo llevado a cabo de cada uno de estos tipos de actividades en el diseño de la UD en los Estudios 1 y 2, sólo se mencionan aquí sus objetivos:

- Actividades de iniciación, que implica el planteamiento de problemas significativos y la explicitación de los modelos iniciales de los alumnos

- Actividades para promover la evolución de los modelos iniciales, que implica el desarrollo de modelos intermedios por parte de los alumnos al encontrar que los iniciales no permiten ajustar los sistemas reales; la introducción de nuevos puntos de vista, analogías, etc.
- Actividades para estructurar el conocimiento, a partir de las cuales los alumnos reflexionan sobre el modelo construido y tratan de presentarlo de manera abstracta y de compararlo con los modelos científicos construidos para explicar fenómenos semejantes.
- Actividades para aplicar el conocimiento, las que dan lugar a la posibilidad de extender los modelos construidos a nuevas situaciones.

2.3 El componente *naturaleza de la ciencia*

Desde hace más de dos décadas se hicieron consistentes y se extendieron en el campo de la didáctica de las ciencias naturales, ciertas líneas de investigación que consideraron que la reflexión crítica sobre la ciencia, esto es, saber sobre qué es la ciencia, cómo se elabora y cómo se relaciona con la sociedad, es tan importante para la formación de los estudiantes y de los ciudadanos en general, como saber sobre los contenidos científicos (Lederman, 1992; Matthews, 1994; Driver et al, 1996). En ese heterogéneo campo de investigación, el eje *naturaleza de la ciencia* (NOS) (Lederman, 1992, 2002, 2006; McComas et. al. 1998) es una de las perspectivas que se consolidó y que se ha constituido en la actualidad como un importante componente curricular de reflexión crítica sobre las ciencias naturales. Lederman reconoce que, si bien desde inicios del siglo XX la naturaleza de la ciencia ha sido reconocida como un importante objetivo instruccional (Lederman, 1992), la investigación sistemática no comenzó hasta finales de los '50, momento en el que se comenzaron paulatinamente a abordar estudios relacionados con las concepciones de los estudiantes y de los profesores (Ravanal Moreno et al., 2010; Pujalte et al., 2011), también las concepciones presentes en el currículum, las estrategias para mejorar las concepciones en la formación del profesorado e investigaciones sobre la eficacia relativa de acciones de propuestas de enseñanza (Lederman, 2002).

Desde la perspectiva de Adúriz-Bravo, *naturaleza de la ciencia* puede ser definido como un conjunto de contenidos metacientíficos con valor para la educación científica, a partir de los cuales los estudiantes pueden construir imágenes de ciencia más ajustadas a lo que actualmente se sabe sobre la ciencia (Adúriz-Bravo, 2005; 2007).

Si bien la definición es amplia, Adúriz-Bravo sostiene que es operativa, en función de que sitúa la naturaleza de la ciencia en el campo de las metaciencias, disciplinas científicas, y esto las emparenta y hace muy compatibles con las propias ciencias naturales. Desde este lugar es posible pensar en que en las clases de ciencia se modelice tanto un fenómeno natural como una idea metacientífica. También considera que esa definición no separa de manera estricta las diferentes procedencias de las ideas que se pretenden enseñar, básicamente provenientes de la epistemología, la historia de la ciencia o la sociología.

Por último, sostiene que la definición da cuenta del sentido profundamente educativo que tiene la naturaleza de la ciencia y que las transposiciones que se hagan del complejo campo erudito de la epistemología la historia de la ciencia y la sociología, deben ser funcionales a la tarea cotidiana de enseñar ciencia por parte de los profesores (Adúriz-Bravo 2001; 2006).

La importancia otorgada a la naturaleza de la ciencia como componente curricular, ha sido analizada por diferentes autores, como Driver (1996) al abordar las imágenes de ciencia de los jóvenes, McComas (1998) al referirse a los mitos sobre la ciencia y Matthews (1994) desde la tradición contextualista.

En esta línea, Adúriz-Bravo delimita tres finalidades en referencia con la naturaleza de la ciencia en la formación inicial y continua del profesorado en ciencias:

- Una finalidad intrínseca. La naturaleza de la ciencia ha de ser una reflexión racional y razonable sobre las propias ciencias naturales, que sirva para analizarlas críticamente desde un segundo nivel de discurso.
- Una finalidad cultural, al destacar el valor histórico de la ciencia como creación intelectual humana, referenciando científicos e ideas en los contextos sociales de cada época y advirtiendo críticamente el pensamiento de los profesores respecto

de posiciones relativistas o positivistas extremas, que sostienen visiones deformadas de la ciencia.

- Una finalidad instrumental, en cuanto a que la naturaleza de la ciencia es una reflexión valiosa que permite mejorar la enseñanza y el aprendizaje de los contenidos científicos en virtud de que colabora en la identificación de obstáculos, por ejemplo para la comprensión de grandes modelos como la teoría evolutiva, para identificar las formas de razonamiento que se activan en la producción científica y en la vida común y también porque la reflexión epistemológica genera herramientas significativas para mejorar la enseñanza (Adúriz-Bravo, 2007).

De este modo, la *naturaleza de la ciencia* que se considera más adecuada para la formación y la práctica del profesorado, debe promover reflexiones principalmente epistemológicas, ambientadas en la historia de la ciencia y advertidas por la sociología de la ciencia, a cuestionar la visión tradicional de la ciencia (Lozano, et al. 2014 a).

Si bien Lederman considera que el trabajo sobre la naturaleza de la ciencia no debería basarse sólo en una de las diferentes visiones que sobre la ciencia se han construido en la historia, como preponderante para orientar su ámbito de reflexión (Lederman, 1992), desde la perspectiva de Adúriz, y si bien se asume la tendencia actual a construir una naturaleza de la ciencia con libertad de criterios y adecuada al sentido de la alfabetización científica, hay un particular interés puesto sobre la concepción semántica de las teorías científicas (Giere, 1988), desarrollada en la fundamentación de nuestro trabajo, ya que promueve la construcción por parte de los alumnos de imágenes de una ciencia realista y racionalista moderada. Un análisis en profundidad sobre las relaciones entre la didáctica de las ciencias y diferentes visiones epistemológicas, el acercamiento a la visión semanticista de las teorías científicas y las dificultades de su introducción como basamento epistemológico de la enseñanza, se encuentran en Ariza (Ariza, et al, 2010)

Respecto de las actitudes de profesores y estudiantes y la influencia de las condiciones del aula para la enseñanza de contenidos de *naturaleza de la ciencia* en el nivel secundario, es de interés la investigación desarrollada por Vildósola Tibaud (2009).

2.3.1 Sobre la organización de la enseñanza de *naturaleza de la ciencia*

Respecto de la tarea concreta de organizar el trabajo de formación en *naturaleza de la ciencia* en el ámbito del profesorado, se pueden considerar algunos ejes de análisis que funcionarían a modo de coordenadas para el desarrollo de propuestas y que pueden integrarse de manera significativa al desarrollo de la ACE y la tipología de actividades adoptada.

Un eje es el nivel de explicitación y contextualización que se da a la *naturaleza de la ciencia* implicada en la enseñanza. En cuanto a la explicitación, deviene de la inevitable construcción de una imagen de ciencia por parte de los alumnos durante el aprendizaje de contenidos de las ciencias naturales y si esta se hace o no explícita en el desarrollo de las clases. En cuanto a la contextualización, se refiere a si las ideas sobre *naturaleza de la ciencia* se trabajan a partir del desarrollo de la enseñanza de un contenido de las ciencias naturales, haciendo un análisis metacientífico del contenido disciplinar, o si se presenta en abstracto.

Otro eje está relacionado con la necesidad de identificar cuáles son los contenidos metacientíficos que se asumirán como parte de la formación en *naturaleza de la ciencia* del profesorado. Esta tarea podría pensarse desde los campos teóricos estructurantes de la epistemología (Adúriz-Bravo, 2007) que referencia cuestiones metateóricas clásicas y que remiten a reflexiones genéricas profundas sobre la *naturaleza de la ciencia*:

- La relación entre la realidad y lo que se dice de ella (Correspondencia y racionalidad).
- La validación del conocimiento científico (Intervención y metodologías).
- El cambio de las ciencias en el tiempo (Evolución y juicio).
- La diferencia entre la ciencia y otros tipos de conocimiento (Estructura y demarcación).
- Las relaciones entre la ciencia y otras producciones culturales (Contextos y valores).

Otro constructo, más general, para organizar el proceso de selección de las cuestiones metateóricas, se refiere a aspectos de la *naturaleza de la ciencia* con referencia a tres miradas teóricas posibles: ¿Qué es la ciencia? (Aspecto epistemológico), ¿Cómo cambia? (Aspecto histórico), ¿Cómo se relaciona con la sociedad? (Aspecto sociológico).

Por último, y ya en función de pasar a los niveles de concreción del currículum más cercanos al diseño e implementación de unidades didácticas, se propone, por una parte, la noción de idea epistemológica, como afirmación sencilla sobre un aspecto relevante de las ciencias a trabajar, la cual permite operacionalizar alguno de los constructos seleccionados y la noción de directriz didáctica, que permite llevar a la enseñanza metateórica, prescripciones provenientes de una visión constructivista de la enseñanza de las ciencias, por ejemplo el modelo didáctico de ACE. Entre estas directrices se destaca el uso extensivo de la historia de la ciencia como ambientación, el uso del mecanismo cognitivo y discursivo de la analogía y el uso reflexivo de los procedimientos científicos de naturaleza cognitivo-lingüística (Adúriz-Bravo, 2007).

A partir de estos supuestos, el siguiente es un ejemplo de elaboración de uno de los contenidos metacientíficos presentes en la unidad didáctica de esta investigación.

Elemento Teórico	Ejemplo
Aspecto	¿Qué es la ciencia?
Campo estructurante	Correspondencia y racionalidad
Cuestión	¿Cómo se aborda la realidad para su comprensión?
Idea clave	Los modelos son representaciones que reemplazan, simplifican y analogan elementos y relaciones de una parte de la realidad

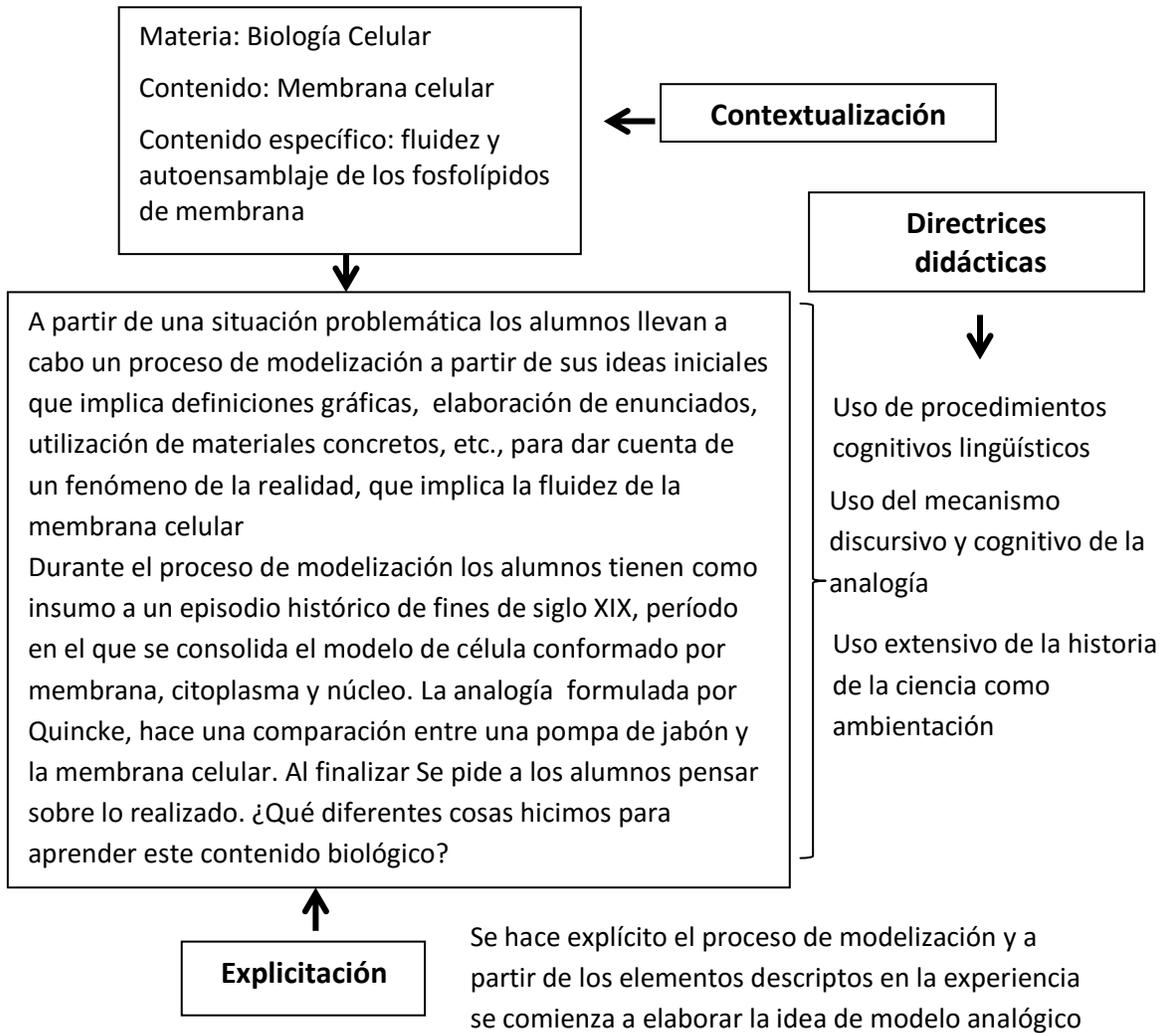


Gráfico 8: Modelo de elaboración de contenidos metacientíficos para la UD.

3 Metodología

3.1 Un enfoque cualitativo

La investigación que llevamos a cabo se inscribe básicamente en un enfoque metodológico de tipo cualitativo (Erickson, 1989; Jackson, 1991; Salkind, 1998). Como propone Rinaudo (1997), al momento de fundamentar la adopción de este enfoque suelen aparecer ciertas dificultades ya que se trata en realidad de una multiplicidad de abordajes, sobre los cuales no existe unanimidad respecto de los supuestos teóricos que los sostienen, sobre sus denominaciones, ni sobre las notas más importantes que los caracterizan. En el análisis de diferentes investigaciones que los adoptan como enfoques orientadores, es posible advertir un tipo especial de caracterización, en función de la filiación disciplinar de la investigación. Así, si los estudios que los utilizan son filosóficos, las fuentes teóricas suelen referenciarse en la hermenéutica, en los trabajos de Weber, Dilthey y el método de la comprensión⁶. Si los trabajos están relacionados más con el campo de la sociología, las referencias suelen vincularse con la etnometodología, y con la fenomenología si se trata de trabajos de vertiente psicológica (Rinaudo, 1997).

En el campo de los problemas educativos, la definición de un enfoque cualitativo es también controversial:

Para quienes nos ocupamos de los problemas educativos, definir la investigación cualitativa desde nuestro propio campo, no parece menos temerario. Hace ya unos 10 años, Mary Smith, especialista en métodos de investigación cualitativa nos la muestra como un área hostigada por el problema terminológico. Ella observa que términos tales como *investigación naturalística*, *observación participante*, *estudio de casos*, *etnografía* y aún *investigación cualitativa*, se usan intercambiamente y que el conjunto de trabajos llamados cualitativos es tan variado y sus bases teóricas tan diversas, que llegan al punto del desorden. Diferentes concepciones acerca de la realidad, criterios

⁶En la elaboración de la tesis de Maestría, (Lozano, 2003), este aspecto fue desarrollado con más profundidad.

diferentes acerca de cuáles son los problemas a estudiar, divergencias acerca de lo que constituye un buen trabajo de investigación, y aún respecto de cuál debería ser la manera de presentar los resultados, contribuyen a la conformación de diferentes campos, en algunos casos muy cerrados y con relaciones no muy cordiales entre ellos (Rinaudo, 1997).

Luego de la advertencia sobre las discrepancias, es posible puntualizar una serie de aspectos que se encontrarían en la base de aquello que podría considerarse una investigación cualitativa (Smith, 1987 y Taylor y Bodgan, 1986 en Rianudo, 1997):

- La investigación cualitativa es empírica, trabaja con datos de la realidad pero estudia cualidades y tiene especial interés por los significados y busca comprenderlos en su contexto particular.
- El investigador debe situarse personalmente en el ambiente natural en el que ocurren los hechos y estudiar su objeto de interés durante un tiempo prolongado, y debe atender a las características del contexto que influyen sobre él.
- En los métodos cualitativos todas las perspectivas y los escenarios tienen valor y son susceptibles y dignos de abordaje, y se reconoce que el investigador produce efectos sobre las personas o los fenómenos que estudia.
- El investigador cualitativo trata de suspender o apartar sus propias creencias y perspectivas.

Según estas ideas, consideramos que los siguientes aspectos de nuestra investigación permiten referenciarla en los enfoques cualitativos, particularmente en aquellos vinculados a la investigación acción (Kemmis y McTaggart, 1988):

- En el contexto de la formación del profesorado, trabajamos con producciones concretas de los alumnos referidas a procesos de modelización sobre fenómenos celulares o reflexiones metacientíficas y nos interesa analizar los significados que los alumnos les otorgan y comprender las condiciones de implementación de este tipo de trabajos

- El investigador es el profesor de la materia y es quien ha estado a cargo del desarrollo de la unidad didáctica implementada en un ciclo de investigación de dos años, en sus clases habituales de Biología Celular, esto es, en su contexto natural de trabajo. El docente investigador es entonces quien ha obtenido y analizado los datos, si bien ha sido un proceso colaborativo con otros participantes (profesor auxiliar de la materia, ayudantes alumnas, director y codirectora de la investigación, etc.).
- Los datos a analizar han surgido por un tipo especial de intervención del investigador, mediante el diseño de una unidad didáctica orientada por modelos teóricos, pero el análisis de los datos y la formación de categorías han implicado una tarea inductiva, en la cual se ha dado lugar a las perspectivas de los alumnos y a los significados que ellos han puesto en juego en las diferentes situaciones propuestas.
- Por último, ha sido un proceso sistemático de vinculación teórico práctica, orientado al desarrollo de la praxis, esto es, a la acción críticamente informada y comprometida y con el deseo de intervenir para modificar estados de situación en la formación docente.

Situados entonces desde estas coordenadas metodológicas generales, las estrategias de intervención fueron elaboradas a partir de los lineamientos que propone la línea de investigación conocida como Estudios de Diseño.

3.2 La investigación en didáctica de las ciencias naturales y los estudios de diseño

Diseñar una unidad didáctica para llevarla a la práctica, es decir, decidir qué se va a enseñar y cómo, es la actividad más importante que llevan a cabo los enseñantes, ya que a través de ella se concretan sus ideas y sus intenciones educativas. Una persona puede haber aprendido nuevas teorías didácticas y puede verbalizar que tiene una determinada visión acerca de qué ciencia es importante que sus alumnos aprendan o acerca de cómo se aprenden mejor las ciencias, pero es en el diseño de

su práctica educativa donde se refleja si sus verbalizaciones han sido interiorizadas y aplicadas (Sanmartí, 2000, p. 241).

Esta definición, que enfatiza el lugar que ocupa la planificación de la enseñanza en el trabajo docente, se asienta sobre una definición de la didáctica de las ciencias naturales como una disciplina del ámbito de las ciencias aplicadas, ya que es valorada tanto por sus aspectos epistémicos, esto es por su capacidad para producir conocimientos, como por sus aspectos prácticos, esto es por la intención de intervenir sobre la realidad (Estany, et al., 2001).

Más precisamente, la didáctica de las ciencias puede ser definida como una ciencia de diseño, “en la medida en que teoriza sobre la transmisión y construcción del conocimiento y sobre los procedimientos que las hacen posibles” (Estany et al., 2001, p. 17).

Desde esta perspectiva, los estudios de diseño (Rinaudo et al, 2010a, 2010b) son estudios de campo, en los que un equipo de investigación interviene en un contexto de aprendizaje particular para atender mediante un diseño instructivo, el logro de una meta pedagógica explícitamente definida. El término diseño refiere al diseño instructivo que se elabora, implementa y somete a escrutinio de investigación, de allí que suelen desarrollarse frente a la introducción de nuevos temas curriculares, nuevas herramientas para el aprendizaje de esos temas o nuevos modos de organización del contexto de aprendizaje. Sin embargo,

los estudios de diseño no se reducen a la elaboración y prueba de un diseño o intervención particular porque los mismos se entienden como concreciones de modelos teóricos que son también objeto de investigación; en este sentido, toda investigación de diseño lleva como propósito la producción de contribuciones teóricas, ya sea para precisar, extender, convalidar o modificar teoría existente o para generar nueva teoría (Reigeluth y Frick, 1999, en Rinaudo, 2010a, p. 3).

En este sentido, los Estudios de Diseño o DBR (Design-Based Research) configuran una perspectiva adecuada para comprender cómo, cuándo y por qué las innovaciones educativas funcionan en la práctica y tienen como objetivo descubrir las relaciones entre la teoría educativa, el artefacto diseñado y la práctica (Learning theories.com, 2014).

3.2.1 Los estudios de diseño ubican la investigación en el contexto natural en que ocurren los fenómenos estudiados

Este tipo de abordajes para comprender cómo funcionan nuevas ideas sobre la enseñanza, tienen como escenario el terreno de juego en el cuál probablemente se gestaron los problemas y busca su consistencia, su validez interna, en la medida de lo racional y razonable que sea el armado de un proceso que permita identificar un estado inicial, un desarrollo y un nuevo estado, inteligible y relacionable con el primero. Dicho por la negativa, este tipo de abordaje no se hace consistente por comparación con un grupo de tipo control ni por la identificación de una variable independiente (en este caso una unidad didáctica innovadora). Se hace fuerte porque lo que se describe y explica es lo suficientemente robusto como para considerarse válido en el contexto en el cual se produjo y porque lo que aprendieron o no aprendieron los alumnos, por ejemplo, está justificado por la estructura del proceso que lo desencadenó, por las coordenadas teóricas que lo alientan y además condicionado por el reconocimiento de la acción de numerosas variables, esto es, se hace la opción por los enfoques sistémicos, estudios que tratan a las variables como interdependientes y transaccionales (Rinaudo, et al. 2010b).

3.2.2 Sobre el lugar de la teoría en este tipo de enfoque

“[El diseño] está al servicio del desarrollo de modelos amplios acerca de cómo los humanos piensan, conocen, actúan y aprenden; el diseño es concebido no sólo para reunir necesidades locales sino para avanzar una agenda teórica, para descubrir, explorar y confirmar relaciones teóricas” (Barab y Squire, 2004, en Rinaudo et al., 2010a).

En este tipo de investigaciones se busca construir “corredores conceptuales”, esto es, el conjunto de caminos fructíferos posibles para la enseñanza de un contenido conceptual. (Confrey, 2006 en Rinaudo et al., 2010a). Desde este lugar se privilegia la producción de conocimiento que sea útil para orientar la enseñanza, un conocimiento que los profesores pueda utilizar y que sirva para a acortar la brecha entre el conocimiento que genera la

investigación educativa y el conocimiento que se requiere para orientar los procesos de enseñanza y aprendizaje. Desde esta perspectiva, van den Akker (Van den Akker et al., 2006, en Rinaudo, 2010 a) propone que uno de los motivos importantes que inspiran a estos estudios es justamente hacer más potentes a las prácticas de diseño.

Así, esta búsqueda de un itinerario fructífero no es azarosa o espontaneísta, sino que está teóricamente direccionada, esto es, lo que ocurra y lo que no, será en un escenario “natural” de trabajo (como el descrito antes) pero intervenido teóricamente.

En las publicaciones de referencia, se considera apropiado identificar un nivel óptimo de definición teórica, esto es, una coordenada teórica con un conveniente y aceptable nivel de operatividad para definir los aspectos prácticos de ese “corredor conceptual”. Desde este lugar y para nuestra investigación, podemos establecer un gradiente que va desde marcos teóricos más generales como el constructivismo (Castorina, 2000) y la visión semanticista de las teorías científicas (Lorenzano, 2002), hasta la identificación de marcos para la acción, en los cuales sería posible ubicar el modelo cognitivo de ciencia escolar (Giere, 1999; Izquierdo, 2000; Sanmartí, 2002; Adúriz, 2011) hasta llegar a las teorías instructivas de dominio, como es la propuesta teórica para el diseño de la ciencia escolar conocida como actividad científica escolar (ACE) (Izquierdo, 2000; Paz et al., 2008) ya que provee las herramientas para diseñar las intervenciones de enseñanza.

A diferencia de los marcos de acción, las teorías de dominio dan cuenta de un trabajo detallado de formulación, prueba y revisión de trayectorias hipotéticas de aprendizaje y por esa razón se las considera más adecuadas para orientar futuras investigaciones (Rinaudo et al., 2010a, p. 13).

Otro aspecto de interés radica en que estos diseños buscan varios objetivos para la teoría, tal cual plantean Barab y Squire (2004) y uno de ellos es extender y confirmar teorías en contextos aún inéditos. En este plano creemos que, el desarrollo de una actividad científica escolar fundamentada y sistematizada, en un espacio disciplinar como es el de la biología celular para la formación del profesorado, en el ámbito de la universidad y con el objeto de enseñar modelos biológicos junto a ideas metacientíficas, constituye un

contexto sino inédito, al menos muy poco explorado, al cual extender las visiones teóricas del modelo cognitivo de ciencia escolar.

3.3 Diseño de la investigación

3.3.1 Primera fase: preparación del diseño

Los estudios de diseño prevén la realización de una secuencia de acciones de: intervención, reflexión, ajustes y nueva intervención como resultado de las reflexiones llevadas a cabo.

... a diferencia de los experimentos clásicos donde los tratamientos se aplican de forma fija a lo largo de toda la intervención, la investigación de diseño propone un ajuste del diseño y esto crea exigencias especiales respecto de la documentación del experimento. Collins y sus colaboradores (2004) aconsejan llevar un registro detallado del diseño, de los cambios que se introducen y de las razones para hacerlo; en este sentido consideran que es necesario documentar los fracasos y revisiones tanto como los resultados generales del experimento (Rinaudo, 2010a, p. 13)

Desde esta perspectiva, para el desarrollo de esta investigación se implementaron dos ciclos de diseño denominados: Estudio 1 o estudio preliminar y Estudio 2, o estudio definitivo para el análisis general y las conclusiones. A su vez el Estudio 2, fue organizado en dos etapas. La primera, relacionada con las ideas de “fluidez y autoensamblaje de membrana” y “modelo analógico”, y la segunda -enlazada con la anterior a partir del modelo de unidad de membrana de Robertson (1970)- relacionada con las ideas de “origen de las organelas” y “construcción de los hechos científicos”.



Gráfico 9: Ciclo de implementación de la UD. El estudio 1 y el Estudio 2.

El diseño de las actividades para cada estudio, según las orientaciones de la actividad científica escolar (Sanmartí, 2002; Paz et al., 2008), implicó la elaboración de:

- Actividades de iniciación, que implica el planteamiento de problemas significativos y la explicitación de los modelos iniciales de los alumnos.
- Actividades para promover la evolución de los modelos iniciales, que implica el desarrollo de nuevos modelos por parte de los alumnos al encontrar que los iniciales no permiten ajustar los sistemas reales; la introducción de nuevos puntos de vista, analogías, etc.
- Actividades para estructurar el conocimiento, a partir de las cuales los alumnos reflexionan sobre el modelo construido y tratan de presentarlo de manera abstracta y de compararlo con los modelos científicos construidos para explicar fenómenos semejantes.
- Actividades para aplicar el conocimiento, las que dan lugar a la posibilidad de extender los modelos construidos a nuevas situaciones.

3.3.2 Segunda fase: Implementación del diseño

3.3.2.1 Estudio 1

El estudio preliminar se llevó a cabo el año 2013, en el curso de Biología Celular de primer año del profesorado de Nivel Medio y Superior en Biología. Con el objeto de llevar a cabo el trabajo en el contexto natural y en los tiempos habituales de enseñanza, se esperó para su implementación el inicio de desarrollo de la Unidad 2 del programa de la materia, referida al estudio del límite celular.

Los 45 estudiantes del grupo trabajaron organizados en grupos de cuatro o cinco para el tratamiento y la discusión de los problemas que sistemáticamente se presentaron en las clases.

Para este estudio preliminar, las actividades fueron presentadas a todos los grupos y el análisis de los modelos iniciales, se hizo sobre la producción llevada a cabo por cuatro grupos en los cuales la totalidad de los integrantes cursaban por primera vez la materia Biología Celular.

3.3.2.2 Estudio 2

Una vez finalizado el rediseño de la unidad didáctica para el Estudio 2, se llevó a cabo su implementación en el contexto natural de clases de la materia Biología Celular, la que se cursa los días martes de 18 a 21 y los jueves de 18 a 20.

Al inicio de las actividades, se informó a los alumnos que el trabajo que se llevaría a cabo en los próximos seis encuentros, formaría parte de un proyecto de investigación destinado a mejorar las condiciones de la enseñanza de la biología celular en la formación del profesorado, y que intentaríamos que el desarrollo habitual de las clases, se viera lo menos modificado posible por esta tarea. La iniciativa fue muy bien recibida por los y las estudiantes, quienes mostraron buena disposición para la tarea en todo momento.

El único aspecto del contexto que se controló de modo particular fue la organización de un grupo de ocho cursantes de la materia, en un horario de cursado diferente, ya que se

consideró apropiado evitar que las discusiones que llevaría a cabo el grupo de ingresantes a la materia, especialmente en las actividades de iniciación y modelización intermedia, se vieran condicionadas por la experiencia del trabajo que ya habían realizado, como parte del Estudio I, esos estudiantes.

Desde la creación del Profesorado en 2010, el año 2014 tuvo su ingreso más numeroso, cercano a los setenta alumnos y el aula destinada al dictado de la materia se vio colmada en su totalidad. Cuando se organizaron los grupos de trabajo, era muy difícil circular entre ellos y a veces, debido al nivel elevado de las voces, se hacen también dificultosos los diálogos en los grupos y el registro de los mismos.



Gráfico 10: Vista parcial del aula de clases de Biología Celular el día de inicio de la UD.

3.3.3 Tercera fase: el análisis retrospectivo

En esta etapa se analizaron los datos y se reconstruyeron en función de la teoría instructiva que sostuvo el desarrollo de la investigación.

3.3.3.1 Toma y registro de datos en las clases y unidades de análisis

El análisis es un proceso de construcción opuesto a las apreciaciones espontáneas que suelen surgir ante determinados fenómenos o situaciones, y está direccionado por el sentido teórico que posee la investigación. El análisis del contenido de las comunicaciones permite identificar y explicar las representaciones cognoscitivas que otorgan sentido a los relatos comunicativos y de alguna manera, a modo de heurística positiva, impone la

obligación de prolongar el tiempo de latencia entre las intuiciones o hipótesis de partida y las interpretaciones que serán consideradas como punto de llegada (Bardin, 1986).

En este marco, y por trabajar en el contexto natural de las clases, se establecieron unidades de análisis cercanas a las posibilidades concretas de recolección de datos que el docente investigador pudo llevar a cabo en su tarea habitual de enseñanza. Así, y salvo la situación problemática de la actividad de iniciación, que fue resuelta individualmente por los alumnos, fueron los grupos de alumnos el dispositivo de producción de datos para la investigación, ya que es el modo en el que habitualmente se trabaja en la materia.

Desde esta perspectiva, se establecieron las siguientes unidades de análisis, las que constituyeron el corpus documental de la investigación que fue utilizado:

- producciones de textos escritos de los grupos (individuales en la actividad de iniciación);
- producciones de gráficos y esquemas de los grupos con algunos textos escritos complementarios;
- episodios del trabajo grupal, interacciones con materiales, intercambios y discusiones, a partir de grabaciones/video-registros o tomando nota en el cuaderno de registros.

Luego se establecieron las unidades de registro, las que constituyen la unidad de significación que se ha de codificar, esto es, el segmento de contenido que es necesario considerar como unidad de base con miras a la categorización (Bardin, 1986).

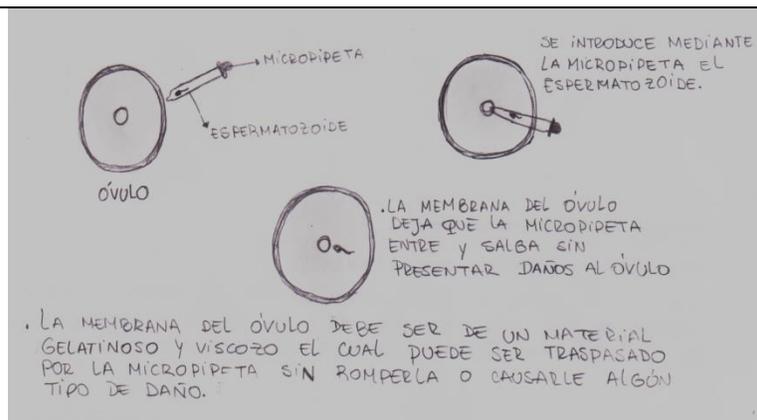
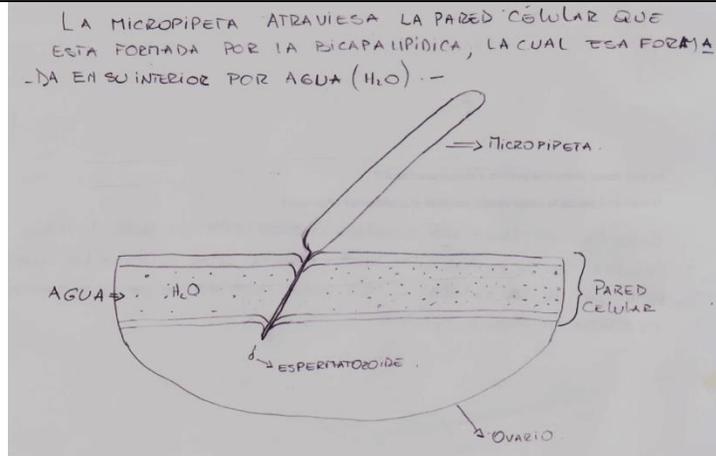
Para los textos escritos, los registros analizados fueron los párrafos producidos por los alumnos para explicar las situaciones propuestas en cada una de las consignas. Los gráficos producidos por los alumnos fueron analizados en conjunto con los textos que los acompañaban y se consideraron como unidades de registro el desarrollo y la evolución de los diferentes gráficos implicados en la explicación de un fenómeno.

Luego, a partir del análisis de las unidades de registro, se establecieron diferentes categorías, que reúnen un grupo de elementos bajo un título genérico, que es construido, y otorga un sentido generado desde la intervención teórica sobre los datos (Bardin, 1986)

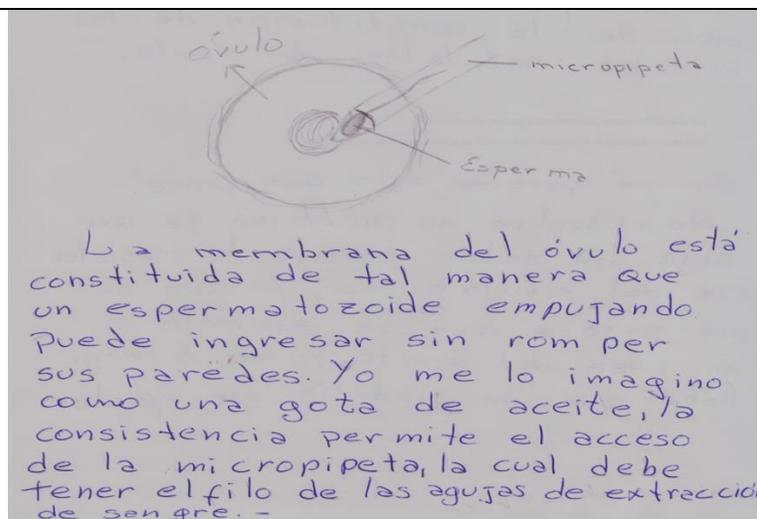
A continuación se presenta, a modo de ejemplo, un recorte del trabajo de análisis realizado sobre unidades de registro de gráfico con textos complementarios:

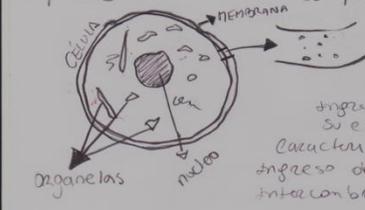
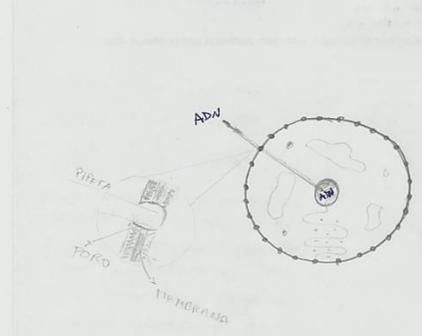
Unidad de registro: Gráficos y textos complementarios que hacen referencia explícita al agua, aceite y gelatina

Categoría



La membrana representada mediante **substancias**



Unidad de registro: Gráficos y textos complementarios que hacen referencia explícita a poros y puentes	Categoría
<p>• En la membrana que recubre la célula existen espacios (puentes) que permiten el intercambio de materia desde el interior hacia el exterior y también a la inversa. Entra moléculas para su metabolismo y salen desechos. Calculo que la micropipeta debe ingresar por alguno de esos espacios. La membrana es permeable.</p>  <p>• Los espermatozoides ingresan y no dañan su estructura. Una de sus características es permitir el ingreso de espermatozoides y el intercambio.</p>	
 <p>La pipeta se introduce por uno de los poros de la célula hasta llegar al núcleo de la misma. Extrae el ADN.</p> <p>Los poros de la célula se encuentran en la membrana de la célula.</p>	<p>La membrana representada mediante una estructura</p>

Luego de la finalización de cada una de las etapas de la UD, se realizaron análisis de las producciones, a modo de microciclos, con el objeto de reconocer emergentes y llevar a cabo las adecuaciones y ajustes correspondientes a las actividades siguientes.

Al finalizar el trabajo, se realizó un análisis reconstructivo en función de los resultados del trabajo de campo y se propuso, en las conclusiones, la definición de los aspectos claves del desarrollo de la UD.

Se elaboró también un diario de investigación en el cual se registró el devenir del trabajo de implementación de la UD.

3.3.3.2 Determinación de la muestra en el Estudio 2

La implementación de la UD se llevó a cabo con la totalidad de los alumnos, quienes conformaron un total de 16 grupos iniciales de cuatro a cinco integrantes cada uno. Se asumió desde un inicio que, por desarrollarse la UD a un mes del comienzo de las clases, existirían modificaciones en la conformación de los grupos, básicamente debido a deserciones tempranas. Por ello, se decidió establecer una muestra intencional no probabilística, para determinar los grupos cuyas producciones formarían parte del análisis de la implementación de la UD, y el criterio básico fue incluir aquellos que no hubiesen tenido modificaciones en su conformación, salvo las ausencias normales a clase. Un segundo criterio fue la calidad de los datos registrados durante el trabajo. Tal cual se planteó en la descripción del contexto, la cantidad de alumnos y las condiciones para la circulación por el aula y para el registro no eran óptimas, por lo tanto también se atendió a ponderar ese aspecto.

Así, quedaron habilitados siete grupos para el análisis de los datos, con un total de 32 alumnos que, al finalizar el dictado de la UD, incluían prácticamente más del 50% de los cursantes de la materia Biología Celular.

La implementación de la Etapa 2 del Estudio 2 se llevó a cabo en fechas que complicaron el desarrollo normal de las clases. Una gran inundación por lluvias y paros de transporte en la región del Alto Valle hicieron necesaria la reprogramación de las clases y también replantear la modalidad de trabajo. Se optó por hacer de manera presencial la presentación del tema, de las consignas de trabajo y las puestas en común, y los alumnos organizados en grupos llevarían a cabo las producciones fuera del horario de clase, reuniéndose personalmente o de manera virtual en el aula que, en la plataforma de la UNRN, tiene a disposición la materia.

Durante el desarrollo de todas las clases del Estudio 2, el docente investigador fue acompañado por la Auxiliar de Docencia. En las reuniones de trabajo previas a las clases, se compartió el detalle de cada una de las intervenciones de enseñanza a llevar a cabo en cada uno de los encuentros, los sentidos de las actividades y el modo en el cual se llevarían a cabo los registros del trabajo de los alumnos.

Con el objeto de registrar diversos aspectos de interés y emergentes de la implementación del trabajo, se elaboró un diario en el cual se volcaron apreciaciones al finalizar cada uno de los encuentros y las reflexiones en conjunto con la Auxiliar de Docencia.

La sistematización de los datos fue organizada en función de facilitar:

- el análisis comparativo entre los grupos, con el objeto de determinar diferentes unidades de sentidos y estrategias puestas en juego en la modelización para abordar los problemas y las estrategias de resolución;
- el análisis de la evolución de los modelos y las ideas al interior de cada uno de los grupos.

3.4 Análisis documental

De manera complementaria, para la conformación del marco histórico-epistemológico de modelos de membrana celular -desde comienzos del siglo XIX hasta la actualidad- y el establecimiento de las ideas claves disciplinares sobre la membrana celular, se realizaron análisis de textos originales de las producciones científicas y de producciones de análisis históricos que citaran fuentes originales. En particular, para el establecimiento de las ideas clave disciplinares se analizaron manuales de Biología General y Biología Celular y Molecular, de uso corriente en la formación biológica básica de los estudiantes universitarios.

4 Estudios sobre el saber de referencia para la determinación de las ideas claves disciplinares y metacientíficas

4.1 Un modelo de transposición didáctica

Enseñar ciencias implica, entre otros aspectos, establecer puentes entre el conocimiento, tal como lo expresan los científicos a través de textos, y el conocimiento que pueden construir los estudiantes. Para conseguirlo es necesario reelaborar el conocimiento de los científicos de manera que se pueda proponer al alumnado en las diferentes etapas de su proceso de aprendizaje. Esta reelaboración no se puede asimilar a meras simplificaciones sucesivas de dicho conocimiento y constituye el campo de estudio de la llamada transposición didáctica (Jiménez et al., 1997, p. 30).

Desde esta perspectiva y en función de la necesidad de elaborar los saberes a enseñar en referencia a los saberes de los científicos, desarrollamos dos estudios. Uno, histórico-epistemológico, sobre la evolución de los modelos respecto de la membrana celular, desde principios del siglo XIX hasta la actualidad, y otro, de tipo documental manualístico, con el objeto de analizar diferentes aspectos de los modelos de membrana que en la actualidad abordan los libros de biología general y de biología celular de uso frecuente en la formación básica universitaria. En el estudio histórico-epistemológico se analizaron e identificaron episodios o aspectos que luego se vincularon intencionadamente con algunas de las ideas clave del eje naturaleza de la ciencia que se consideraron de interés (Lederman, 1992; Adúriz-Bravo, 2005, 2007). La sistematización sobre el tratamiento que los manuales universitarios dan a los diferentes aspectos del modelo de membrana fue utilizada como un elemento de interés, como referencia del estado actual del campo, a la hora de componer el escenario de las discusiones sobre la determinación de las ideas clave disciplinares, en las que también intervinieron los criterios que surgen de las prácticas usuales respecto de la selección de los modelos a enseñar y también de las intenciones del docente investigador.

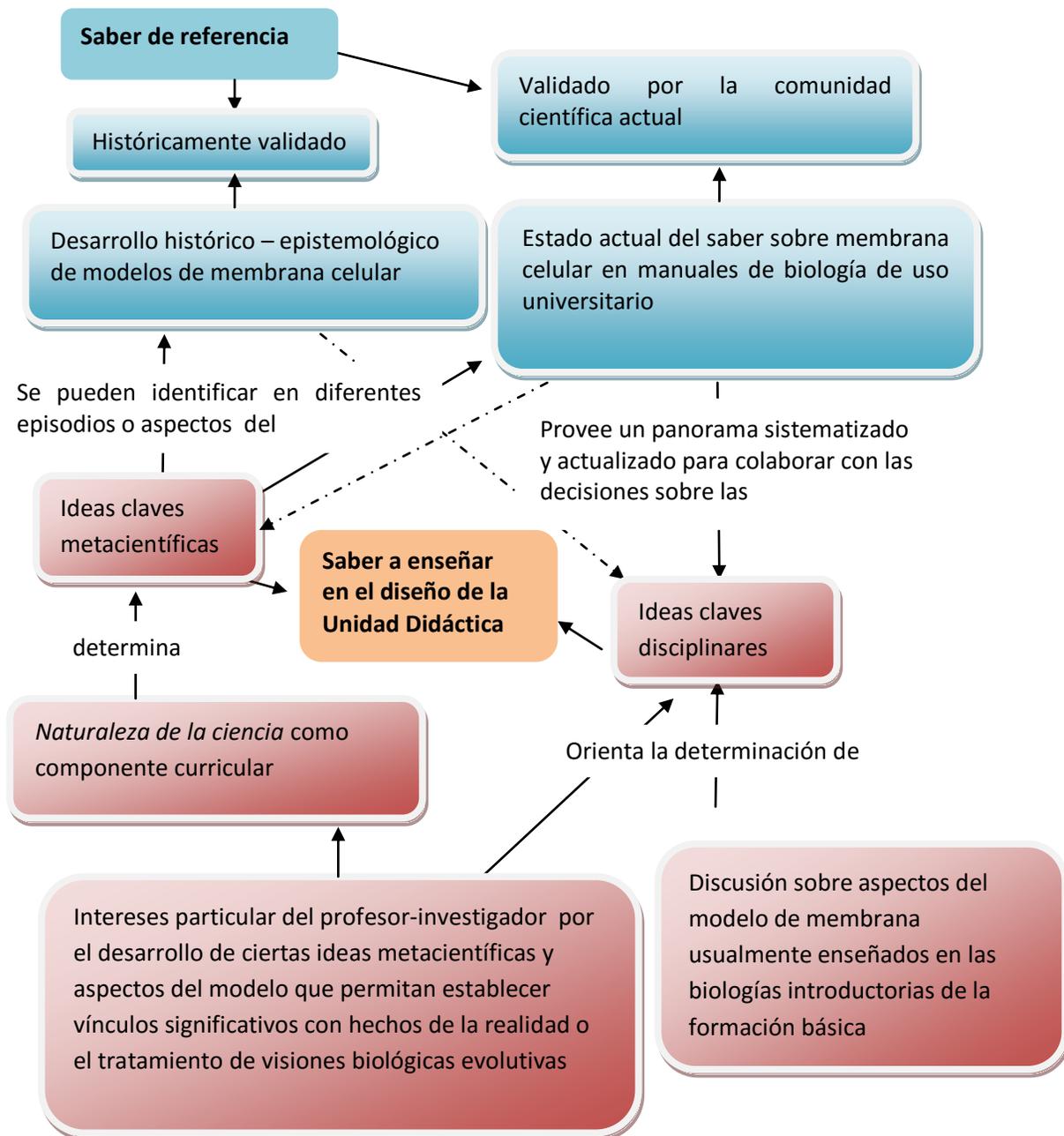


Gráfico 11: Proceso de estructuración del saber a enseñar en el diseño de la UD.

Coherente con los supuestos básicos que sostiene el modelo cognitivo de ciencia escolar, el proceso de transposición didáctica llevado a cabo se encuentra emparentado con el modelo holístico (Sanmartí, 2002), el cual -a diferencia del modelo analítico, que descompone en fragmentos disciplinares a las teorías y luego como objeto de enseñanza los transmite a los alumnos- considera que los objetos de enseñanza deben ser aquellos que les permitan a los alumnos reelaborar sus modelos iniciales respecto de un fenómeno, estructurarlos y ponerlos en diálogo con los modelos científicos.

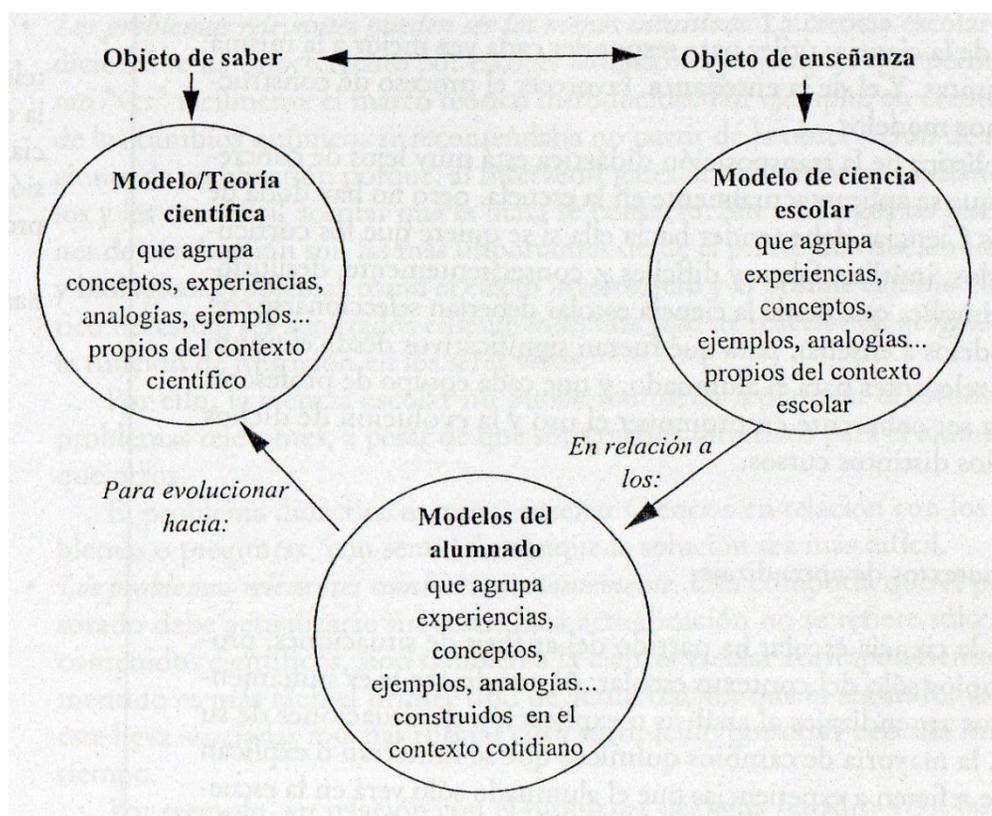


Gráfico 12: Gráfico del modelo de transposición didáctica holística (Sanmartí, 2002).

Desde esta perspectiva, la revisión del saber de referencia que llevaremos a cabo estuvo direccionada teóricamente desde el modelo didáctico (Izquierdo, 2000), en función de elaborar saberes disciplinares a enseñar que sean potenciales para el establecimiento por parte de los estudiantes, de relaciones significativas entre los modelos y la realidad a partir de situaciones problemáticas relevantes y significativas.

4.2 Modelos de membrana celular. Un enfoque histórico-epistemológico

Con el objeto de adoptar una postura epistemológica explícita y articulada con la naturaleza de la disciplina, se realizó un análisis contextualista (Matthews, 1994) del campo teórico a desarrollar. Para esto se trabajó en una aproximación histórico-epistemológica (Adúriz-Bravo, 2010; Díaz de Bustamante et al., 2008, Revel Chion et al, 2013) respecto de la producción de diferentes modelos científicos de membrana celular, con especial énfasis en una primera etapa, en el período que va desde la postulación de la teoría celular a mediados del siglo XIX hasta la formulación y estabilización del modelo de bicapa en los inicios del siglo XX. En una segunda etapa se analizaron diferentes ajustes formulados al modelo de bicapa y la producción de nuevas analogías sobre la membrana hasta la actualidad.

Adúriz-Bravo (2010) define un significado concreto para el enfoque histórico-epistemológico que puede, para este caso, orientarse a partir de las siguientes preguntas: ¿Cómo fue la génesis, evolución y desarrollo de los modelos de membrana celular? ¿Qué dificultades aparecieron en su constitución? ¿Cómo colabora el análisis anterior con la tarea de enseñar modelos de membrana celular y contenidos metacientíficos en la biología celular de la formación del profesorado?

Esta producción de la investigación (Lozano et al., 2012) fue insumo para la generación de ideas, materiales, recursos, enfoques y textos (Aduriz-Bravo, 2005), para colaborar con la determinación de los contenidos metacientíficos a enseñar.

4.2.1 Parte I. La construcción de la membrana celular. De las fibras a las células

Desde las primeras observaciones de Hooke en 1665 (Harris, 2000), la identificación de células mediante la utilización de microscopios estuvo orientada a la búsqueda de ciertas diminutas estructuras biológicas con límites definidos. También denominadas vesículas o vejigas, podían considerarse meros intersticios, cavidades huecas o, en cambio, consistentes unidades anatómicas o fisiológicas. Durante el siglo XVIII y las primeras décadas del siglo XIX, y afianzada su consideración como unidades anatómicas, fueron

ampliamente descritas y formaban parte, como extensiones hacia la realidad, de modelos globulares y de “hilera de perlas”, modelos que a su vez formaban una familia de representaciones que, en general, se interpretaban desde la teoría de las fibras.

Antes de hacerse visible cualquier fibra, se observan las sustancias que van a constituir la, una formación esférica de tamaño variable. Estos glóbulos flotan en un líquido que, en determinadas circunstancias, parece transformarse asimismo en estas formas, de las que surgen las fibras, que podemos imaginarnos que están organizadas por el ensartamiento de tales cuerpos (Hempel, 1819, en Albarracín Teulón, 1983, p. 19).

Células, vesículas, glóbulos, perlas, fueron conceptos contruidos para dar cuenta, de manera análoga, de los primeros registros que ofrecía la utilización de microscopios que, en principio, no superaban un cuarto de los aumentos que hoy pueden lograrse mediante la actual tecnología óptica. Dice Albarracín (1983) que las observaciones estaban influenciadas por los paradigmas vigentes: “Piénsese en la *Anatomie* de Joseph Berres, iniciada en 1837, y en la que el anatomista vienés ve células, describe células, pero fundamenta en la fibra la unidad estructural del organismo” (Albarracín Teulón, 1983, p. 19).

En 1839, y a partir de la extensión que hace Schwann al mundo animal de los postulados que, desde las *Beiträge zur Phytogenesis* había producido Schleiden (Albarracín Teulón, 1983), se quiebra la hegemonía de la teoría de las fibras y se impone la consideración de las células como las mínimas y fundamentales unidades constitutivas de los seres vivos. El lento proceso que insumió y las condiciones que enmarcaron tal cambio teórico, ha sido contextualizado para su análisis en las controversias entre las biología vitalistas y empiristas, que de algún modo se orientaban por las discusiones filosóficas que la Naturphilosophie y el positivismo respectivamente ofrecieron durante el siglo XIX (Recio, 1990). Gagnon (1989), en su estudio crítico sobre el trabajo de Duschesneau, plantea que en la historia de la biología es particularmente complicado entrar en los detalles de los cambios conceptuales ya que, y a diferencia por ejemplo de la física, los modelos empíricos son más complejos y menos matemáticos y las teorías son menos precisas

(Gagnon, 1989). Esta complejidad de algún modo se encuentra retratada en “The myth of the cell theory” (Sapp, 2003), trabajo en el cual se plantea que las historias sobre los orígenes de la teoría celular son desconcertantes y que su formulación constituye, en realidad, una paradoja histórica. Duchesneau, en *Genèse de la theorie cellulaire* (Gagnon, 1989), al criticar los abordajes epistemológicos clásicos (popperianos, kuhnianos, lakatosianos) para analizar la formulación de la teoría celular, las proposiciones básicas de ese modelo consistían en: las células son los constituyentes fundamentales de todos los organismos, tienen una estructura en común y son la fuente de todas las funciones vitales⁷.

Ahora bien, la característica más visible, el límite de la célula, al que debe el origen de su nombre (celda) y que se estableció como la coordenada de los primeros microscopistas que emprendieron el estudio de la arquitectura básica de los organismos, fue, quizás paradójicamente, el último elemento celular en modelizarse como una estructura química y funcionalmente diferente del protoplasma y el núcleo.

El análisis de un episodio de confrontación de ideas sobre el estudio de los blastómeros, ocurrido en 1841, dos años después de la publicación de Schwann (Baker, 1952; Albarracín Teulón, 1983; Harris, 2000), se considera un núcleo de interés, de discusiones y desarrollos experimentales que sobre diferentes aspectos de la incipiente teoría celular, y en particular sobre la naturaleza del límite de la célula, se habían desarrollado a mediados del siglo XIX.

4.2.1.1 Discusiones sobre los blastómeros. Cuando el modelo de célula no necesitaba una membrana

“En efecto, el estudio de los blastómeros constituía un ejemplo de célula carente de pared. C. Reichert ayudado por Du Bois Reymond investigó en 1841 los blastómeros de huevos de anfibios, tras aislarlos y colocarlos en agua destilada

⁷El postulado referido a que las células provienen de células preexistentes, “cells from cells” (Sapp, 2003), no corresponde en realidad a la primera formulación de la teoría, sino a trabajos posteriores de Remak (1852) y Virchow (1852) (Albarracín Teulón, 1983, p. 193).

bajo el microscopio, claramente se separaba por endósmosis una membrana de superficie que consideraron ser una verdadera pared celular. Por el contrario, Ecker según informa Remak, ante la presencia de movimiento en el blastómero de la rana, lo consideró incompatible con la presencia de una pared y negó la naturaleza celular de aquel. Ello incitó al propio Remak a intervenir en la controversia: su genialidad investigadora falló en esta ocasión ya que aseguró que las dos membranas que rodeaban a cada blastómero –membrana, no pared celular– se correspondían con la pared celular de los tejidos vegetales y en consecuencia el blastómero era una verdadera célula” (Albarracín Teulón, 1983, p. 133).

En este interesante relato pueden identificarse algunos elementos que orientaban las discusiones:

- La aceptación de la generalización de Schwann⁸ respecto de que todas las células tienen pared celular a semejanza de las vegetales y su extensión al registro de los blastómeros. “Una tradición botánica (...) va a ser motivo de que los citólogos del organismo animal den por supuesta, aunque en la mayor parte de los casos no la vean, la existencia de una pared celular” (Albarracín Teulón, 1983, p. 132).

- En el marco de la generalización de Schwann, y ante el movimiento de los blastómeros (no tenían la rigidez que otorga la pared celular) (Harris, 2000)⁹, deviene la consideración por parte de Ecker de que esas estructuras, entonces, no son celulares.

⁸En *Mikroskopische Untersuchungen de 1839*, Schwann sentenciaba respecto de la extensión al mundo animal del modelo celular de Schleiden: “...se ha derrumbado una pared divisoria fundamental entre el reino animal y el vegetal, la diferencia de su estructura. Conocemos la significación de las partes singulares de los llamados tejidos animales, en comparación con los de las células vegetales, y sabemos que en estos tejidos, células membrana celular, contenido celular, núcleos y corpúsculos nucleares son totalmente análogos a las partes homónimas en la células vegetales” Esta afirmación en realidad había sido anticipada dos años antes por Dutrochet (Albarracín, 1983), y es uno de los elementos que Sapp (2003) considera en el capítulo *The myth of cell theory*.

⁹Es interesante el análisis de este tema que hace Harris en el capítulo *The indispensability of the cell membrane*. (Harris, 2000).

- Las deformaciones en las imágenes de los márgenes celulares de las células animales que ofrecía la poca apertura de los objetivos de los microscopios de la época daban sensación de doble margen, y de las observaciones se infería la similaridad con la pared celular de las células vegetales, lo que es utilizado por Remak para “salvarlas” nuevamente como células.

Esta controversia, signada además por la utilización indistinta de los términos pared celular y membrana celular para referirse a la estructura externa de las células - hecho común en las publicaciones de la época (Baker, 1952) - se sostiene desde una visión morfológica, predominante en el análisis y aplicación de la TC.

Desde ese lugar podía proponerse un protoplasma sólido, y por esto con límites definidos, pero a la vez no necesariamente provisto de alguna estructura entre el protoplasma y el exterior.

No todas las células son de naturaleza vesiculoide; no siempre es posible distinguir una membrana separable del contenido. Para la idea morfológica de una célula se requiere una sustancia más o menos blanda, primitivamente próxima en su forma a una esfera, y conteniendo un cuerpo central denominado núcleo. La sustancia celular se solidifica en una capa limitante o membrana más o menos independiente, y luego la vesícula se resuelve, de acuerdo con la terminología científica, en membrana, contenido celular y núcleo (Leydig, 1851, citado en Albarracín Teulón, 1983, p. 133).

Desde esta perspectiva, en la cual la membrana es químicamente semejante al citoplasma, esto es, sólo se ha solidificado, Schultze propuso, a partir de estudios que también implicaron blastómeros, una célebre frase que tuvo resonancia universal: “Eine Zelle ist ein Klumpchen Protoplasma, in dessen inneren ein Kern liegt”, esto es: una célula es un grumito de protoplasma en cuyo interior hay un núcleo (Baker, 1952). Para Schultze, “una célula con membrana que difiere químicamente del protoplasma, es como un infusorio enquistado, como un monstruo aprisionado” (Schultze, 1861, en Albarracín Teulón, 1983 p. 134).

En síntesis, y en función del análisis de los obstáculos en la construcción del modelo de membrana celular, Baker propone que:

Una imagen clara de la naturaleza de la célula no pudo obtenerse mientras que la pared fuera considerada como una parte esencial. Había que tener en cuenta que la pared en algunas ocasiones estaba presente y en otras ausente, mientras que la propia célula estaba siempre limitada por una membrana especial, no separable mecánicamente del citoplasma en su interior. Este avance no pudo ser hecho en un solo paso. Primero fue necesario descartar a la pared celular como una parte esencial en la idea de una célula, la cual fue vista entonces como un protoplasma "desnudo". El descubrimiento de la membrana celular llegó mucho más tarde (Baker, 1952, p. 163)¹⁰.

Ahora bien, en ese momento también había voces en disidencia, como las de Remak, quien planteaba la necesidad de considerar una membrana químicamente diferente del citoplasma fundamental y separable de aquel por agentes químicos (Albarracín Teulón, 1983). Lo cierto es que hasta fines del siglo XIX ninguna de las posiciones logró predominar respecto de si la membrana celular constituía o no una estructura imprescindible en la conformación de la célula.

4.2.1.2 Hipótesis fisiológicas y una analogía con pompas de jabón. Aunque no sea visible, es necesaria una membrana celular

Baker (1952) sostiene que sería con el afianzamiento de las hipótesis fisiológicas y los trabajos experimentales sobre ósmosis y plasmólisis de células vegetales y animales que el modelo de célula se ajustaría, identificando un límite que no fuera la pared celular, y que no surgiera por solidificación del protoplasto, sino por poseer una naturaleza química diferente y con funciones específicas para hacer selectiva la entrada y salida de sustancias de la célula.

¹⁰Traducción nuestra.

Colocar células en medios hipotónicos e hipertónicos y disparar fenómenos de separación de estructuras limitantes (membranas de vacuolas, membranas celulares y paredes celulares) fueron escenarios experimentales que permitieron, a partir de las observaciones, tensionar y ajustar hipótesis que anticipaban la presencia de una delgada membrana, invisible, pero funcionalmente activa. Overton, en 1895, sistematizó estos trabajos, tanto en células vegetales como animales. Básicamente generó experiencias osmóticas con células vegetales que permitían inferir que las modificaciones en el volumen del citoplasma estaban controladas por una membrana y no por la pared celular y propuso su modelo de célula vegetal el cual ya incluía una membrana como estructura diferenciada química y funcionalmente de la pared celular.

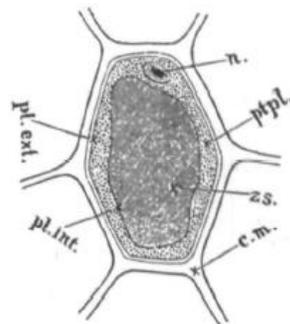


FIG. 4. Overton's diagram of a typical plant-cell, showing the distinction between the cellulose cell-wall (c.m.) and the cell-membrane (pl. ext.). (Overton, 1895, fig. 1.)

Gráfico 13: Esquema propuesto por Overton, en Baker (1952).

El modelo de Overton también se extendía sobre los aspectos químicos de la membrana, y postuló su carácter lipídico al intervenir con la difusión de sustancias afines o no a los compuestos hidrofóbicos al interior celular. Estos trabajos pudieron relacionarse con aportes provenientes de las investigaciones sobre química de los fenómenos de superficie, especialmente de las interfases aceite-agua, iniciadas por Lord Raleigh y Agnes Pockels en 1774 y que fueron retomados por Langmuir (1917), en los que modelizaban la constitución de monocapas de aceite de superficie conocida sobre agua. El antecedente paradigmático de estos trabajos, que suele ser referenciado en diversas publicaciones

(Kotsias, 2010; Mouritsen, 2011), lo constituyen las experiencias de Benjamin Franklin, quien al retomar ideas de Plinio el Viejo, postulaba el efecto aquietante de las aguas que producía el aceite derramado desde los barcos¹¹.

La entidad creciente que alcanzaba en ese momento la hipótesis sobre la existencia de una delgada película y la necesidad de diferenciarla del contenido químico del protoplasma, tuvo su analogía y provino de investigaciones físico químicas. Fue propuesta por Quincke, un físico alemán, quien en 1888 les aportó a los fisiólogos vegetales y animales de la época una muy potente comparación con las pompas de jabón. Desde los modelos actuales de membrana, es notable el atributo de fluidez que Quincke otorgaba en ese momento al límite celular.

La superficie plasmática consiste de una membrana fluida muy delgada que envuelve el contenido mucoso y acuoso de la célula en una superficie cerrada, así como una burbuja de jabón encierra el aire. La sustancia de esta membrana es un fluido, que forma gotas en agua y no es miscible con agua. Puesto que de todas las sustancias de origen orgánico conocidas, sólo los aceites muestran esta propiedad, la superficie plasmática de consistir de aceite graso (Kepner, 1979, en Latorre, 1996).

Esta comparación adquiere un importante valor como modelo analógico (Adúriz-Bravo, 2005), ya que las pompas de jabón no son membranas celulares, pero permiten la manipulación macroscópica y el análisis indirecto de propiedades de fluidez de la membrana celular (por ejemplo: del mismo modo que una micropipeta ingresa y sale de una célula sin ser dañada, puede ingresar y salir un sorbete de una pompa de jabón).

4.2.1.3. La normalidad ha llegado, la membrana está en la escuela

¹¹Estas experiencias fueron retratadas por la Royal Society, en 1774, en el artículo "Of the ftilling of waves by means of oil" (Franklyn, B. et al., 1774).

Así, a principios del siglo XX, y previo al desarrollo de los microscopios electrónicos, se normalizó el modelo por el cual todas las células debían tener membrana celular, estructura aún invisible, y de esto da cuenta la edición de la *Historia Natural* (Langlebert, 1928), texto de amplia difusión para la enseñanza a principios del siglo XX:

Ciertas células animales se reducen en un principio a un glóbulo de protoplasma. Este se rodea después de una envoltura distinta, excesivamente tenue; al mismo tiempo aparece dentro de su masa semifluida un cuerpecito sólido, simple o múltiple, el núcleo, que a su vez contiene uno o muchos corpúsculo, nucleolos. La célula alcanza entonces su estado perfecto y se compone (...) de una envoltura o membrana de extraordinaria delgadez; 2º de un contenido difluyente (sic) y granuloso, el protoplasma; 3º de un núcleo central. La células son completamente invisibles a simple vista; sus dimensiones se mide por milésimas o centésimas de milímetro; el microscopio es el único que, aún de manera muy imperfecta, nos permite distinguirlas. Su primitiva forma es ovoidal o lenticular; pero con el tiempo se va modificando según la naturaleza de los tejidos que de ella se derivan (Langlebert, 1928, p. 9).

La afirmación “glóbulo de protoplasma” parece emparentada con la definición de Schultze, pero la cualidad de envoltura “distinta” al protoplasma que se atribuye a la membrana, y su consideración de “extremadamente delgada” en las células animales, pueden considerarse elementos que ya sostienen un modelo de célula con membrana, posterior al “grumito de protoplasma con un núcleo”.

El devenir del siglo XX trajo numerosos problemas relacionados con la estructura y las funciones de la membrana celular; se fueron desarrollando una serie de modelos que permitían ajustar un número creciente de fenómenos a los cuales el componente lipídico por sí solo no podía extenderse.

Este desarrollo de los modelos de membrana celular puede inscribirse en lo que Bechtell considera un exitoso proyecto mecanicista de investigación, que consistió en la descomposición de la célula, entidad que se había construido durante todo el siglo XIX. A pesar de que la biología celular se convirtió en una disciplina biológica significativa, los

investigadores que se identificaban como biólogos celulares dejaron de tratar a la célula como una unidad, sino más bien como un locus, un lugar en el que ocurren una gran cantidad de procesos fisiológicos. Más que enfocarse en la integración de las múltiples operaciones que realizan las diversas organelas celulares, la investigación se concentró en los procesos moleculares y bioquímicos dentro de cada una de las organelas. La biología celular se convirtió en así en biología molecular, y las referencias a "biología celular y molecular" se hicieron cada vez más comunes (Bechtel, 2010).

4.2.2 Parte II. Siglo XX. Nuevas analogías para una membrana

4.2.2.1 Sándwich de bicapa lipídica y proteínas

“On bimolecular layers of lipoids on the chromocytes of the blood” es el título del trabajo que fue publicado en 1925 por los investigadores holandeses Gorter y Grendel (Gortel et al., 1925), quienes propusieron un primer e importante ajuste al modelo de membrana de naturaleza lipídica de Overton, al describir la membrana como una bicapa de lípidos. El método utilizado consistió en calcular la superficie de eritrocitos humanos y, luego de extraer los lípidos presentes en ellos, medir la superficie que ocupaban sobre agua. Allí determinaron que la relación era de 2:1. Como los eritrocitos no poseen organelas ni núcleo, era razonable relacionar la presencia de una capa doble de lípidos en la membrana celular. También fueron ellos quienes postularon que, en función de la naturaleza acuosa del citoplasma celular, la disposición de los fosfolípidos en la bicapa debía ser con las cabezas polares hacia afuera (citoplasma y medio externo) y los ácidos grasos (sin carga) orientados entre sí (Karp, 2009).

Si bien se ha propuesto que los mencionados investigadores holandeses “descubrieron inesperadamente” la relación 2:1 de fosfolípidos (Meza et al., 2010), sería más atinado pensar que la realización de ese experimento estuvo orientada por trabajos que en ese momento se realizaban para medir el grosor de la membrana de glóbulos rojos. En ese sentido, Fricke ya había publicado “The electric capacity of suspensions whit special

reference to blood” (Fricke, 1925), en el cual describió la propiedad de la membrana de comportarse como un capacitor eléctrico y estimó su espesor.

Nuevos estudios sobre el pasaje de sustancias hidrofóbicas a través de la membrana, que en tiempos de Overton habían sido determinantes para la definición de la naturaleza lipídica de la misma, comenzaron a dar algunos datos inconsistentes y se propuso que no era el único factor que determinaba la entrada y salida de sustancias de y hacia las células. Además, al medir la tensión superficial de la membrana celular, se obtenía como resultado un valor mucho menor que el que arrojaba la medición de membranas artificiales puras de fosfolípidos, lo que fortalecía las hipótesis de que, además de fosfolípidos, existían otras moléculas formando parte de la estructura del límite celular, y que probablemente esas moléculas tuvieran que ver con el pasaje de sustancias hidrofílicas. Entre 1935 y 1950, Davson y Danielli fueron quienes propusieron las reformulaciones al modelo de bicapa, al cual incorporaron la presencia de proteínas; con ellas fueron ajustando los problemas sobre la tensión superficial y sobre el pasaje de sustancias hidrofílicas. Los anteriores trabajos de Danielli, relacionados con la adsorción de proteínas a gotas de aceite en huevos de caballa, fueron básicos en la construcción de las nuevas hipótesis que desarrollaron. En un primer momento, propusieron una capa de proteínas recubriendo cada lado de la bicapa lipídica, lo que dio origen a una nueva metáfora, la consideración de la membrana como un sándwich, en el cual, las proteínas constituían el pan y la bicapa fosfolipídica, el relleno. Luego, y ya cerca de la producción de las primeras imágenes de microscopio electrónico, los mismos autores postularon que había proteínas que atravesaban la estructura fosfolipídica (Karp, 2009).

4.2.2.2 ¿Ver (membranas) para creer?

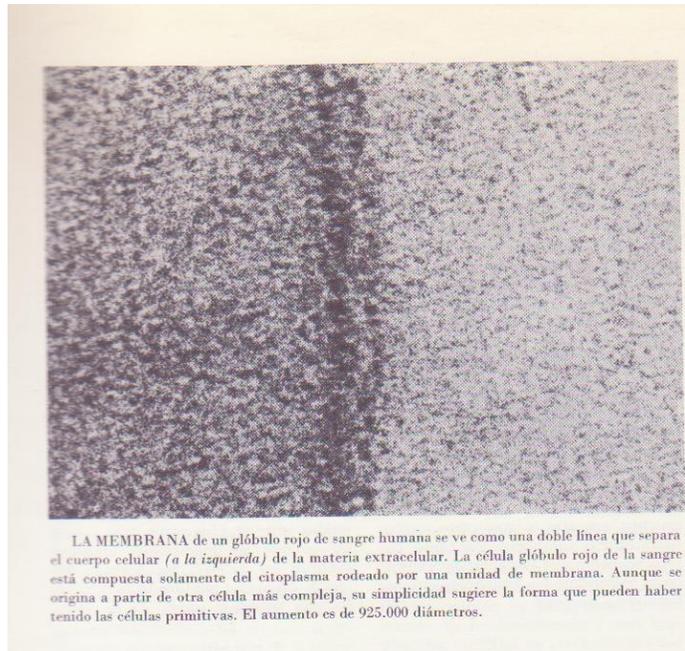


Gráfico 14: Foto mediante microscopía electrónica de la membrana celular en glóbulos rojos (Robertson, 1970, p. 81).

En 1965, y editado por Scientific American, los principales investigadores en biología celular de universidades en su mayoría estadounidenses publicaron “The living cell”, traducido en 1970 al español como “La célula viva”, un importante trabajo de divulgación del estado de la investigación sobre las células en el contexto del emergente desarrollo de la microscopía electrónica, que hoy sigue siendo citado como publicación referente de lo acontecido a mediados del siglo XX (Bechtell, 2006). El trabajo incluyó un capítulo denominado “Orgánulos” y, dentro de este, un apartado: “La membrana de la célula viva”, escrito por David Robertson:

Ahora, con la ayuda del microscopio electrónico, se ha visto la membrana y se ha medido su grosor. Combinando esta nueva evidencia directa con los resultados de estudios más antiguos se han deducido las características generales de su estructura molecular y se ha definido un modelo básico constante de organización común a todas las células. Aún más, se ha visto que la membrana de la célula es

algo más que una cubierta externa; en la mayoría de las células forma parte esencial de la estructura interna de las mismas. El conocimiento que se tiene actualmente es la culminación de una fascinante investigación que ha durado muchos años y que se ha realizado por diversos caminos que al fin han venido a converger en un punto (Robertson, 1970, p. 75).

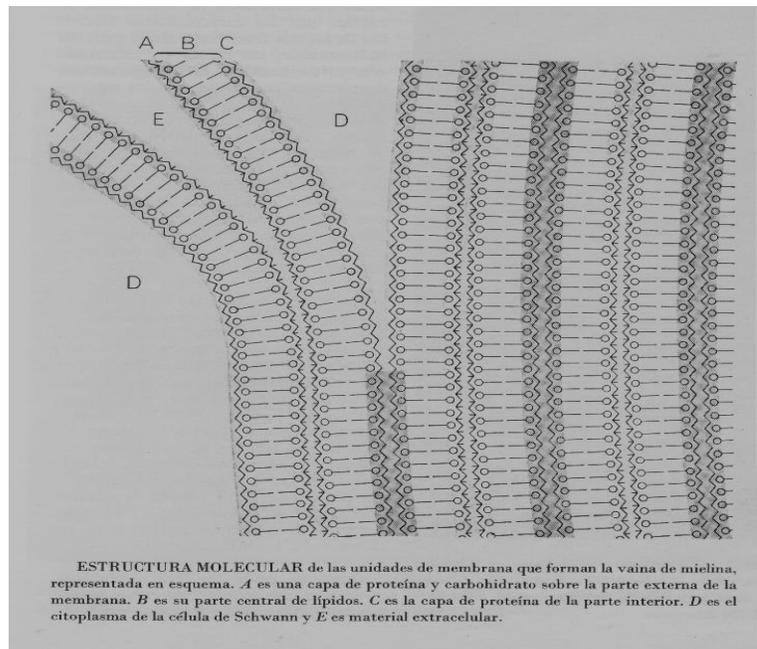


Gráfico 15: Esquema de unidades de membrana “en sándwich” en vainas de mielina en células de Schwann (Robertson, 1970, p. 77).

Robertson dio cuenta de las regularidades estructurales de todas las membranas presentes en las células, las del límite celular y también de los sistemas de endomembranas, y planteó una unidad en la constitución de todas ellas. Quizás estimulado por el avance tecnológico y la calidad de las descripciones que podían lograrse con la utilización del microscopio electrónico asociado a pruebas químicas y físicas, anunció la inminente culminación de las investigaciones sobre estructura de la membrana celular, pero un poco más adelante ya insinuó un horizonte de nuevos problemas, inevitables, por la propia naturaleza teórica del modelo de membrana:

En la actualidad, los microscopios electrónicos son muy capaces de distinguir una capa cuyo grosor sea el de una molécula de proteína, y esto nos va a conducir a la

definición de la membrana celular como una capa molecular. Sin embargo, desde el punto de vista fisiológico, no parece probable que una capa del grosor de una molécula pueda realizar las funciones de las membranas celulares (Robertson, 1970, p. 75).

Es en este contexto de desarrollo creciente de las investigaciones sobre la membrana que se crea, a fines de la década de los 60', *The Journal of Membrane Biology* (<http://link.springer.com/journal/232>).

4.2.2.3 Una mirada evolutiva sobre las membranas: Discusiones sobre el origen de las endomembranas

En el mencionado trabajo de Robertson, "La membrana de la célula viva", y luego de las descripciones de la estructura de la membrana, centradas en sus investigaciones sobre vainas de mielina de neuronas, se aborda sucinta pero significativamente, uno de los temas de debate en ese momento en la comunidad científica estadounidense, el referido al origen de las organelas y sistemas de endomembranas que configuraron la aparición de las células eucariotas.

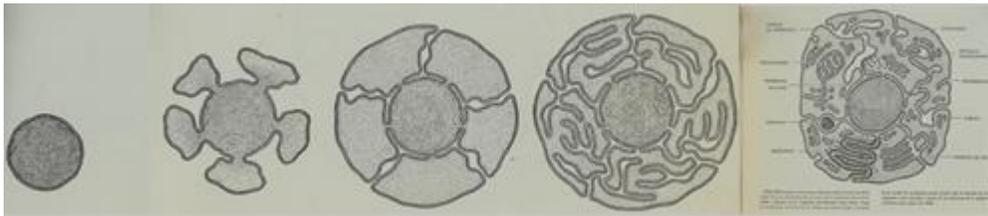


Gráfico 16: Origen de organelas por invaginación gradual de membranas (Robertson, 1970, pp. 80-83).

La evolución de la célula, puede haber seguido el modelo que presenta este esquema. El primer dibujo muestra el material de la matriz, rodeado por una unidad de membrana. En el segundo, el material ha sido empujado hacia afuera para formar pseudópodos. En el tercero, las membranas evaginadas se han vuelto a replegar formando membranas nucleares y un primitivo retículo endoplásmico... Puede ocurrir que la mayoría de estos orgánulos estén formados a partir de la

estructura de la unidad de membrana que rodea a la célula... Si las células primordiales sencillas fuesen de este tipo, las células más complejas podrían haber evolucionado por invaginación o enrollamiento de la membrana superficial... Las micrografías electrónicas de las mitocondrias muestran que sus membranas exhiben también la familiar unidad estructural. De hecho, parece ser ahora que las mitocondrias se forman cuando el citoplasma penetra en una cavidad limitada por una membrana interna, la cual luego se corta y se separa del sistema continuo (Robertson, 1970, pp. 80-83).

Este modelo propuesto por Robertson se encontraba orientado por una visión teórica gradualista de la evolución, en el momento más alto del "programa darwiniano" (adaptacionista-gradualista), que coincidía con el centenario de la publicación de *El origen de las especies*. En ese marco, la célula eucariota era el resultado de paulatinas modificaciones de la estructura básica de las bacterias (en este caso por progresivas invaginaciones de la membrana celular), que a lo largo del tiempo fueron seleccionadas por la naturaleza y terminaron constituyendo las organelas y una célula más compleja.

Sin embargo, prácticamente al mismo tiempo de haber sido escrito el informe de Robertson que publicó *Scientific American*, la bióloga Lynn Margulis presentaba la teoría de la endosimbiosis serial (SET, por sus siglas en inglés), que adjudicaría a las mitocondrias y otros orgánulos un origen sensiblemente diferente, a partir de cambios no graduales, por endosimbiosis bacteriana; esto es, las mitocondrias de las actuales células eucariotas eran, en un inicio, bacterias respiradoras de vida libre que se incorporaron a otras células y luego evolucionaron conjuntamente.

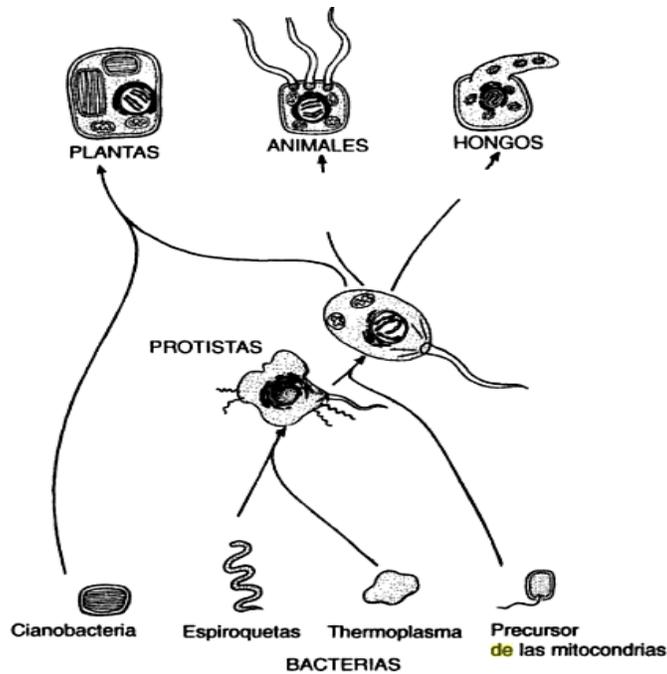


Gráfico 17: Esquema Endosimbiosis. Adaptado de Margulis (en Sampedro, 2002, p. 45).

Al respecto, dice Javier Sampedro refiriéndose a Margulis:

Su primer descubrimiento fue netamente bibliográfico. Empezó a buscar en la literatura, no escasa, sobre los factores hereditarios extranucleares. Los recientes trabajos de Ruth Sager, Francys Ryan y Gino Pontecorvo habían documentado con claridad que las mitocondrias y los cloroplastos transmitían características hereditarias. Pero lo más importante fue que, tirando del hilo de las referencias bibliográficas citadas por esos autores, Margulis pudo remontarse cuarenta años atrás hasta las publicaciones del olvidado Konstantin Merezhkovsky y del vapuleado Ivan Wallin, los científicos que habían conjeturado que algunos órganos celulares provenían de bacterias simbióticas. ¿Por qué ningún profesor la había hablado de esos autores? Donde los demás científicos habían encontrado material para la burla y el escarnio, Margulis sólo vio sensatez y sagacidad y decidió que Merezhkovsky y Wallin tenían razón en lo esencial: los misteriosos factores hereditarios extranucleares, asociados a los orgánulos, no eran otra cosa que los genes de las antiguas bacterias que habían dado lugar a esos orgánulos, evidentemente (Sampedro, 2002, p. 38).

Así, a mediados de los años sesenta del siglo XX, esta diferencia teórica quedó planteada y se generaron fuertes discusiones en el ámbito de la comunidad científica interesada en esta problemática. Uno de los hechos más significativos, por sus implicancias epistemológicas, lo constituyó la identificación de ADN en las mitocondrias, dato que fue asimilado y explicado tanto por los gradualistas como por Margulis, desde su perspectiva endosimbiótica. La posterior descripción del ADN de mitocondrias y cloroplastos como bacteriano solo implicó una aceptación parcial de la posición propuesta por Margulis¹².

4.2.2.4 Fluidez. La analogía del mosaico líquido

En el capítulo “Orgánulos” de la publicación mencionada, se encuentra un apartado denominado “El aparato de Golgi”, en el cual se formulaban hipótesis sobre la función del orgánulo y se describía el itinerario de proteínas marcadas desde los ribosomas hacia el exterior de determinadas células (Neutra et al., 1970).

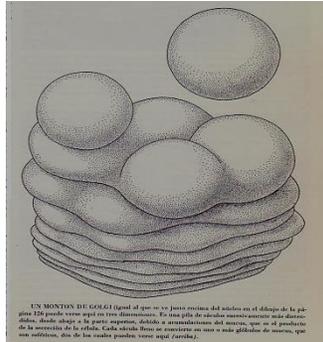


Gráfico 18: “Un montón de Golgi” (Neutra et al., 1970, p. 127).

Los esquemas y descripciones de ese momento, si bien establecían relaciones entre las vesículas y la membrana citoplasmática, no daban cuenta de manera explícita de una propiedad básica de las membranas como es la fluidez y, a partir de ella, la capacidad de

¹²Al respecto, el prólogo que Ernst Mayr, desde posiciones gradualistas, escribe al libro “Captando genomas: Una teoría sobre el origen de las especies” de Lynn Margulis (2003), es una interesante pieza para el análisis de aspectos relacionados, por ejemplo, con las disputas científicas y la dinámica de las relaciones en las comunidades científicas.

autoensamblarse de los fosfolípidos. Este aspecto fundamental, por ejemplo, en la evolución de los mecanismos de transporte de moléculas en el interior de las células y por ende, de la economía de los organismos aún no había sido formulado como modelo.

Es en los años '70 del siglo XX que se revisan aspectos básicos del modelo de membrana y se propone la consideración de una potente analogía que sigue aún vigente en los textos de biología celular universitarios, cual es la consideración de la membrana celular como un mosaico fluido, esto es, *como estructuras dinámicas en las que los componentes son móviles y capaces de unirse para mantener varios tipos de interacciones transitorias o semipermanentes* (Karp, 2009, p. 125). Este modelo fue propuesto por Singer y Nicolson, a partir de estudios sobre proteínas de membranas que indicaban una fuerte presencia de la hélice hidrofóbica α , lo que respaldaba la hipótesis de proteínas insertas en la membrana y también a partir de la consideración de las interacciones débiles entre los fosfolípidos y su dinamismo en el plano de la membrana. Desde esta nueva formulación, si bien se siguió considerando la estructura básica lipoproteica, el énfasis fue puesto en los atributos físicos del sistema y se incorporaban aspectos dinámicos como los de difusión, recambio, intercambio e interacciones moleculares (Mesa, 2010, p. 127).

La hipótesis de fluidez de membrana se robusteció al explicar, en situaciones experimentales, el desplazamiento de proteínas de membrana por el plano. El clásico trabajo de Frye y Edidin (Karp, 2009) describe la fusión de células humanas con células de ratones, en las cuales, y luego de la formación de una membrana continua, siguieron la localización de proteínas mediante la utilización de anticuerpos marcados. Al cabo de 40 minutos las proteínas de cada especie estaban distribuidas de manera uniforme por toda la membrana de la célula híbrida.

4.2.2.5 Membranas, balsas y más analogías

A partir del establecimiento del modelo de mosaico fluido, las investigaciones de fines del siglo pasado y de inicios del presente han tenido como objeto de indagación a las propiedades dinámicas de las biomembranas. Investigadores del Max Planck Institute of

Molecular Cell Biology and Genetics, en “Membrane organization and lipid raft”, describen genéricamente el estado actual en el campo:

Este notable líquido, con sus constituyentes anfipáticos, está atrayendo cada vez más la atención no sólo de biólogos, sino también de físicos, debido a sus fascinantes propiedades. La investigación de membrana se ha acelerado en los últimos años. Un número cada vez mayor de estructuras atómicas de proteínas de la membrana ha sido resuelto, el campo de la investigación de los lípidos ha tenido una explosión, y los principios de organización de la membrana se están revisando. Nuevos conocimientos sobre la asombrosa capacidad de las membranas celulares para subcompartimentalizarse, han revelado cómo las membranas soportan el tráfico de membranas intracelulares y paralelamente procesan fenómenos de señalización (Simons, 2011, p. 1)¹³.

En una revisión de modelos de membrana (Meza, 2010) desde la formulación del mosaico fluido, se identifican las siguientes reformulaciones:

- 1975. Segregación de dominios lipídicos en el plano lateral de la membrana.
- 1988. Existencia de microdominios de esfingolípidos.
- 1997. Modelos de balsas lipídicas e importancia del colesterol como elemento de las mismas.
- 2002. Incorporación de proteínas a balsas lipídicas a través de un proceso jerárquico.
- 2002. Presencia de nanodominios lipídicos en la monocapa interna de la membrana plasmática sin correspondencia necesaria con balsa lipídicas en la capa externa.
- 2006. Sustitución del concepto de balsa lipídica por el de balsa de membrana.
- 2010. Revaloración del modelo de balsas como principio organizador de las funciones de las membranas biológicas.

¹³ Traducción nuestra

De este modo, la membrana celular como entidad teórica, desde la formulación de la teoría celular promediando la primera mitad del siglo XIX, ha sido definida a partir de una gran diversidad de modelos que fueron evolucionando a lo largo del tiempo y que fueron dando cuenta de una también creciente diversidad de fenómenos. Es interesante analizar algunas reflexiones de investigadores en fenómenos de membrana celular como Mouritsen (2011), de implicancias epistemológicas afines a los modelos teóricos que orientan esta tesis y que dan cuenta de las relaciones que se establecen entre los modelos y la realidad:

Desde que se descubrió que las membranas biológicas tienen un núcleo biomolecular de lípidos, las bicapas lipídicas han sido un laboratorio modelo para investigar propiedades físico químicas y funcionales de las membranas biológicas. Los modelos experimentales y teóricos ayudan al científico experimental para planificar experimentos e interpretar los datos. Los modelos teóricos son los juguetes preferidos del científico teórico para hacer contacto entre la teoría de la membrana y los experimentos. Lo más importante, los modelos sirven para dar forma a nuestra intuición sobre qué pregunta sobre las membrana son las más fundamentales y pertinentes a seguir (Mouritsen, 2011, p. 1)¹⁴.

4.3 Análisis de temas de membrana celular en manuales universitarios

La primer parte del encuadre histórico-epistemológico permitió describir y comprender aspectos relacionados con la génesis, evolución y desarrollo de los modelos de membrana celular, desde la normalización de la teoría celular, casi promediando el siglo XIX, hasta la actualidad. Allí básicamente se identificaron episodios o aspectos de interés para relacionarlos con ciertas ideas claves epistemológicas del eje naturaleza de la ciencia.

Para colaborar con la formulación de las ideas claves disciplinares relacionadas con la membrana celular, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los manuales universitarios de biología que con más frecuencia son citados en los programas de las asignaturas Biología

¹⁴Traducción nuestra.

General y Biología Celular y Molecular, en las cuales se desarrolla el contenido membrana celular para carreras de biología o afines de diferentes universidades argentinas. El trabajo realizado se sostiene en la idea de que los libros de texto científicos, tanto elementales como avanzados, expresan “la investigación basada en uno o más logros científicos pasados, logros que una comunidad científica particular reconoce durante algún tiempo como el fundamento de su práctica ulterior” (Kuhn, 2006, p. 70). Desde esta perspectiva, en el contexto educativo de la actividad científica (Echeverría, 1998) y mediante la utilización de esos textos, los alumnos pueden formarse en tres aspectos básicos de la ciencia normal: “...la determinación de los hechos significativos, el encaje de los hechos con la teoría y la articulación de la teoría...” (Kuhn, 2006 p. 103). Los científicos autores de los capítulos con los cuales las disciplinas pasarán a las nuevas generaciones “desarrollan la teoría teniendo ya en mente unas determinadas aplicaciones, las que se proponen como ejemplos-epítome, y por ello imponen desde el principio, al argumentar, unas determinadas condiciones iniciales (las reglas de juego)” (Adúriz-Bravo et al., 2009).

Puntualmente, la bibliografía analizada consistió en tres manuales de Biología General y tres manuales de Biología Celular y Molecular, cuyas ediciones corresponden al período 2004-2009. Cinco de ellos contienen al menos un capítulo que tiene como eje central el estudio de la membrana, y uno de ellos desagrega diversos aspectos de la estructura y el funcionamiento en otros capítulos. Los libros elegidos son: Alberts, 2004; Campbell 2007; Curtis, H, 2008; De Robertis, 2008; Karp, 2009; Sadava, 2009.

Del análisis de los diferentes aspectos del modelo de membrana celular que se abordan en los libros de texto fue posible construir una serie de núcleos que, a modo de analizadores, denominamos “temas” de membrana celular. Luego se extractaron las ideas claves para cada uno de ellos; si bien todos sostienen como modelo estructurante a la analogía del “mosaico fluido”, existen diferencias en cuanto al alcance de fenómenos a los que extienden la actividad de la membrana en el capítulo de referencia, y eso se ve reflejado en los espacios en blanco que quedan en la tabla construida (Anexo 1).

Los temas que se identificaron son:

Temas	Contenido
Estructura básica. Fluidez y autoensamblaje	Hace referencia a la composición química y a los atributos físicos de la membrana celular. Si bien es uno de los atributos físico-químicos de los fosfolípidos y una consecuencia de la fluidez, se decidió destacarlo como aspecto funcional y de interés para la comprensión de diversos fenómenos de la economía celular
Intercambios	Incluye los aspectos estructurales y funcionales que permiten explicar la salida y entrada de materia desde y hacia la célula.
Sistemas de endomembranas	Se refiere a la función de las membranas para la compartimentalización del interior celular y el desarrollo de actividades especializadas (organelas en eucariotas y pliegues de membrana en procariotas)
Formación de gradientes	Implica la consideración de las membranas como espacios físicos que dan lugar a la formación de potenciales que tienen implicancias energéticas
Comunicación celular	Incluye aspectos estructurales y funcionales de la membrana que explican fenómenos de señalización celular
Evolución de la membrana y de los sistemas de endomembranas	Hace referencia al aspecto dinámico y evolutivo de la estructuras fosfolipídicas
Historia de los modelos de membrana	Incluye el abordaje en apartados específicos dentro del capítulo, de temas relacionados con episodios históricos y algunos análisis epistemológicos

Gráfico 19: Cuadro sobre temas de membrana en manuales de biología de uso universitario.

De la totalidad de temas que pudieron identificarse en los capítulos de membrana de los diferentes textos, solo dos son compartidos por todos: Estructura e Intercambios.

4.3.1 Estructura. Fluidez y autoensamblaje

En todos los casos se mantiene vigente la consideración del modelo de membrana celular como un mosaico fluido, analogía de la década del '70 que, como se describió en el

análisis histórico-epistemológico, permite pensarla como una unidad que se comporta como un líquido (fluidez), pero que a la vez tiene la capacidad de conservar una estructura tridimensional y ocupar un espacio definido (mosaico). Si bien su lugar es central, es interesante la reflexión de índole metacientífica sobre su condición de modelo provisorio, que se hace en uno de los textos:

En el modelo de Mosaico Fluido, que sirvió como el “dogma central” de la biología de la membrana durante tres décadas, la bicapa de lípidos permanece como el centro de la membrana, pero se enfoca en el estado físico del lípido. (...) La estructura y disposición de las proteínas de la membrana en el modelo de mosaico fluido difieren respecto de los modelos previos en que ocurren como un “mosaico” de partículas discontinuas que penetran la hoja de lípidos... En las secciones siguientes se examina parte de la evidencia empleada para formular y apoyar este retrato dinámico de la estructura de la membrana y se revisan algunos de los datos recientes que actualizan el modelo (Karp, 2009, p. 125).

En cuanto a la fluidez y el autoensamblaje de los fosfolípidos, su consideración particular no es abordada por la totalidad de los textos. Esta propiedad constituye uno de los fenómenos más notables y se funda en los principios básicos de los agregados lipídicos (micelas, bicapas), que implican muy poco gasto de energía, ya que esas formaciones constituyen los estados más probables en lo que es posible encontrarlas, y esto la convierte en una característica determinante de la economía del organismo, por ejemplo, para el transporte de moléculas por vesículas o liposomas naturales al interior de la célula, para la exportación de moléculas, etc. Es frecuente que alumnos que pueden describir a la membrana como un mosaico fluido no puedan justificar la relación que existe entre ese carácter y el transporte por vesículas de una proteína desde el retículo endoplásmico hasta la membrana celular para su exportación. La fluidez y el autoensamblaje son también conceptos cruciales que permiten sostener nuevos modelos sobre el origen de las primeras células, como el propuesto por Szostak (Rauchfuss, 2008), y el desarrollo de técnicas de manipulación celular, y de transporte de fármacos por liposomas artificiales.

4.3.2 Intercambios

Respecto de los intercambios a través de membranas, la descripción de las proteínas de membrana y los tipos de intercambios, pasivos, activos o de transporte en masa, constituyen el mayor porcentaje del volumen de información de cada uno de los capítulos. Desde aquí es razonable establecer una relación de semejanza con lo que ocurre en la mayoría de las clases de biología, en las que para el abordaje de la membrana celular este tema es central.

4.3.3 Formación de gradientes

La formación de gradientes que permiten las membranas es otro de los temas que no es abordado por todos los textos en el capítulo específico. Este aspecto es central para la comprensión de modelos que explican la evolución de los mecanismos de obtención de energía por parte de las células. En el caso de las bacterias, la membrana celular fue la primera estructura que les permitió crear gradientes en el medio externo, por ejemplo de protones, y al hacerlos ingresar selectivamente por proteínas, utilizaban ese flujo o corriente de protones para obtener la energía que necesitaban en los primeros procesos de fosforilación (Alberts, 2004). También algunas bacterias extremófilas como ciertas halófitas, siguen utilizando estos mecanismos, al poseer bacteriorodopsina en las membranas. De este modo, los pliegues de membrana de las bacterias fotorespiradoras y de las cianobacterias, pueden considerarse adaptaciones del mismo mecanismo pero para crear gradientes en la estructura celular interna. Si este modelo se extiende a las células eucariotas actuales desde la teoría endosimbiótica, es posible proponer que las crestas mitocondriales y las membranas internas de los tilacoides de los cloroplastos, son una nueva versión de la utilización de las membranas bacterianas para crear gradientes y producir energía.

Este aspecto de las membranas, poco referenciado en los textos y también en las clases tiene aún hoy un potencial importante para la enseñanza. Por ejemplo, para el caso de la respiración celular, la analogía más utilizada sigue siendo la de la oxidación, pero quizás una metáfora de pequeñas represas de membrana sería más ajustada a los procesos que

hoy se conocen, en los cuales la energía proveniente de los alimentos no es liberada por acción directa del oxígeno sino por complejos enzimáticos, pero la utilización de esos electrones tiene el sentido de crear gradientes de membrana para formar ATP. El oxígeno solo actúa como receptor de los electrones de bajo nivel al finalizar el proceso y hay organismos que utilizan otros aceptores como el azufre.

4.3.4 Compartimentalización celular

En cuanto a la compartimentalización celular, los sistemas de endomembranas, aspecto que tampoco es abordado por todos los textos, constituye una característica adaptativa notable para la construcción de espacios al interior celular que permitan actividades metabólicas especializadas. El modelo que propone a las células como islas de baja entropía no implica que la célula se comporte como un continuum homogéneo en ese aspecto, y las membranas se ofrecen como separadores activos, debido a que, si bien la estructura básica de todas se corresponde con el modelo propuesto por Robertson (Robertson, 1970), los estudios actuales dan cuenta de gran diversidad en cuanto a los componentes lipídicos y proteicos de las diferentes endomembranas, lo que implica capacidad selectiva y posibilidad de creación de espacios diferenciados.

4.3.5 Comunicación celular

La comunicación celular, como aspecto inherente a la membrana, es analizado desde la capacidad de señalización y de recepción de estímulos que ésta pueda llevar a cabo y no en la complejidad de los procesos que se desencadenan a posteriori, lo que constituye un capítulo específico en cada uno de los textos. La evolución hacia la multicelularidad y también hacia la complejización de estructuras sensoriales, por ejemplo, ha estado reñida a las modificaciones que la membrana celular sufrió a lo largo de historia. Un ejemplo lo constituye la evolución de la proteína bacteriorrodopsina, transmembrana de siete hélices α que, en organismos actuales sigue funcionando como una bomba de protones para crear gradientes en la membrana que se activa con fotones de luz, y a la vez, aunque de manera lejana, está relacionada con la evolución de órganos sensoriales para la visión.

La bacteriorrodopsina es un miembro de una gran superfamilia de proteínas de membrana, de estructuras similares entre sí pero con funciones diferentes. Por ejemplo la rodopsina de los bastones de la retina de los vertebrados (...) también está formada por siete hélices α transmembrana (...) Aunque las estructuras de la bacteriorrodopsina y de los receptores de señalización de mamíferos son muy similares, no presentan homología de secuencia y probablemente pertenecen a dos ramas evolutivas distantes de una misma antigua familia de proteínas (Alberts, 2004, p. 607).

4.3.6 Evolución de los sistemas de endomembranas

Respecto a la explicitación de aspectos que den cuenta de la evolución de los sistemas de membrana, solo se registró una descripción, en un manual de biología molecular y celular, y tiene que ver con la relación topográfica de los orgánulos de membrana. Debido a la fluidez y el ensamblaje es posible el tránsito de vesículas entre diferentes organelas como retículo y Golgi, pero, debido a las diferencias químicas y físicas entre las monocapas de cada membrana que posibilitan la construcción de espacios diferenciados, la fusión y autosellado de vesículas en otras organelas debe guardar una relación que permita conservar esas particularidades. Por ejemplo, la fusión de una vesícula con la membrana celular para la exportación de una proteína, supone que la monocapa externa de la vesícula, que por ejemplo proviene de Golgi, se ensamble con la monocapa interna de la membrana celular y eso implica que luego de la fusión y el autosellado, se conserven las propiedades de cada una de las monocapas de la membrana celular (Alberts, 2004). Si este fenómeno se pone en un contexto histórico de modificaciones desde los primeros pliegues de endomembrana bacterianos hasta la complejidad de los transportes en la célula eucariota, la referencia evolutiva explícita debería ser ineludible. Salvo este ejemplo, los textos presentan a los diversos temas de membrana desde una visión estática y de este modo no se consideran aspectos de interés evolutivo, como se han mencionado algunos en el desarrollo de los temas anteriores.

4.4 Construcción de las ideas claves disciplinares y metacientíficas, como saberes a enseñar

La formulación de ideas claves constituye una valiosa herramienta al momento de decidir el contenido y el modo en que se plasmarían, en el diseño de una unidad didáctica, nuestras intenciones educativas. Tal cual se expuso en el marco teórico, las ideas clave son afirmaciones sencillas sobre aspectos relevantes de un modelo científico a enseñar, o de aspectos de la imagen de ciencia que queremos que nuestro alumnos construyan; ellas suponen una toma de decisión para seleccionar una mirada particular sobre un saber de referencia, de la biología o de la epistemología, y transformarlo en un saber a enseñar (Adúriz-Bravo, 2007).

Tal cómo se expresó al inicio de este capítulo (Gráfico 11), la determinación de los saberes a enseñar, surgirán a partir de un complejo de condiciones, saberes e intereses a plasmar en las intenciones educativas.

4.4.1 Las ideas claves disciplinares sobre aspectos del modelo de membrana celular

Respecto de los temas de membrana, fundamentalmente por el análisis llevado a cabo sobre los manuales, se advierte un predominio del desarrollo de los aspectos del modelo de membrana relacionado con la estructura y el transporte. Ahora bien, esta relación estructura-función se establece sólo respecto del pasaje de diferentes moléculas a través de la bicapa lipídica o a través de proteínas. En cambio, el transporte por vesículas a través de los sistemas de endomembranas prácticamente en ningún caso es referenciado a la estructura fluida de las membranas intervinientes. La fluidez aparece prácticamente sólo de modo enunciativo, por la consideración que los autores no pueden dejar de hacer al modelo “mosaico fluido”, pero no aparece como fenómeno que ilumine y explique diferentes e interesantes procesos.

Otro aspecto que es de interés a la hora de definir las ideas clave disciplinares, es la prácticamente nula contextualización evolutiva que los manuales hacen de los diferentes aspectos del modelo de membrana. Desde este análisis y también desde los intereses del docente investigador, en cuanto a delimitar aspectos del modelo de membrana no

usualmente desarrollados pero potenciales a la hora de pensar en construir problemas genuinos y significativos que los impliquen, desarrollar procesos de modelización y señalarlos desde un análisis evolutivo, se decidió trabajar en elaboración de ideas claves disciplinares del modelo de membrana referidas a: la fluidez y el autoensamblaje y al origen de los sistemas de endomembranas en la célula eucariota.

Las ideas fueron formuladas de la siguiente manera:

- *Las membranas son estructuras fosfolípicas que se comportan como un mosaico fluido y pueden producir el autoensamblaje de sus componentes.*

Las membranas están constituidas por una finísima capa de fosfolípidos, unidos por enlaces no covalentes. Son estructuras dinámicas, fluidas, ya que sus moléculas pueden desplazarse en el plano de la membrana y autoensamblarse con otras semejantes. La posibilidad de autoensamblarse y formar liposomas en agua, está vinculada con el carácter anfipático de las unidades de fosfolípidos que las componen.

- *Las organelas eucariotas surgieron por complejización gradual de la membrana bacteriana o por endosimbiosis.*

La célula eucariota surge como resultado de un proceso de complejización de la célula bacteriana. La aparición de las organelas y sistemas de endomembranas que la caracterizan, ha sido explicada por procesos evolutivos de cambio gradual -a partir de plegamientos de la membrana- o por procesos evolutivos de cambios drásticos, como la endosimbiosis bacteriana.

4.4.2 Las ideas claves metacientíficas sobre *naturaleza de la ciencia*

El recorrido histórico y epistemológico que hemos construido, dio cuenta de diferentes episodios que pueden vincularse a ideas claves metacientíficas del eje naturaleza de la ciencia. Por ejemplo, en cuanto a los tipos de razonamientos implicados en la producción científica, la formulación de novedades, como las referidas a la naturaleza lipídica de la membrana, o sobre el origen endosimbionte de algunos orgánulos membranosos, pueden ser utilizados para abordar el razonamiento abductivo, implicado en la generación de

hipótesis (Adúriz-Bravo, 2005). Las regularidades establecidas por Robertson (1970) a partir de las observaciones con microscopio electrónico, que dieron lugar a la idea de unidad de membrana, pueden ilustrar de qué manera operan los razonamientos inductivos y también dar cuenta del límite que tienen en cuanto a la producción de modelos teóricos. También es posible identificar razonamientos deductivos, que se activan luego de generadas las hipótesis y tienen como función, conectarlas desde el ámbito teórico con el campo de la experiencia, esto es, con las consecuencias observacionales que se esperan obtener en un experimento. Un ejemplo de ello lo constituyen las experiencias sobre fluidez de la membrana y movimiento de las proteínas. Otro tipo de razonamiento, el analógico, puede identificarse en diferentes momentos de la evolución de los modelos de membrana, como en la comparación que establece Quincke (Latorre, et al., 1996) con las pompas de jabón, y también en las últimas formulaciones del modelo que proponen las metáforas de las balsas. La idea metacientífica que sostiene que las observaciones están cargadas de teorías y que los hechos científicos se construyen, puede identificarse al analizar el período de más de doscientos años que se encuentra desde la observación de las primeras células hasta la estabilización de la teoría celular; en el episodio de las discusiones sobre la naturaleza celular o no de los blastómeros, según se admitiera o no una pared-membrana celular en las observaciones, y también en las discusiones que sostenían gradualistas y adherentes a la teoría endosimbiótica, sobre el origen del ADN que se había identificado en mitocondrias y cloroplastos.

Así, y en función del análisis efectuado y también de la consideración que hacemos sobre la materia Biología Celular, que es introductoria para los alumnos del Profesorado a los fenómenos de la vida estudiados en el nivel de organización celular, y a que el objetivo de formación es comenzar a iniciar a los alumnos en reflexiones básicas sobre la ciencia, es que se decidió trabajar sobre la elaboración de ideas claves metacientíficas referidas a: modelos analógicos y la carga teórica de las observaciones y la construcción de los hechos científicos, utilizando a modo de insumos del análisis histórico epistemológico a: el modelo analógico que formuló Quincke ente una pompa de jabón y una membrana, y la

discusión científica entre biólogos gradualistas y biólogos partidarios de la teoría endosimbiótica, para explicar el origen de sistemas de endomembranas, como las mitocondrias.

Las ideas fueron formuladas de la siguiente manera:

- *Los modelos son representaciones que reemplazan, simplifican y analogan elementos y relaciones de una parte de la realidad.*

Los modelos son re-presentaciones, reemplazos en ausencia del sistema complejo, que solo retienen algunos elementos de interés y funcionan como facilitadores para la comprensión del mundo real. La formulación de analogías es un recurso común del lenguaje y del pensamiento y los modelos analógicos, frecuentemente utilizados en la producción científica, permiten establecer una serie de correspondencias entre dos situaciones, una conocida y otra novedosa, con el fin de dar sentido a la última por medio de la primera. (La estructura molecular de la pompa de jabón no es idéntica a la membrana, pero es parecida, y su manipulación macroscópica puede dar algunas pistas sobre la fluidez de la membrana.)

- *Las observaciones están cargadas de teoría y los hechos científicos se construyen.*

Las intervenciones sobre el mundo natural están orientadas por modelos teóricos que guían en la búsqueda y además proveen los instrumentos para hacerlas. Los denominados habitualmente “descubrimientos científicos” son en realidad construcciones que relacionan teorías con hechos del mundo; así, los hechos científicos son fenómenos de la realidad controlados e intervenidos teóricamente.

5 La unidad didáctica. Diseño, implementación y análisis del Estudio 1 (Estudio preliminar)

En el año 2013, en el ámbito de la materia Biología Celular y al inicio del desarrollo de la unidad que trata temas de membrana celular, se realizó un estudio preliminar que tuvo como objetivo general el de lograr producir primeros insumos y un primer ciclo de análisis y discusiones relacionados con el diseño de una UD para la enseñanza del modelo de fluidez y autoensamblaje de membrana y la introducción a la idea de modelo analógico. Se diseñaron e implementaron actividades específicas para la iniciación, la reelaboración de los modelos iniciales y la estructuración del modelo científico, y también para la aplicación del modelo en un nuevo contexto. Básicamente se buscó describir y analizar, de modo inicial, las producciones de los alumnos y evaluar la potencialidad de las actividades diseñadas como disparadoras de situaciones genuinas y significativas de aprendizaje, para su posterior implementación en el Estudio 2. La propuesta se implementó con los 45 alumnos de la clase, y el análisis se llevó a cabo sobre las producciones de cuatro grupos que totalizaron 16 alumnos.

5.1 Diseño de una actividad de iniciación

Los criterios puestos en juego para el diseño de las situaciones problemáticas están vinculados con las orientaciones de referencia para las actividades de iniciación (Sanmartí, 2000), esto es, deben dar lugar a que los alumnos puedan relacionarlas con fenómenos cotidianos o de interés sociocientífico, a partir de una formulación que estimule el desarrollo de explicaciones y la producción de modelos explicativos iniciales.

En función de la naturaleza del fenómeno que abordamos, de nivel celular, se adoptó la estrategia de situar a los alumnos en una hipotética actividad de utilización de un microscopio y la presentación de una situación de laboratorio, de interés sociocientífico, como es la extracción de ADN de un óvulo, en un procedimiento de clonación. La posibilidad de introducir una micropipeta a un óvulo para extraer el ADN y que este no

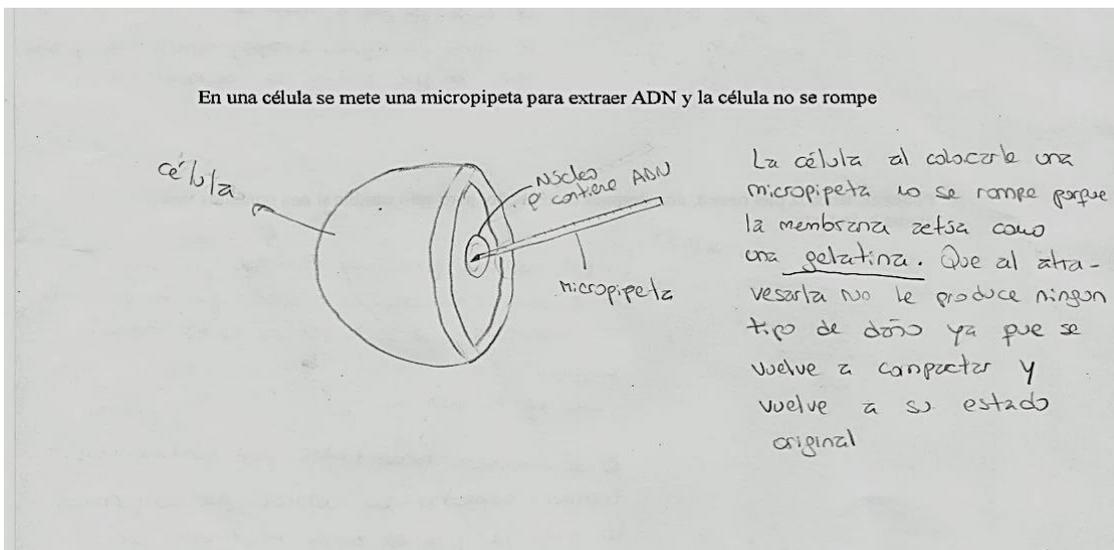
sufra daños, está directamente ligado a la fluidez de la membrana y su capacidad de autosellado.

De este modo, la situación queda propuesta de la siguiente manera:

“Supongan que están utilizando un microscopio que les permite observar en los niveles de organización celular y macromolecular. Piensen, discutan y describan, mediante gráficos y textos explicativos, qué creen que ocurre cuando en una célula se mete una micropipeta para extraer ADN y no se rompe.”

5.2 Análisis de los modelos iniciales de los alumnos

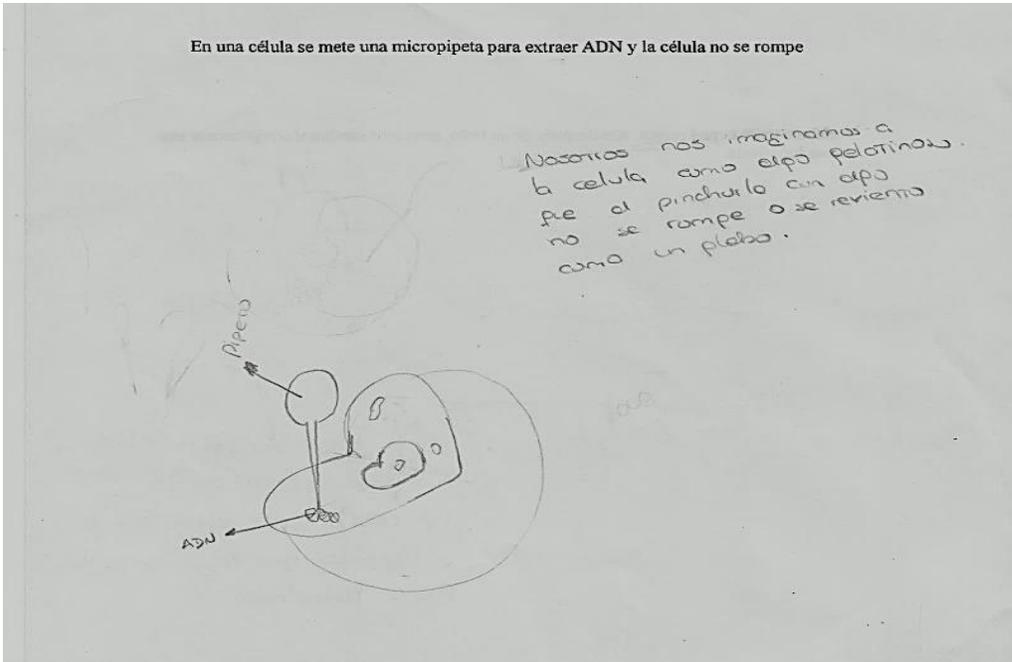
Las unidades de análisis son las producciones gráficas y textos complementarios que los alumnos en los grupos acordaron presentar para la explicación de la situación propuesta:



“La célula al colocarle una micropipeta no se rompe porque actúa como una gelatina, que al atravesarla no le produce ningún daño ya que se vuelve a compactar y vuelve a su estado original.”

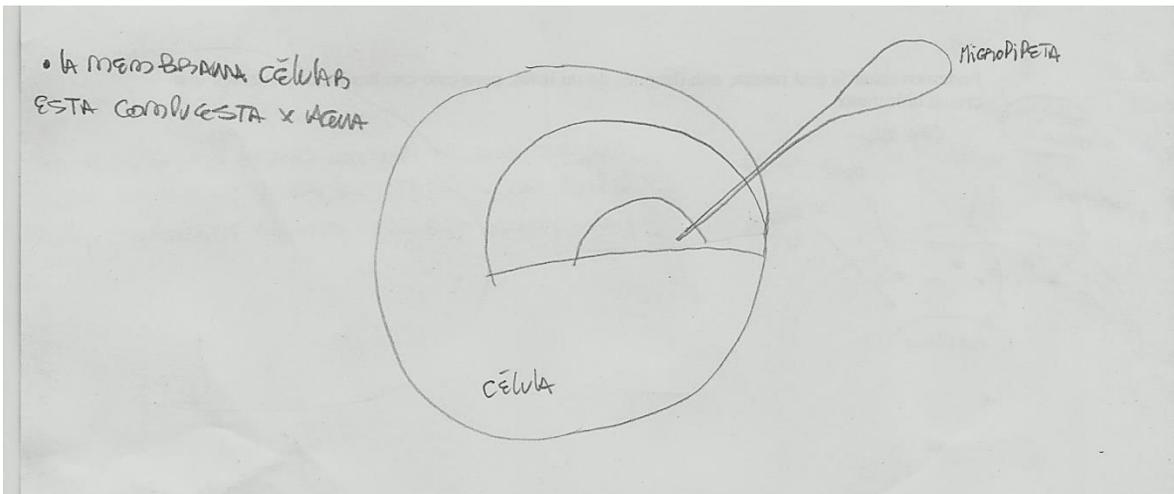
Modelos Iniciales 1: Grupo A. Sobre el ingreso de la micropipeta.

En una célula se mete una micropipeta para extraer ADN y la célula no se rompe



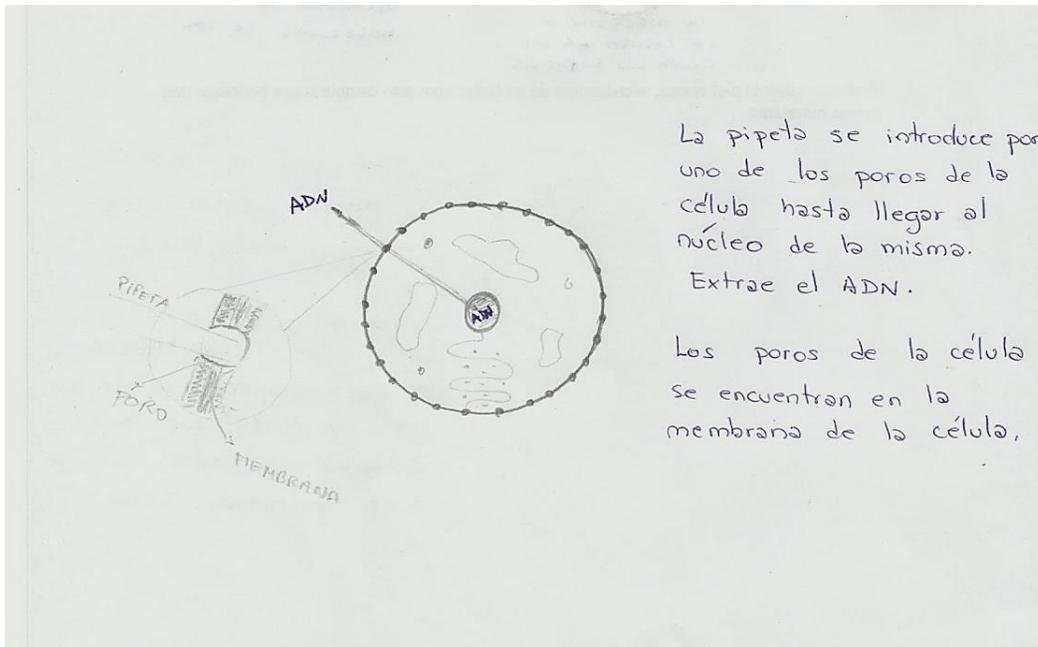
“Nosotros nos imaginamos la célula como algo gelatinoso que al pincharla con algo no se rompe o se revienta como un globo.”

Modelos Iniciales 2: Grupo B. Sobre el ingreso de la micropipeta.



“La membrana celular está compuesta por agua.”

Modelos Iniciales 3: Grupo C. Sobre el ingreso de la micropipeta.



“La pipeta se introduce por uno de los poros de la célula hasta llegar al núcleo de la misma. Extrae el ADN. Los poros de la célula se encuentran en la membrana de la célula.”

Modelos Iniciales 4: Grupo D. Sobre el ingreso de la micropipeta.

Al explicar por qué la célula no sufre daños en su estructura con el ingreso y la salida de la micropipeta, es posible identificar en los modelos propuestos por los grupos de alumnos, la utilización de diferentes estrategias como:

- Atribuirle a la célula propiedades de sustancias conocidas: gelatina y agua (A, B, C).
- Asignarle a la célula una determinada estructura: membrana con poros (D).

5.3 Actividades para promover la reelaboración de los modelos iniciales. La presentación de un nuevo punto de vista

Los diferentes modelos que propusieron los alumnos fueron socializados en la clase, en un encuentro especial con los cuatro grupos intervinientes, y se generaron diferentes discusiones entre los alumnos sobre el poder explicativo de cada uno de esos modelos.

La comparación del límite celular con una sustancia gelatinosa fue discutida en función de argumentar que, una vez atravesada por un objeto, no recupera totalmente su

consistencia inicial. El agua fue considerada una sustancia apropiada en función de lo que ocurre cuando son introducidos objetos en ella y son sacados, pero se cuestionaba sobre la necesidad de una estructura que la mantuviera contenida.

El modelo de poros fue cuestionado ya que entonces sería necesaria una técnica especial para que la micropipeta fuera introducida por uno de ellos, y se ponía en duda que esa fuese la acción que los técnicos llevaran a cabo, pero no fue totalmente descartada.

Las discusiones fueron intensas y daban cuenta del buen nivel de implicación que la situación problemática había suscitado en los estudiantes.

Un tipo de actividades que se sugieren para promover la reelaboración de los modelos iniciales de los alumnos, por ejemplo, es la introducción de analogías que introduzcan novedades y orienten el trabajo de producción de modelos más cercanos a los modelos científicos.

En el estudio sobre el saber de referencia referido al análisis histórico-epistemológico, se describió la utilización de una analogía entre la membrana celular y las pompas de jabón que el físico Quincke (Latorre, 1996) había propuesto en el contexto de las discusiones que, sobre la presencia o no de una membrana celular y su naturaleza química, aún no estaban saldadas a fines del siglo XIX. Esta analogía es la que se presentó a los alumnos para su análisis a partir de la lectura grupal del siguiente texto:

A fines del siglo XIX, aún se discutía si la célula poseía o no una membrana celular y, en caso de tenerla, cuál sería la naturaleza química de su composición. En ese momento, un físico alemán, George Quincke, quien investigaba el comportamiento de finas películas de lípidos en agua, demostraba su interés por participar de los debates sobre la naturaleza química de la membrana celular, y en un informe de 1888 escribió:

“la superficie plasmática consiste de una membrana fluida muy delgada que envuelve el contenido mucoso y acuoso de la célula en una superficie cerrada, así como una burbuja de jabón encierra al aire. La sustancia de esta membrana es un fluido, que forma gotas en agua y no se mezcla con el agua. Puesto que de todas las sustancias de origen orgánico conocidas, sólo los aceites muestran

esta propiedad, la superficie plasmática debe consistir de aceite graso”.
(Latorre, 1996)

A partir de esto se les ofrecieron a los alumnos materiales para poder realizar pompas de jabón y se les pidió que las intervinieran mecánicamente a los efectos de poder establecer relaciones entre las pompas y la situación de introducción de una micropipeta a un óvulo. Durante la manipulación de las pompas, todos los grupos lograron introducir un sorbete o una birrome al interior y sacarla luego sin que la pompa se rompiera.

Luego se planteó la necesidad de:

- conocer qué moléculas conforman la pompa de jabón;
- compararla con el modelo científico de membrana celular.

5.4 Actividades para la estructuración del modelo científico y la introducción a pensar sobre los modelos analógicos

En la siguiente clase, y a partir de la información que los diferentes grupos aportaron, se compuso una imagen con diferentes elementos, que fue proyectada en clase con los siguientes elementos:

- La composición química de una pompa de jabón.
- La composición química de una membrana celular.
- Imágenes que representan los modelos iniciales que ellos pusieron en juego para establecer relaciones comparativas con los materiales que ellos habían seleccionado.

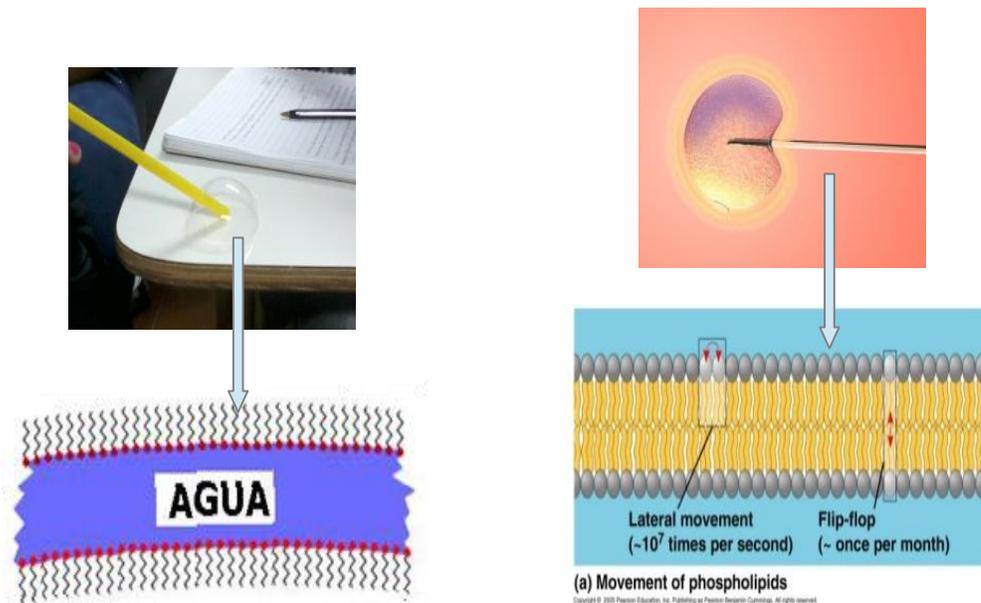
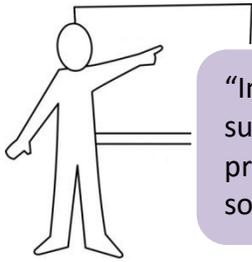


Gráfico 20: Imagen presentada en clase que vincula fenómenos y modelos en el Estudio I.

A partir del análisis del trabajo que se llevó a cabo se retomó la situación problemática inicial y se definió el modelo mosaico fluido.

Luego se estimuló a los alumnos a pensar, a partir de la imagen proyectada, qué relaciones podían establecer entre los diferentes elementos en ella presentes. Se generaron discusiones muy interesantes al momento de definir qué representaban y qué valor tenían a la hora de conocer el fenómeno del ingreso de la micropipeta al óvulo. Las ideas que aportaron los alumnos, tenían que ver, básicamente con dos conceptos, el de comparación y el de modelo. Se analizó el valor que habían tenido para abordar el problema y luego se conceptualizó a los modelos:



“Inicialmente diremos que un modelo es un subrogado, esto es, un sustituto del sistema real bajo estudio. Los modelos son representaciones, reemplazos en ausencia, del sistema complejo que solo retienen algunos elementos de interés.”

Particularmente se analizó la estrategia de Quincke, vinculada a la idea de comparación que aportaron los alumnos y se conceptualizó como modelo analógico:



“Inicialmente diremos que es un recurso común del lenguaje y del pensamiento que consiste en buscar semejanzas entre dos situaciones, una conocida (Quincke era experto en sistemas aceites-agua) y otra novedosa, con el fin de dar sentido a la última por medio de la primera. La estructura molecular de la pompa de jabón no es idéntica a la membrana, pero es parecida, y su manipulación macroscópica puede dar algunas pistas sobre la fluidez de la membrana.”

5.5 Actividades de aplicación

Con el objeto de dar lugar a la aplicación del modelo mosaico fluido, y entre varias alternativas, se optó por presentar una actividad que pusiera a los alumnos a analizar el prospecto de un medicamento cuyos principios activos se administran en liposomas. En función de la descripción que ofrece el prospecto se les pidió a los alumnos que definieran gráficamente un modelo de estructura del liposoma y un modelo de acción del medicamento.

Esta actividad se implementó con los cuatro grupos, dos semanas después de haber conceptualizado el modelo de mosaico fluido. En las producciones de los alumnos se

advierte que en los gráficos se han incorporado otros elementos constitutivos de la membrana celular, como las proteínas, ya que en ese lapso se abordó el tema de los intercambios a través de la membrana celular.



Venta bajo receta archivada
Industria Norteamericana

AMBISOME®
AMFOTERICINA B
EN LIPOSOMAS

Injectable liofilizado

COMPOSICION

Cada frasco-ampolla de polvo liofilizado contiene:

Amfotericina B (en liposomas).....	50,00 mg
Sacarosa.....	900,00 mg
Fosfatidilcolina Hidrogenada de soja.....	213,00 mg
Distearoilfosfatidilglicerol.....	84,00 mg
Colesterol.....	52,00 mg
Succinato disódico, 7 H ₂ O.....	27,00 mg
Alfa tocoferol.....	0,64 mg
Cada ampolla con disolvente contiene:	
Agua destilada esterilizada.....	12,00 ml

ACCION TERAPEUTICA

La amfotericina B es un antibiótico antimicótico, poliénico macrocíclico, producido por el *Streptomyces nodosus*.

DESCRIPCION

AmBisome® contiene amfotericina B encapsulada en liposomas.

Los liposomas son vesículas esféricas cerradas, compuestas por una variedad de sustancias anfófilas, como los fosfolípidos. Estos, cuando son colocados en soluciones acuosas, se ordenan por sí mismos en forma de membranas de doble capa. La porción lipófila de la amfotericina B permite que el fármaco se integre entre las dos capas del liposoma. La amfotericina actúa probablemente uniéndose a los esteroides ubicados en la membrana celular de los hongos, donde produce cambios en la permeabilidad que permiten el flujo de moléculas pequeñas al exterior de la célula. Ha sido sugerido que los daños producidos por la amfotericina B en células de mamíferos podrían deberse a un mecanismo similar, dado que éstas también contienen esteroides.

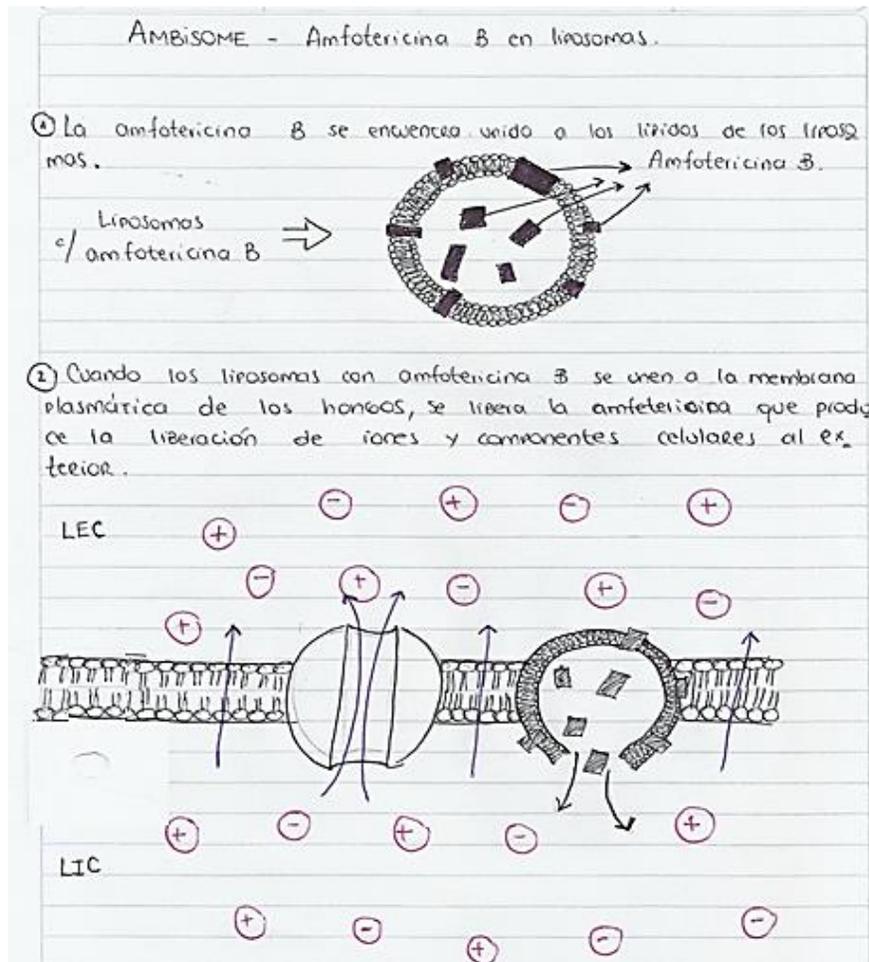
INDICACIONES

- Tratamiento de pacientes con *Aspergillus species*, *Candida species* y *Cryptococcus species* con infecciones refractarias al desoxicolato de amfotericina B o en pacientes en quienes el grado de insuficiencia o toxicidad renal resultan inaceptables para el uso de desoxicolato de amfotericina.
- Tratamiento empírico de presunta micosis en pacientes febriles neutropénicos.
- Tratamiento de la leishmaniasis visceral. En los pacientes inmunocomprometidos con leishmaniasis visceral tratados con AmBisome®, la tasa de recaída es alta después de la eliminación de las leishmanias.

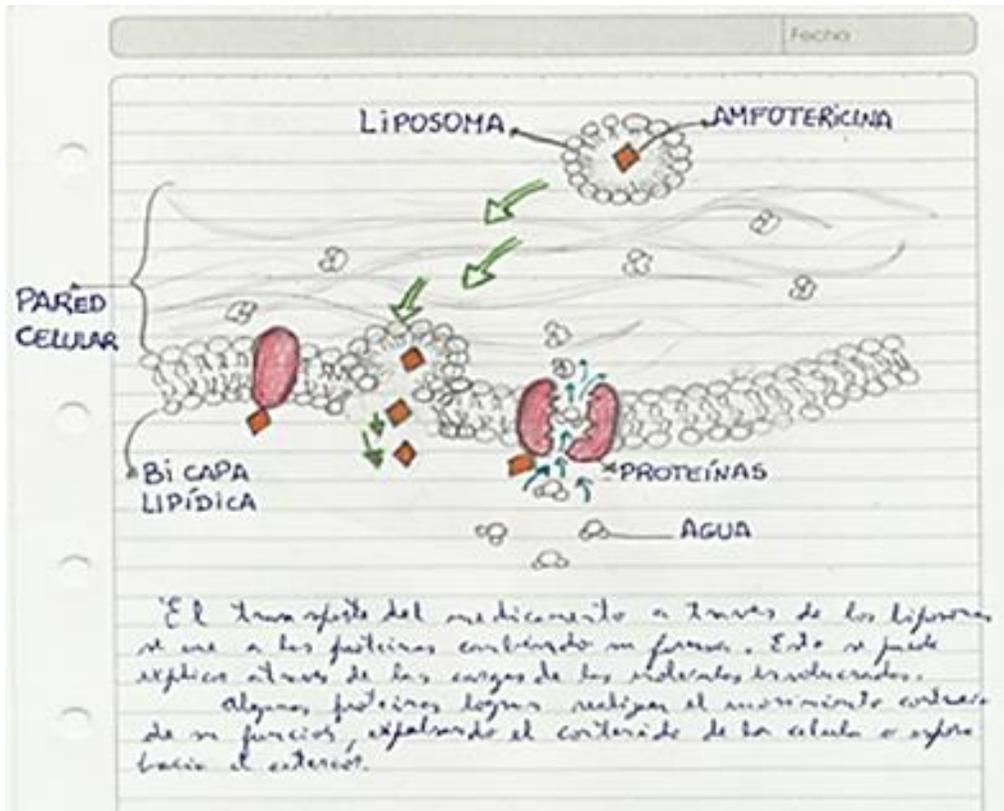
Gráfico 21: Prospecto utilizado en la actividad de aplicación en Estudio 1.

El trabajo interesó en gran medida a los alumnos. La posibilidad de “entender un prospecto”, según manifestaron algunos, fue valorada y los gráficos con textos

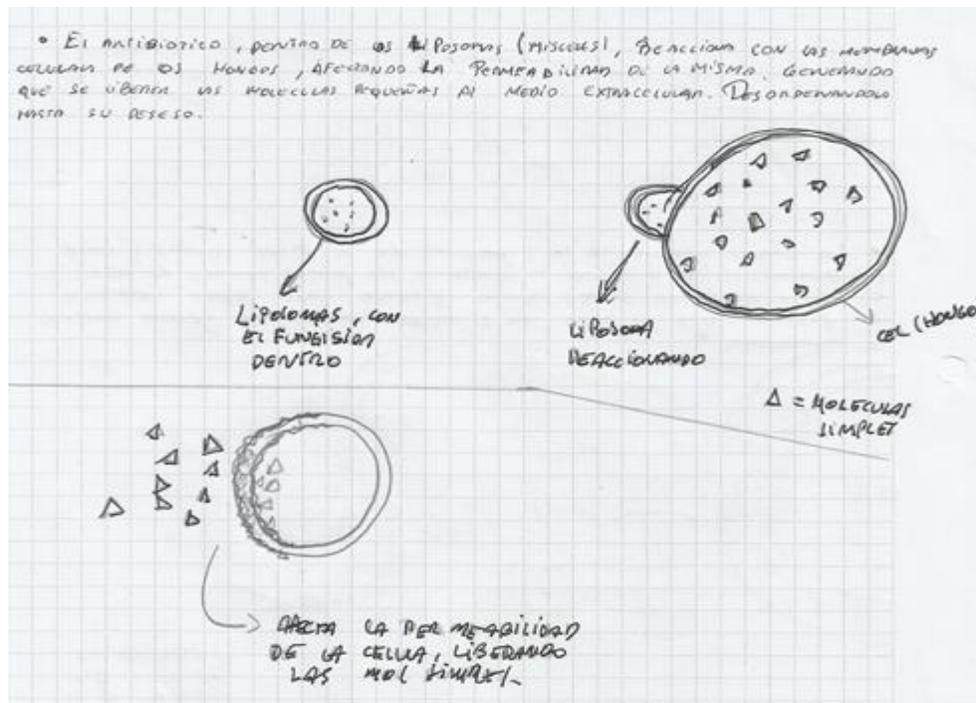
complementarios que llevaron a cabo los alumnos de tres de los cuatro grupos dan cuenta de la aplicación del modelo de fluidez para entender la acción del fármaco. Un grupo produjo una representación de un liposoma pero no la acción sobre las células de los hongos.



Modelos de aplicación 1: Grupo A. Sobre la acción de los liposomas.



Modelos de aplicación 2: Grupo C. Sobre la acción de los liposomas.



Modelos de aplicación 3: Grupo D. Sobre la acción de los liposomas.

5.6 Discusiones sobre el Estudio I

Respecto del diseño e implementación de la actividad de iniciación, se considera que la situación presentada a los alumnos, vinculada a la manipulación de una célula con una micropipeta, constituyó un disparador que interesó y los problematizó, los Interpeló sobre un fenómeno de interés sociocientífico e implicó para su respuesta la construcción de modelos sobre el límite de la célula que discutieron extensamente y definieron utilizando gráficos y textos. El análisis permitió identificar regularidades para establecer unidades de sentido respecto de las modelizaciones, por ejemplo, las analogías con sustancias o las analogías con estructuras, para dar cuenta de la naturaleza del límite celular.

Respecto del diseño e implementación de la actividad para la reelaboración de los modelos iniciales, a partir de la analogía con las pompas de jabón, se hizo evidente un alto interés por parte de los alumnos en explorar las propiedades del sistema y de establecer relaciones con el fenómeno del ingreso de la micropipeta al óvulo. Los alumnos, al finalizar la actividad y al ser consultados respecto de cómo la evaluaban, manifestaron, entre otros aspectos, que los sorprendió la propuesta de trabajar con experiencias concretas en la clase de Biología Celular y que les había resultado muy interesante. Lo mismo ocurrió con la actividad de aplicación, la cual se evaluó como apta para la aplicación del modelo de mosaico fluido.

Otro aspecto que este estudio preliminar dejó como potencialmente significativo fue el de dar inicio a las reflexiones metacientíficas sobre los modelos analógicos, analizando los elementos de la propia producción llevada a cabo en el curso. Este primer esbozo de una tarea metacognitiva para el análisis de temas de naturaleza de ciencia será luego retomado en el Estudio 2.

De este modo, se evalúan de manera positiva las intervenciones diseñadas y se las considera apropiadas, dentro de la secuencia de actividades que se orientan desde la actividad científica escolar, para dar inicio y desarrollar procesos de modelización sobre membrana celular. Ahora bien, existen aspectos que deber ser criticados y reformulados en función del desarrollo del Estudio 2.

Los modelos producidos por los alumnos, a partir de las analogías con sustancias o con estructuras, fueron discutidos pero en abstracto, en un contexto en el cual no se llevó a cabo un trabajo, por ejemplo, de confrontación con materiales concretos para la modelización intermedia, y la aparición de la analogía de Quincke implicó un salto y no una continuidad con las discusiones y las líneas argumentales que los grupos de alumnos desarrollaban. Este salto dio cuenta de una debilidad del proceso propuesto para la reelaboración de los modelos, ya que no dio lugar a la producción de modelos intermedios, entre los iniciales y el modelo científico.

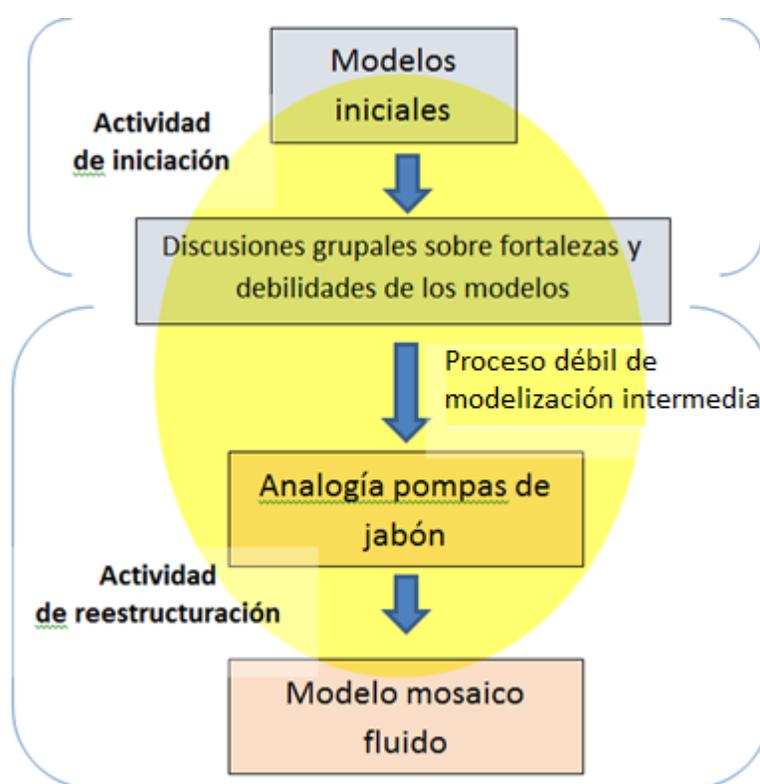


Gráfico 22: Análisis del desarrollo de la modelización en el Estudio 1.

El itinerario didáctico para el Estudio 2, entre otros aspectos, deberá ganar en densidad respecto de las oportunidades que tengan los alumnos para explicitar, confrontar y redefinir sus modelos iniciales y, además, la analogía con las pompas de jabón debería aparecer como una extensión de acciones sobre un contexto de diversidad de materiales

y de los argumentos que van construyendo. También deberán incluirse actividades de aplicación de los modelos (Lozano et al., 2013b).

6 La Unidad Didáctica. Diseño del Estudio 2

La unidad didáctica contiene dos etapas de actividades de enseñanza. La primera, centrada en la enseñanza del modelo mosaico fluido, en el cual también se tratan ideas metacientíficas. La segunda, centrada en el análisis de una discusión científica de mediados del siglo XX sobre el origen de los sistemas de endomembranas y organelas en la célula eucariota. Los objetivos específicos de la tarea de rediseñar la UD son:

- Ajustar los aspectos analizados en el estudio en las actividades de iniciación, modelización intermedia y estructuración del modelo científico de mosaico fluido.
- Incorporar otras actividades de aplicación del modelo construido.
- Incorporar el trabajo sobre ideas metacientíficas en las distintas actividades del trabajo sobre el modelo de mosaico fluido y en el trabajo sobre un episodio de discusión científica sobre el origen de las organelas en la célula eucariota.

6.1 Etapa 1. Idea clave disciplinar: Fluidez y autoensamblaje. Idea clave epistemológica: La observación y los modelos analógicos

6.1.1 Actividades de Iniciación

A diferencia de lo realizado en el Estudio I, las actividades de esta etapa, que consisten básicamente en la explicitación de los modelos iniciales, serán resueltas individualmente por los alumnos, quienes luego, desde el inicio de las actividades de reestructuración y hasta el final de la UD, trabajarán en sus grupos habituales. Creemos que el análisis y la explicitación individual de los modelos enriquecerá luego las discusiones y también las acciones de modelización intermedia que se lleven a cabo.

Tal cual se propuso en el análisis del Estudio I, se considera apropiada la actividad implementada, pero se proponen algunos ajustes a los efectos de hacerla más significativa para los alumnos y de iniciar también el desarrollo de ideas metacientíficas, particularmente en este caso.

Actividad 1: Para el Estudio 2, se optó por analizar la manipulación de un óvulo con una micropipeta en el contexto de una técnica de fertilización in vitro, al considerar que puede ser más significativa y cercana a los intereses de los alumnos. Antes de darles la consigna se les preguntará si han oído hablar de ella, si conocen casos y si saben en qué consiste la técnica. Luego se les entregará a cada uno el siguiente texto, el cual se leerá en voz alta para todo el grupo para chequear que la situación ha sido comprendida:

“Para llevar a cabo una fecundación in vitro es necesario ingresar un espermatozoide a un óvulo mediante una micropipeta. Supongan que están utilizando un microscopio que les permite observar en los niveles de organización celular y molecular.

Piense y describa, mediante gráficos y textos explicativos, y con todo el detalle que pueda, por qué la micropipeta puede entrar y salir del óvulo sin producirle daños en su estructura, ya que luego deberá ser implantado en el útero de una mujer.”

Actividad 2: Aquí, al planteo anterior se incorpora la siguiente actividad, que tiene como sentido facilitar una primera confrontación de los modelos iniciales de los alumnos con una referencia empírica, como es la imagen de una fertilización, y también dar lugar a que comiencen a explicitar los significados que le dan a la observación en un proceso de conocimiento.

Ahora vamos a observar un video que muestra imágenes obtenidas al microscopio, del ingreso de una micropipeta a un óvulo, introduciendo en él un espermatozoide. Antes de hacerlo, ¿piensan que la observación nos aportará más elementos para poder explicar? ¿Por qué? Escriban sus reflexiones en la hoja.

Luego de observar el video, la consigna que reciben los alumnos es:

¿Lo que vieron se parece a lo que pensaron?

¿Hasta qué punto la observación resolvió el problema? ¿Por qué? Escriban sus reflexiones en la hoja.

Creemos que con estos ajustes a las actividades de iniciación se logrará una mejor contextualización y comprensión del problema, se podrán introducir los primeros aspectos metacientíficos de análisis y se dispondrá en clase de los modelos iniciales y reflexiones de todos los alumnos de la muestra.

6.1.2 Actividades para la modelización intermedia

De aquí en adelante, todas las producciones que lleven a cabo los alumnos en el desarrollo de las clases serán grupales.

Respecto de lo realizado en el Estudio 1, éste es el tramo del itinerario didáctico en el que mayores modificaciones se llevarán a cabo. El propósito es lograr una textura más compleja de actividades y enriquecer los procesos de modelización que lleven a cabo los alumnos. Para facilitar la sistematización y el análisis de los datos se la divide en dos Partes.

6.1.2.1 Parte 1. Del trabajo inicial con los materiales a la producción de pompas

Actividad 3: Se les ofrecerá a los alumnos una mesa con diferentes materiales: gelatina preparada, agua, aceite, jabón, globos, coladores, recipientes de plástico, sorbetes, pipetas de vidrio, pelotitas de “telgopor”. El sentido de la tarea es que primero compartan entre los miembros del grupo sus ideas iniciales e inicien un camino de confrontación con los materiales.

Organizados en grupo compartan las diferentes explicaciones que dieron al inicio. Pueden utilizar los materiales que se encuentran sobre la mesa para ejemplificar las ideas que presentaron o realizar pruebas con los diversos materiales que deseen. Luego de la investigación, ¿con qué materiales concretos ustedes podrían ejemplificar ahora el fenómeno que analizamos? ¿Por qué?

Actividad 4: En esta actividad, se orientará la atención de los alumnos hacia la utilización de un material específico. Consideramos que los alumnos, en la interacción con los materiales, pondrán en valor sustancias como el aceite y el agua, las que cumplen el

requisito de volver a su estado inicial luego de introducir y sacar un objetos en ellas, pero no se satisface el requisito de conservar una estructura definida. Las pompas de jabón, están cercanas a los dos materiales, aceite y agua y brindan esa posibilidad.

Les proponemos incorporar pompas de jabón. Con los materiales que tienen (recipientes con agua, jabón, pajitas) produzcan pompas y trabajen con ellas. ¿Pueden establecer alguna relación con el fenómeno de la introducción de la micropipeta en la célula que estamos analizando? ¿Qué ocurrió? ¿Qué diferencias encuentran con los otros materiales utilizados? ¿Por qué?

6.1.2.2 Parte 2: De las pompas a la estructura de la membrana

Actividad 5: Esta actividad pone el trabajo con pompas de jabón en el contexto de la utilización de una analogía, a fines del siglo XIX, en momentos en los que se discutía sobre la naturaleza físico-química de la membrana.

Luego de la lectura del episodio histórico, se les brinda a los alumnos un modelo simple de una molécula de lípido, componente del jabón. A partir de ella se espera que los alumnos puedan luego estructurar la continuación del proceso de modelización y comenzar a pensar más concretamente en la fluidez y además en la capacidad de autoensamblaje que poseen los lípidos en fases acuosas.

Esta intervención, además, colaborará con la reestructuración y permitirá introducir análisis metacientíficos relacionados con la idea de modelo analógico.

Antes de la lectura del material que se entrega a los grupos. El texto utilizado en el Estudio I, fue modificado y enriquecido con más datos de contexto.

Si bien las primeras células fueron descritas en 1665, fue recién promediando el siglo XIX, más precisamente en 1839, que los botánicos, zoólogos y anatomistas europeos que estudiaban la estructura y el funcionamiento de los organismos a nivel microscópico, aceptaron que la célula era la mínima unidad constitutiva de los seres vivos.

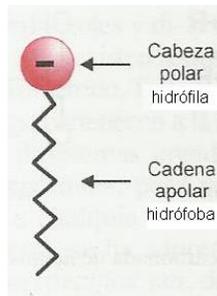
En el marco de esta nueva teoría, algunos investigadores la definían como un grumito de citoplasma con un núcleo, el cual podía o no secretar una membrana, pero afirmaban que la presencia de la membrana no era condición necesaria para su definición como célula.

Otros biólogos, en cambio, sostenían que había un límite de la célula y además, que éste era de una composición química diferente de la del citoplasma. Estas diferentes posiciones teóricas generaron discusiones. En ese momento, un físico alemán, George Quincke, quien investigaba el comportamiento de finas películas de lípidos en agua, demostraba su interés por participar de los debates sobre la naturaleza química de la membrana celular, y en un informe de 1888 escribió:

“la superficie plasmática consiste de una membrana fluida muy delgada que envuelve el contenido mucoso y acuso de la célula en una superficie cerrada, así como una burbuja de jabón encierra al aire. La sustancia de esta membrana es un fluido, que forma gotas en agua y no se mezcla con el agua. Puesto que de todas las sustancias de origen orgánico conocidas, sólo los aceites muestran esta propiedad, la superficie plasmática debe consistir de aceite graso” (Latorre, 1996)¹⁵.

Los jabones con los que se construyen las pompas, incluidas las que hacía referencia Quincke, se hace a partir de lípidos saponificables y están formadas por ácidos grasos, los cuales tienen una cabeza polar que es hidrófila, y una cadena carbonada que es hidrófoba. Los químicos acuerdan graficar a estos lípidos de la siguiente manera:

¹⁵ Latorre, R. L. B., J.; Bezanilla, F.; Llinás, R. (1996). *Biofísica y fisiología celular*. Sevilla: Universidad de Sevilla.



A los efectos de sostener el proceso de modelización que ya incorporó a los lípidos, se les solicita a los alumnos:

- *Coloquen pequeñas gotitas de lípidos separadas entre sí en un recipiente con agua y generen corrientes suaves que las pongan en contacto. ¿Qué observan? Trabajen también con pompas de jabón que se pongan en contacto entre sí. En el envés de la hoja grafiquen e incorporen textos complementarios para explicar qué creen que ocurre a nivel molecular para que ese fenómeno sea posible.*
- *¿Consideran que esta propiedad tiene que ver con el ingreso de la micropipeta al interior de la célula? ¿Por qué?*

Actividad 6: Al finalizar las actividades destinadas a promover la reestructuración de los modelos iniciales de los alumnos, se les pedirá la construcción de una maqueta utilizando diversos materiales que les sugieran la representación de una capa de lípidos que cumpla las funciones de fluidez y autoensamblaje.

En función de los datos químicos que aporta Quincke, y de las discusiones sobre lo que ocurre cuando se ponen gotitas de aceite o pompas en contacto, utilicen los materiales que tienen a disposición y construyan una maqueta que dé cuenta de la estructura de la membrana del óvulo y del fenómeno de ingreso de una micropipeta a la célula.

6.1.3 Actividades para la estructuración del conocimiento

Estas actividades tendrán como propósito que los alumnos puedan establecer un diálogo entre las modelizaciones producidas por ellos y los modelos científicos de bicapa lipídica y de mosaico fluido.

Actividad 7: La incorporación del análisis del trabajo de Goerter y Grendel descrito en el encuadre histórico-epistemológico, permitirá producir las últimas reestructuraciones necesarias para luego, en la siguiente categoría de actividades, establecer una comparación entre los modelos desarrollados y los presentes en la bibliografía de referencia. A los grupos de alumnos se les entrega el siguiente texto¹⁶:

En 1925, cuando ya se había aceptado la naturaleza lipídica de la membrana celular, dos científicos holandeses, E. Goerter y F. Grendel desarrollaban experiencias relacionadas con el espesor de la membrana, ya que tenían algunas hipótesis a partir de trabajos de físicos que habían estimado su grosor midiendo la capacidad de la membrana de transmitir electricidad.

Goerter y Grendel extrajeron lípidos de glóbulos rojos humanos (utilizaron glóbulos rojos porque sabían que no poseen núcleo ni organelas, y por lo tanto, podía suponerse que todos los lípidos extraídos pertenecían a la membrana plasmática) y midieron la cantidad de superficie que el lípido cubrió cuando se extendió sobre una superficie del agua. La proporción de la superficie cubierta de agua por los fosfolípidos fue el doble que la superficie calculada de los glóbulos rojos, por lo tanto, los investigadores propusieron que la estructura de la membrana era en realidad una bicapa lipídica y conjeturaron que, debido al interior acuoso de la célula, los fosfolípidos se ordenaban con cabezas polares hacia afuera.

Construyan un gráfico que dé cuenta de la propuesta de Goerter y Grendel respecto de la estructura de la membrana celular que proponían. ¿Qué modificaciones le harían a la maqueta? (Solo verbalizarlas.)

¹⁶ Basado en Karp, 2009.

Actividad 8. Luego del trabajo realizado sobre la experiencia de Goertel y Grendel y de la producción de modelos gráficos de bicapa lipídica, se finalizará con las actividades de estructuración mediante una actividad de indagación en manuales de Biología general o celular y molecular de uso universitario (Campbell, Sadava, Curtis, Karp, Alberts) del modelo de mosaico fluido.

Consulten gráficos de membrana en la bibliografía de referencia. ¿Qué relaciones pueden establecer con las producciones llevadas a cabo por ustedes? ¿Qué semejanzas y diferencias encuentran?

6.1.4 Introducción a los modelos analógicos. Actividades de explicitación, modelización y estructuración

Uno de los aspectos a robustecer en la planificación de la UD en el Estudio 2 está relacionado con la idea clave epistemológica de modelo analógico. Se pretende hilvanar el proceso de modelización que los alumnos habrán llevado a cabo sobre los fenómenos de membrana y la utilización de analogías, con una serie de actividades que lleven a la reflexión metacientífica sobre la naturaleza de los propios modelos científicos.

Actividad 9: Pondrá a los alumnos a pensar sobre la utilización que, tanto ellos como los profesores, hicieron en diferentes momentos del trabajo de la palabra modelo o modelización. Se espera que los alumnos logren caracterizar diversos aspectos a partir del trabajo realizado.

¿Durante el trabajo realizado hasta a que, fue frecuente la utilización de la palabra modelo para referirse a algunas de las producciones y situaciones que se analizaron. ¿Podrían tratar de definir a qué llaman modelo y por qué?

Actividad 10: La analogía que utilizó Quincke será ahora analizada como elemento de interés epistemológico y se sumará a las reflexiones producidas en la actividad anterior.

¿Qué estrategia utilizó Quincke para explicar a otros, su idea respecto de la naturaleza lipídica de la membrana? ¿Por qué piensan que lo hizo de ese modo?

Actividad 11: Como parte del proceso de reflexión metacognitiva sobre los modelos analógicos y su utilización, se les pedirá que revisen el proceso de modelización que ellos llevaron a cabo y qué cosas ocurrieron en el proceso.

¿En el trabajo que llevaron a cabo ustedes utilizaron en algún momento la misma estrategia? ¿Cuándo? ¿Cuál fue el devenir de los diferentes modelos que plantearon? Den un ejemplo.

Actividad 12: Llegado este punto del trabajo de análisis sobre lo producido, se llevará a cabo una actividad de introducción a una conceptualización básica sobre los modelos analógicos, extraída de un material contextualizado en el eje Naturaleza de la ciencia. (De *Una introducción a la naturaleza de la ciencia*, Adúriz-Bravo, 2005.)

Leer el material que se adjunta.

¿Qué lugar creen que ocupa el modelo entre una hipótesis que proponemos y la realidad? Caracterice los aspectos más importantes de un modelo analógico.

Actividad 13: Con esta actividad se propone iniciar un introductorio y básico proceso de análisis crítico a las diferentes formas en que se expresan los modelos y las potencialidades para favorecer la comprensión que cada una tiene. En el caso de los procesos de fluidez y autoensamblaje, los modelos realizados con multimedia en 2D o en 3D, que permiten generar movimientos a los fosfolípidos, aparecen como más potenciales que los gráficos de los manuales de biología.

Observen el siguiente video (<https://www.youtube.com/watch?v=jQBeUr62Ot8>) Puestos a explicar el ingreso de la micropipeta al óvulo, ¿cuál de los modelos consideran más apropiado: el analizado en el video o alguno de los presentes en la bibliografía de papel? ¿Por qué?

Actividad 14 La última actividad relacionada con la reflexión metacientífica sobre los modelos analógicos, pondrá a los alumnos a analizar el nombre “mosaico fluido” que le asignaron Singer y Nicholson, en 1972, a la estructura de la membrana celular.

¿Qué nombre recibe el modelo de membrana que presenta la bibliografía? ¿A qué atribuyen esa denominación?

Por último se presentarán las ideas clave disciplinar y metacientífica implicadas en la Etapa 1, para evaluar con los alumnos el nivel de comprensión que se hizo de las mismas durante el trabajo llevado a cabo.

6.1.5 Actividades de aplicación

Estas actividades, sólo introducidas en el Estudio I, se presentan a modo de post-test, con el objeto de evaluar la capacidad de aplicar el modelo de fluidez y autoensamblaje en situaciones nuevas.

Se utilizarán:

- El mecanismo de transporte de vesículas al interior de la célula.
- Un mecanismo para la fagocitosis en protoctistas (ameba y paramecio).
- La acción de una tecnología para el transportes de fármacos basada en liposomas, mediante el análisis de un prospecto médico que los utiliza.

Actividad 15: *La imagen muestra el modo en el que las células pueden transportar moléculas hacia el exterior. Teniendo en cuenta el modelo que hemos analizado en esta unidad. ¿Cómo explicarían el mecanismo general que utilizan las células para transportar moléculas?*

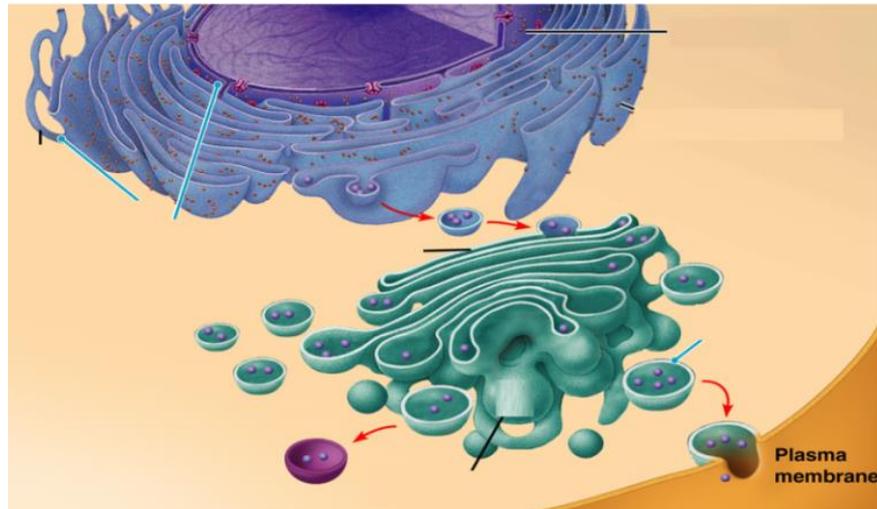


Gráfico 23: Transporte por vesículas (en Campbell, 2009).

Actividad 16: *El video muestra el modo en el que una ameba (un organismo unicelular de vida libre en agua dulce) captura un paramecio (otro unicelular del mismo tipo de vida) para alimentarse. Teniendo en cuenta el modelo que hemos analizado en esta unidad, ¿cómo explicarían la estrategia que utiliza la ameba para la captura?*



Gráfico 24: Fagocitosis de paramecio (en <https://www.youtube.com/watch?v=aWltglvTiLc>).

Actividad 17: *Uno de los nombres que suelen dárseles a las bolsitas o vesículas que transportan moléculas en las células es el de liposomas. En las últimas dos décadas la*

industria farmacéutica ha desarrollado liposomas artificiales, y los ha incorporado en la producción de remedios. Marta, una tía a quien le han recetado Ambisome, un remedio para atacar la aparición de hongos en la piel, les pide que le expliquen, “porque no entiende qué son los liposomas que, acaba de leer en el prospecto, están en ese medicamento”.



AMBISOME®
AMFOTERICINA B
EN LIPOSOMAS

Venta bajo receta archivada
Industria Norteamericana

Inyectable liofilizado

COMPOSICION

Cada frasco-ampolla de polvo liofilizado contiene:

Amfotericina B (en liposomas).....	50,00 mg
Sacarosa.....	900,00 mg
Fosfatidilcolina Hidrogenada de soja.....	213,00 mg
Distearoilfosfatidilglicerol.....	84,00 mg
Colesterol.....	52,00 mg
Succinato disódico, 7 H ₂ O.....	27,00 mg
Alfa tocoferol.....	0,64 mg
Cada ampolla con disolvente contiene:	
Agua destilada esterilizada.....	12,00 ml

ACCION TERAPEUTICA

La amfotericina B es un antibiótico antimicótico, poliénico macrocíclico, producido por el *Streptomyces nodosus*.

DESCRIPCION

Ambisome® contiene amfotericina B encapsulada en liposomas.

Los liposomas son vesículas esféricas cerradas, compuestas por una variedad de sustancias anfófilas, como los fosfolípidos. Estos, cuando son colocados en soluciones acuosas, se ordenan por sí mismos en forma de membranas de doble capa. La porción lipófila de la amfotericina B permite que el fármaco se integre entre las dos capas del liposoma. La amfotericina actúa probablemente uniéndose a los esteroides ubicados en la membrana celular de los hongos, donde produce cambios en la permeabilidad que permiten el flujo de moléculas pequeñas al exterior de la célula. Ha sido sugerido que los daños producidos por la amfotericina B en células de mamíferos podrían deberse a un mecanismo similar, dado que éstas también contienen esteroides.

INDICACIONES

- Tratamiento de pacientes con *Aspergillus species*, *Candida species* y *Cryptococcus species* con infecciones refractarias al desoxicolato de amfotericina B o en pacientes en quienes el grado de insuficiencia o toxicidad renal resultan inaceptables para el uso de desoxicolato de amfotericina.
- Tratamiento empírico de presunta micosis en pacientes febriles neutropénicos.
- Tratamiento de la leishmaniasis visceral. En los pacientes inmunocomprometidos con leishmaniasis visceral tratados con Ambisome®, la tasa de recaída es alta después de la eliminación de las leishmanias.

Gráfico 25: Prospecto de medicamento que utiliza liposomas.

6.2 Etapa 2. Idea clave disciplinar: Origen de las organelas. Idea clave epistemológica: La construcción de los hechos científicos

En esta etapa del rediseño de la UD se incorpora un contenido: el origen de las organelas en la célula eucariota, que permitirá contextualizar las ideas claves sobre membrana celular en una visión evolutiva y, además, dará lugar al tratamiento en clases de una idea clave epistemológica vinculada a la construcción de los hechos científicos, que se considera básica y de interés en la introducción a las discusiones epistemológicas que ofrecemos a los alumnos de Biología Celular de primer año del Profesorado.

El análisis histórico-epistemológico llevado a cabo permitió acceder a dos episodios de interés que fueron considerados para la estructuración de esta parte de la UD. Uno de ellos es la formulación del modelo de unidad de membrana, propuesto por Robertson, y el otro, estrechamente vinculado con el anterior, es el del origen de las organelas, que el modelo de unidad de membrana había determinado como formadas por bicapas lipídicas semejantes a la membrana celular. Robertson atribuyó el origen de las organelas a un proceso de paulatinas invaginaciones de la membrana, en el marco de un modelo evolutivo gradualista. En ese momento, y desde otras coordenadas teóricas, Lynn Margulis estableció un origen diferente para ciertas organelas. La discusión científica que se generó será utilizada para el desarrollo de la idea clave epistemológica sobre la construcción de los hechos científicos.

Las actividades que se presenta a continuación implican espacios para introducir al tema y explicitar y discutir modelos iniciales (actividades 18 y 19), para reelaborar los modelos y producir nuevas síntesis y aplicarlas (actividades 20, 21 y 22).

Actividad 18: Con esta actividad se introduce y se pone en contexto histórico el tema a desarrollar, a mediados del siglo XX y en pleno auge de la microscopía electrónica, utilizando una publicación de Scientific American de esa época. Principalmente se busca la continuidad con lo desarrollado en la Etapa I de la UD, al traer nuevamente lo que los alumnos analizaron en la etapa de aplicación, al explicar por fluidez y autoensamblaje el transporte por vesículas al interior de la célula. Los alumnos podrán poner esas explicaciones que dieron, en el contexto del modelo de Unidad de Membrana propuesto

por Robertson Llegado este momento, se conceptualizará el modelo de unidad de membrana, estructurando desde allí a los modelos que probablemente produjeron los alumnos en la actividad de aplicación (Actividad 15 de la Unidad Didáctica). La introducción a la temática se realizará con una presentación en ppt (Anexo 2).

Actividad 19: Se presentará la hipótesis de Robertson y la idea de “faro teórico” para explicar de qué manera las explicaciones más particulares suelen estar de algún modo “iluminadas” por teorías que orientan la formulación de hipótesis por parte de los científicos, en este caso, las organelas aparecen como resultado de paulatinas invaginaciones y pliegues de membrana dentro del marco de una visión gradualista de la evolución. Luego se presentará a los alumnos otro punto de vista, sincrónico al anterior, propuesto por la bióloga Lynn Margulis, desde la cual las mitocondrias, por ejemplo, aparecen como resultado de la endosimbiosis bacteriana.

Así, al finalizar esta actividad de presentación de las hipótesis sobre el origen de las organelas, se dejará expuesta la discusión entre hipótesis rivales.

Del planteamiento de esa discusión ya han pasado casi cincuenta años. ¿Qué suponen qué ocurrió en ese tiempo? ¿Creen que alguna posición teórica pudo haber prevalecido sobre otra? Si fue así, ¿a raíz de qué creen que sucedió? ¿O es probable que aún no se haya resuelto? ¿Por qué?

En esta actividad se pondrá a los grupos de alumnos en la situación de tener que pensar sobre el contenido de la discusión, esto es, sobre las explicaciones particulares que da cada hipótesis, y también sobre el probable devenir que tuvo esta discusión científica y sobre los motivos que la condicionaron. Se propone así una intervención que dé lugar a la explicitación de representaciones por parte de los alumnos sobre el devenir de la ciencia y los elementos que intervienen para decidir sobre hipótesis rivales.

Actividad 20: El sentido de esta actividad es discutir el valor que asignan a la observación en el desarrollo de la discusión entre las hipótesis.

Luego de realizar un apuesta en común, se les indicará la lectura de un apartado del Capítulo 3, “La revolución de Lynn Margulis”, del libro *Deconstruyendo a Darwin*

(Sampedro, 2002), en el cual se plantea el modo en el que los biólogos gradualistas asimilaron la presencia del ADN mitocondrial a la teoría gradualista de la evolución.

A cada grupo se le ofrecerá una viñeta para completar, en la cual deberán exponer cuales son los argumentos que, desde cada visión sobre el origen de las mitocondrias, se dio a la presencia de ADNm. El sentido de esta tarea es estimular el desarrollo de la producción de textos y la comprensión de todos los alumnos del devenir de la discusión científica, en función de advertir que un mismo dato es prueba para dos hipótesis diferentes.

Por último, se analizará la información que, sincrónica al debate a mediados de la década del '60, daba cuenta de una descripción del ADN mitocondrial que lo emparentaba más con el ADN de las bacterias que el ADN de la células eucariotas. A partir de esto, se generará un debate y se les pedirá a los alumnos que, si lo consideran oportuno, realicen modificaciones a las viñetas.

Actividad 21: Como cierre de la propuesta de reflexiones sobre el devenir de la discusión científica, se les pedirá a los alumnos que analicen manuales de biología actuales de uso cotidiano en el desarrollo de la materia con el objeto de determinar:

¿Qué lugar ocupan en los textos de hoy, luego de 50 años, los dos modelos que se debatían en aquella época? ¿Qué reflexiones pueden hacer al respecto?

A partir de las producciones de los grupos, respecto de los modelos activos para explicar el origen de las organelas, se realizará una puesta en común, para reflexionar sobre el recorrido realizado en el trabajo y las diferentes ideas puestas en juego.

Actividad 22: Esta actividad tiene como sentido poner en contexto la formulación de la hipótesis endosimbiótica y permitir a los alumnos discutir y reelaborar el concepto “descubrimiento”.

Se realizará la lectura de un blog en internet en el cual se plantea que Margulis “descubrió” la endosimbiosis.

“Y es que Lynn Margulis, la gran científica, efectivamente descubrió que los cloroplastos, los orgánulos celulares de las algas (y por tanto, de las plantas terrestres) responsables de realizar la fotosíntesis son en realidad cianobacterias

atrapadas en una relación simbiótica, como si de granjas intracelulares se tratase. También descubrió que las mitocondrias, ese otro orgánulo con forma de judía, siempre referido como la central energética de la célula eucariota, también tuvo su origen como una bacteria engullida por otro organismo unicelular...”

(<http://evolucionarios.blogalia.com/historias/70820>)

Luego de la lectura se preguntará a los alumnos si están de acuerdo, y por qué, en la utilización del concepto de “descubrimiento” para caracterizar el trabajo llevado a cabo por Margulis.

Luego de poner en debate las ideas de cada uno de los grupos, se les dará la consigna de leer otro apartado del capítulo 3, del libro Deconstruyendo a Darwin, en el cual se retratan aspectos interesantes de la vida de Margulis como estudiante y también sobre producciones de investigadores no reconocidos por los biólogos gradualistas, y que habían formulado antecedentes básicos que orientarían el trabajo de Margulis.

¿Por qué Sampedro dice que el “primer descubrimiento” de Margulis fue bibliográfico? ¿Con qué ideas ya contaba Margulis al inicio de su trabajo previo a la formulación de la Teoría de la endosimbiosis? Lean las páginas 45 a 47 del texto.

Se realizará una puesta en común respecto de la contextualización llevada a cabo y de las ideas que comiencen a surgir respecto del concepto de descubrimiento utilizado en el blog. Por último se les pedirá a los alumnos de los diferentes grupos que reescriban sus propias versiones, para ser publicadas en la página de Facebook del profesorado.

Por último, se presentarán las ideas claves, disciplinar y metacientífica para evaluar con los alumnos el nivel de comprensión que se hizo de las mismas durante el trabajo llevado a cabo.

Tabla 1: Etapa 1. Secuencia de actividades. Idea clave disciplinar: Fluidez y autoensamblaje. Idea clave epistemológica: La observación y los modelos analógicos.

Actividades	Consignas	Registros. Unidades de análisis
De iniciación		
Actividad 1	<i>Piense y describa, mediante gráficos y textos explicativos, y con todo el detalle que pueda ¿Por qué la micropipeta puede entrar y salir del óvulo sin producirle daños en su estructura, ya que luego deberá ser implantado en el útero de una mujer”</i>	Producción inicial de modelos gráficos de manera individual
Actividad 2	<p><i>Ahora vamos a observar un video que muestra imágenes obtenidas al microscopio, del ingreso de una micropipeta a un óvulo, introduciendo en él a un espermatozoide. Antes de hacerlo, ¿Piensan que la observación nos aportará más elementos para poder explicar? ¿Por qué? Escriban sus reflexiones en la hoja.</i></p> <p>Luego de observar el video, la consigna que reciben los alumnos es:</p> <p><i>¿Lo que vieron se parece a lo que pensaron?...</i></p> <p><i>¿Hasta qué punto la observación resolvió el problema? ¿Por qué? Escriban sus reflexiones en la hoja.</i></p>	Producción de textos individuales

Para la modelización intermedia		
Parte 1. Del trabajo inicial con los materiales a la producción de pompas		
Actividad 3	<i>Organizados en grupo compartan las diferentes explicaciones que dieron al inicio. Pueden utilizar los materiales que se encuentran sobre la mesa para ejemplificar las ideas que presentaron o realizar pruebas con los diversos materiales que deseen. Luego de la investigación ¿Con qué materiales concretos ustedes podrían ejemplificar ahora el fenómeno que analizamos? ¿Por qué? (Se les ofrecerá a los alumnos una mesa con diferentes materiales: gelatina preparada, agua, aceite, jabón, globos, coladores, recipientes de plástico, sorbetes, pipetas de vidrio, pelotitas de “telgopor”)</i>	Grabaciones de voz y filmaciones parciales Textos producidos por el grupo
Actividad 4	<i>Les proponemos incorporar pompas de jabón. Con los materiales que tienen (recipientes con agua, jabón, pajitas) produzcan pompas y trabajen con ellas. ¿Pueden establecer alguna relación con el fenómeno de la introducción de la micropipeta en la célula que estamos analizando? ¿Qué ocurrió? ¿Qué diferencias encuentran con los otros materiales utilizados? ¿Por qué?</i>	Grabaciones de voz y filmaciones parciales Textos producidos por el grupo

Para la modelización intermedia		
Parte 2: De las pompas a la estructura de la membrana.		
Actividad 5	<p><i>Lean en grupos el siguiente texto (En el cual se relata la analogía que estableció Quincke con las pompas de jabón y se presenta un modelo gráfico de lípido)</i></p> <p><i>Coloquen pequeñas gotitas de lípidos separadas entre sí en un recipiente con agua y generen corrientes suaves que las pongan en contacto ¿Qué observan? Trabajen también con pompas de jabón que se pongan en contacto entre sí. En el envés de la hoja grafiquen e incorporen textos complementarios para explicar qué creen que ocurre a nivel molecular para que ese fenómeno sea posible.</i></p> <p><i>¿Consideran que esta propiedad tiene que ver con el ingreso de la micropipeta al interior de la célula? ¿Por qué?</i></p>	<p>Grabaciones de voz y filmaciones parciales</p> <p>Textos producidos por el grupo</p>
Actividad 6	<p><i>En función de los datos químicos que aporta Quincke, y de las discusiones sobre lo que ocurre cuando se ponen gotitas de aceite o pompas en contacto, utilicen los materiales que tienen a disposición y construyan una maqueta que dé cuenta de la estructura de la membrana del óvulo y del fenómeno de ingreso de una micropipeta a la célula.</i></p>	<p>Grabaciones de voz y filmaciones parciales</p>

Actividades para la estructuración del conocimiento.		
Actividad 7	<p><i>Lean en grupos el siguiente texto (En el cual se relata la experiencia de Goertel y Grendel)</i></p> <p><i>Construyan un gráfico que dé cuenta de la propuesta de Goertel y Grendel respecto de la estructura de la membrana celular que proponían. ¿Qué modificaciones le harían a la maqueta? (Solo verbalizarla)</i></p>	Textos y gráficos producidos por los grupos
Actividad 8.	<p><i>Consulten gráficos de membrana en la bibliografía de referencia. ¿Qué relaciones pueden establecer con las producciones llevadas a cabo por ustedes? ¿Qué semejanzas y diferencias encuentran?</i></p>	Registro de comunicaciones orales de los grupos en la clase
Introducción a los modelos analógicos.		
Actividades de explicitación, estructuración y aplicación.		
Actividad 9	<p><i>¿Durante el trabajo realizado hasta ahora, fue frecuente la utilización de la palabra modelo para referirse a algunas de las producciones y situaciones que se analizaron. ¿Podrían tratar de definir a qué llaman modelo y por qué?</i></p>	Textos producidos por los grupos
Actividad 10	<p><i>¿Qué estrategia utilizó Quincke para explicar a otros, su idea respecto de la</i></p>	Textos producidos por

	<i>naturaleza lipídica de la membrana? ¿Por qué piensan que lo hizo de ese modo?</i>	los grupos
Actividad 11	<i>¿En el trabajo que llevaron a cabo ustedes utilizaron en algún momento la misma estrategia? ¿Cuándo? ¿Cuál fue el devenir de los diferentes modelos que plantearon? Den un ejemplo</i>	Textos producidos por los grupos
Actividad 12	<i>Leer el material que se adjunta (Texto de Adúriz sobre analogías) ¿Qué lugar creen que ocupa el modelo entre una hipótesis que proponemos y la realidad? Caracterice los aspectos más importantes de un modelo analógico</i>	Textos producidos por los grupos
Actividad 13	<i>Observen el siguiente video (link) Puestos a explicar el ingreso de la micropipeta al óvulo, ¿Cuál de los modelos consideran más apropiado: el analizado en el video o alguno de los presentes en la bibliografía de papel? ¿Por qué?</i>	Textos producidos por los grupos
Actividad 14	<i>¿Qué nombre recibe el modelo de membrana que presenta la bibliografía? ¿A qué atribuyen esa denominación?</i>	Textos producidos por los grupos
Actividades de aplicación del modelo de mosaico fluido		

Actividad 15	<i>La imagen muestra el modo en el que las células pueden transportar moléculas hacia el exterior. Teniendo en cuenta el modelo que hemos analizado en esta unidad. ¿Cómo explicarían el mecanismo general que utilizan las células para transportar moléculas? (Imagen transporte por vesículas. Ver Diseño Estudio 2)</i>	Textos y gráficos producidos por los grupos. Grabaciones de voz y filmaciones parciales
Actividad 16	<i>El video muestra el modo en el que una ameba (un organismo unicelular de vida libre en agua dulce) captura un paramecio (otro unicelular del mismo tipo de vida) para alimentarse. <u>Teniendo en cuenta el modelo que hemos analizado en esta unidad</u> ¿Cómo explicarían la estrategia que utiliza la ameba para la captura? (Ver link en Diseño Estudio 2)</i>	Textos y gráficos producidos por los grupos
Actividad 17	<i>Uno de los nombres que suelen dárseles a las bolsitas o vesículas que transportan moléculas en las células es el de liposomas. En las últimas dos décadas la industria farmacéutica ha desarrollado liposomas artificiales, y los ha incorporado en la producción de remedios. Marta, una tía a quién le han recetado Ambisome, un remedio para atacar la aparición de hongos en la piel, les pide que le expliquen “porque no entiende que son los liposomas que, acaba de leer en el prospecto, están en ese medicamento”.</i> (Ver prospecto en Diseño Estudio 2)	Textos y gráficos producidos por los grupos

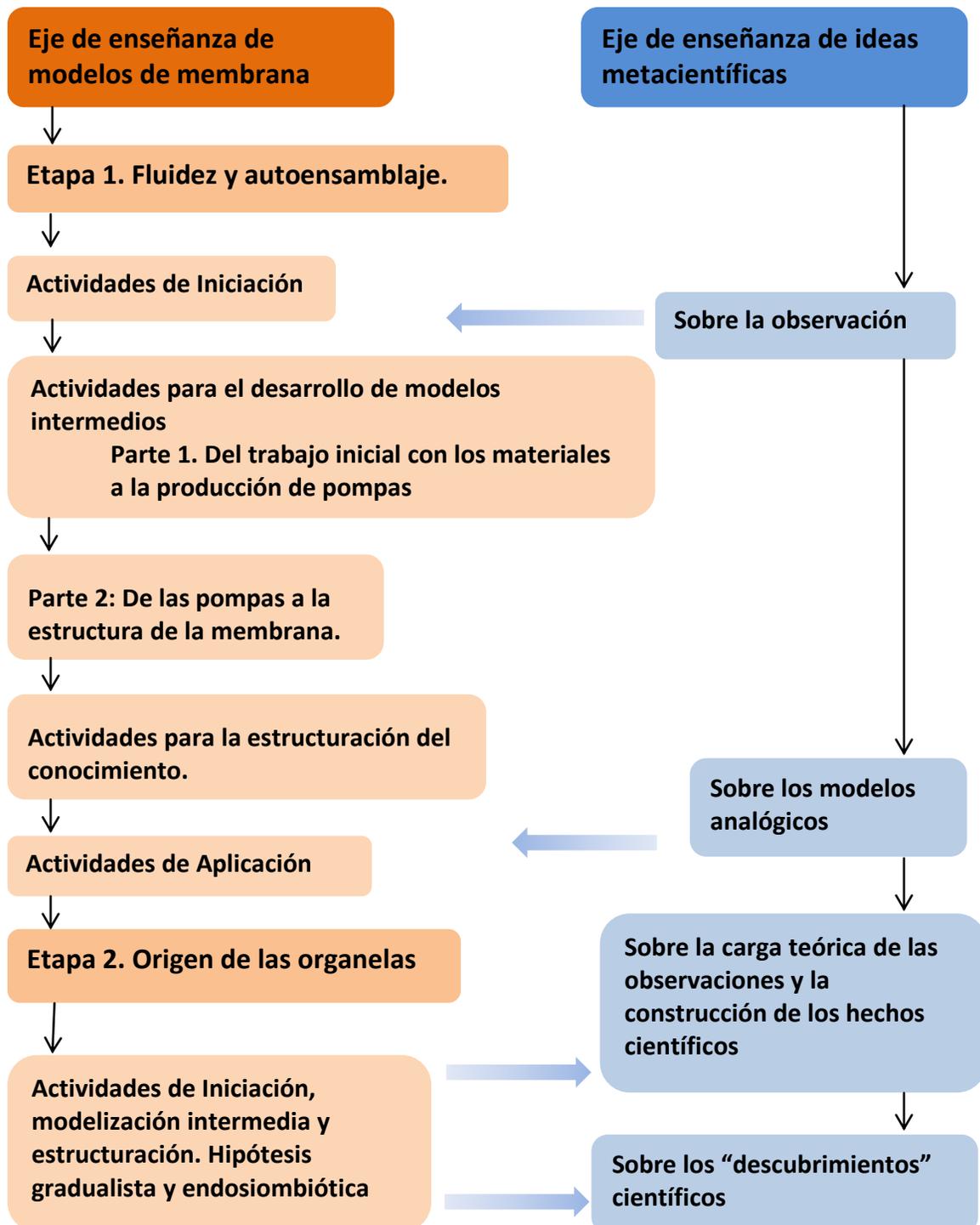
Tabla 2: Etapa 2. Idea clave disciplinar: Origen de las organelas. Idea clave epistemológica: La construcción de los hechos científicos

Actividades	Consignas	Registros Unidades de análisis
Actividades para introducir a la temática, explicitar y reelaborar los modelos explicativos iniciales		
Actividad 18	<p><i>Recuerdan el problema planteado sobre la forma de transportar moléculas en la célula y las explicaciones que dieron?</i></p> <p>(Presentación del tema en ppt y contextualización histórica Ver diseño Estudio 2) Presentación del modelo de unidad de membrana y de las dos hipótesis sobre el origen de las organelas</p>	Registro de comunicaciones orales en la clase
Actividad 19	<p><i>Del planteamiento de esa discusión ya han pasado casi cincuenta años. ¿Qué suponen qué ocurrió en ese tiempo? ¿Creen que alguna posición teórica pudo haber prevalecido sobre otra? Si fue así, ¿A raíz de qué creen que sucedió? ó ¿Es probable que aún no se haya resuelto? ¿Por qué?</i></p>	Textos y gráficos producidos por los grupos. Registro de comunicaciones orales en la clase
Actividad 20	<p>En 1963, Margit y Sylvan Nass, utilizando microscopia electrónica y un marcador sensitivo al ADN, probaron que las mitocondrias tenían un pequeño fragmento de ADN. Se les preguntará:</p> <p><i>¿Creen que esta descripción tuvo alguna influencia en la discusión sobre el origen de las mitocondrias? ¿Por qué? La posterior caracterización del ADN mitocondrial como bacteriano, ¿Qué implicancias habrá tenido en la discusión?</i></p>	Textos producidos por los grupos. Debates en clase

<p>Actividad 21</p>	<p><i>¿Qué lugar ocupan en los textos de hoy, luego de 50 años, los dos modelos que se debatían en aquella época? ¿Qué reflexiones pueden hacer al respecto?</i></p>	<p>Textos producidos por los grupos. Debates en clase</p>
<p>Actividad 22</p>	<p>Se llevará a cabo la lectura de un blog en internet, en el cual se atribuye a Margulis, haber “descubierto” la endosimbiosis bacteriana.</p> <p><i>¿Qué piensan respecto de esta caracterización del trabajo de Margulis?</i></p> <p>Luego de un apuesta en común se indicará la lectura de un texto que contextualiza el trabajo de Margulis</p> <p><i>¿Por qué Sampedro dice que el “primer descubrimiento” de Margulis fue bibliográfico? ¿Con qué ideas ya contaba Margulis al inicio de su trabajo previo a la formulación de la Teoría de la endosimbiosis? Lean las páginas 45 a 47 del texto.</i></p> <p>Para finalizar se les pedirá que reescriban el contenido del blog.</p>	<p>Textos producidos por los grupos. Debates en clase</p>

En el gráfico 26, se presentan las relaciones entre las líneas de trabajo disciplinar y metacientífico. Allí es posible advertir que en la Etapa 1, la modelización sobre los fenómenos de membrana ocupa el principal volumen del trabajo, y las intervenciones metacientíficas aparecen acompañando el proceso y advirtiendo las producciones de los alumnos con reflexiones de segundo nivel. En la Etapa 2, la idea clave sobre el origen de las organelas se hace subsidiaria del desarrollo de las ideas metacientíficas que aquí ocupan un lugar más destacado. Este tipo de relaciones entre las modelizaciones, se expresan en la figura mediante el sentido de las flechas.

Gráfico 26: Relaciones entre líneas de trabajo disciplinar y metacientífico



7 Análisis del Estudio 2: Etapa 1

7.1 Actividades de Iniciación

Las actividades 1 y 2, de iniciación de la UD, fueron las únicas que implicaron un trabajo individual por parte de los alumnos, y el análisis se llevó a cabo con las producciones de quienes integraron los grupos 2, 3, 5, 6, 9 y 15, según lo explicitado en las consideraciones metodológicas para el establecimiento de la muestra.

7.1.1. Modelos iniciales para explicar por qué no se rompe un óvulo al ingresar una micropipeta en él

Antes de entregar a cada uno de los alumnos una hoja con la consigna, se presentó la problemática en el contexto de la fertilización asistida, en particular la fecundación in vitro. Algunos de ellos manifestaron que si bien conocían el procedimiento, nunca se les había ocurrido pensar por qué no se dañaba el óvulo y, en general, se mostraron muy interesados por la situación planteada. Se les pidió que la resolvieran de manera individual y que desarrollaran gráficos y textos para complementar la explicación.

De la sistematización y posterior análisis de los datos es razonable proponer que, para explicar por qué no se rompe el óvulo luego de introducir y sacar una micropipeta de él, los alumnos utilizaron básicamente tres estrategias:

- Comparar con diferentes sustancias conocidas.
- Comparar con una estructura con poros por los cuales ingresaría la micropipeta sin producir daños.
- Atribuirle a la micropipeta alguna propiedad vinculada al tamaño o a alguna sustancia colocada en ella que impiden que el óvulo se rompa.

Del total de 33 alumnos que conformaban los 7 grupos seleccionados, cuatro no explicaron, o no es posible identificar claramente una hipótesis en sus respuestas.

Algunos alumnos ofrecieron más de una explicación, en algunos casos hasta cuatro, y todas han sido consideradas en la sistematización de los datos.

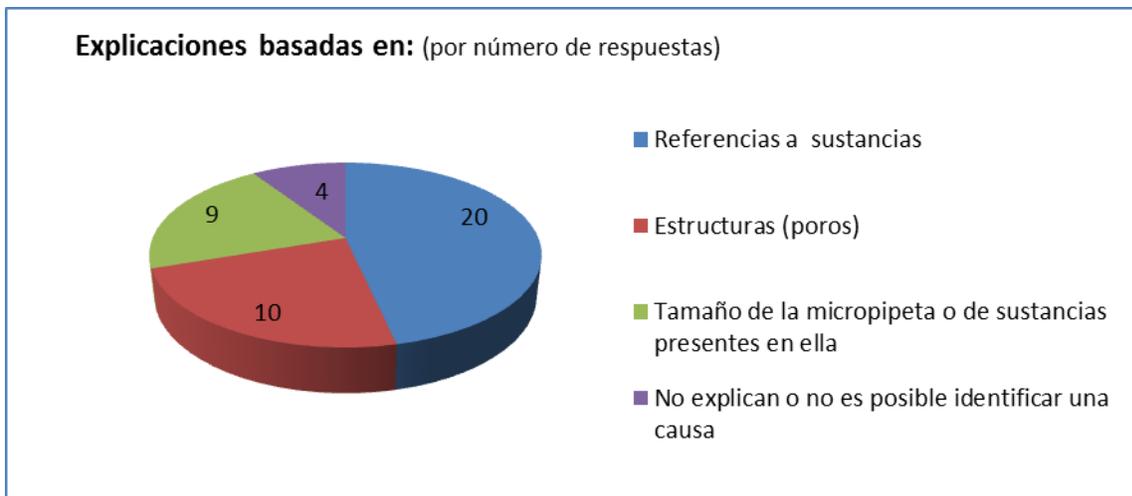


Gráfico 27: Tipos de explicaciones para la situación problemática inicial en el estudio 2

- Explicaciones que hace referencia a sustancias:

Dentro de las explicaciones que implican algún material o tipo de sustancia, la mayoría de los alumnos consideró a la gelatina como la apropiada para establecer la comparación y explicar por qué el óvulo no se rompe. También hicieron referencia al agua, a lípidos de membrana y al aceite.

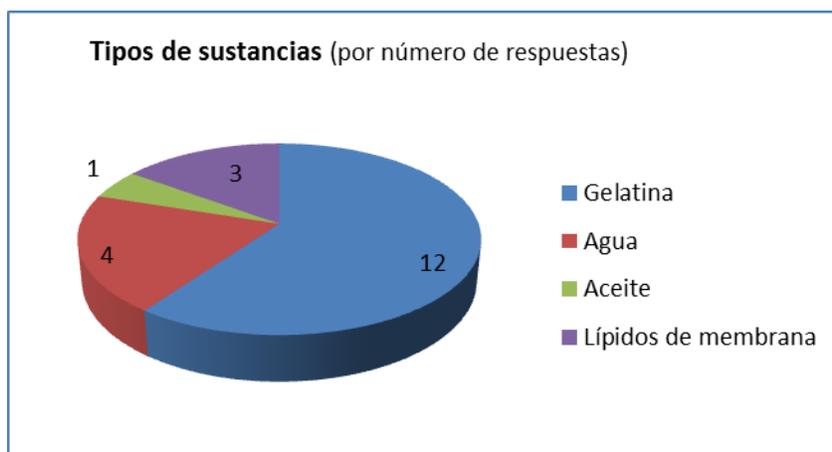
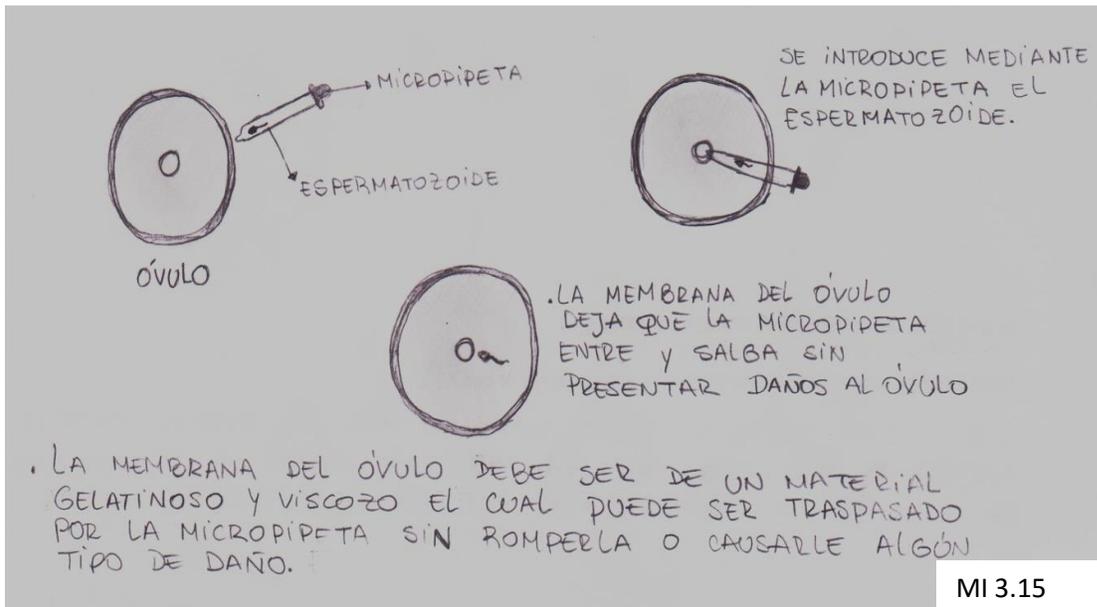


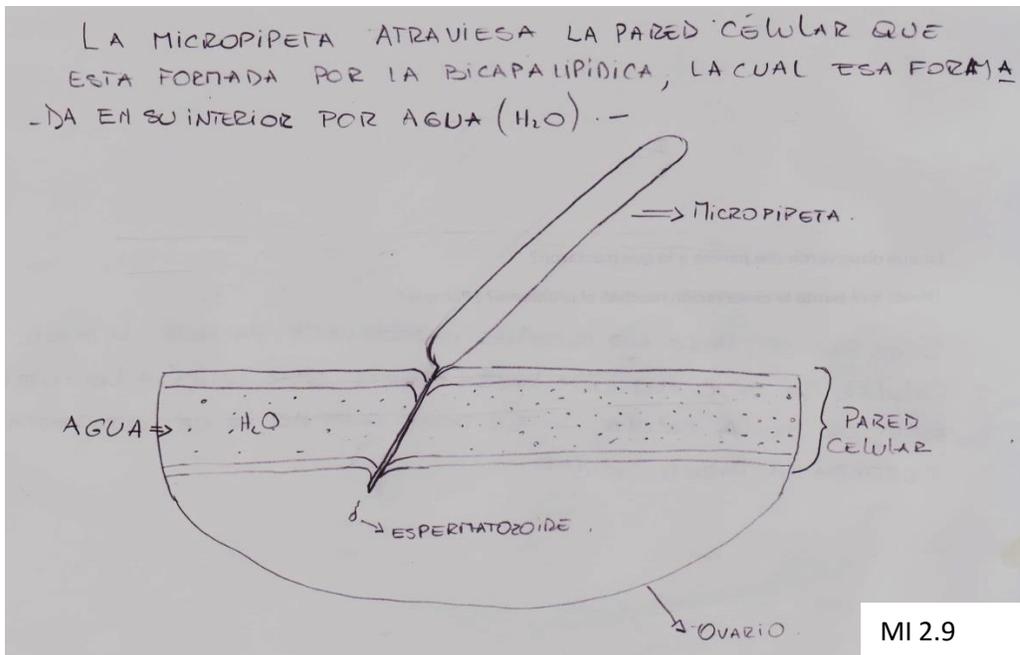
Gráfico 28: Tipos de sustancias implicadas en las explicaciones.

Las producciones de los alumnos dan cuenta de un interesante nivel de implicancia con la actividad de iniciación, esto se refleja en la calidad de los gráficos y detalles de los textos.

Ejemplos de las producciones:

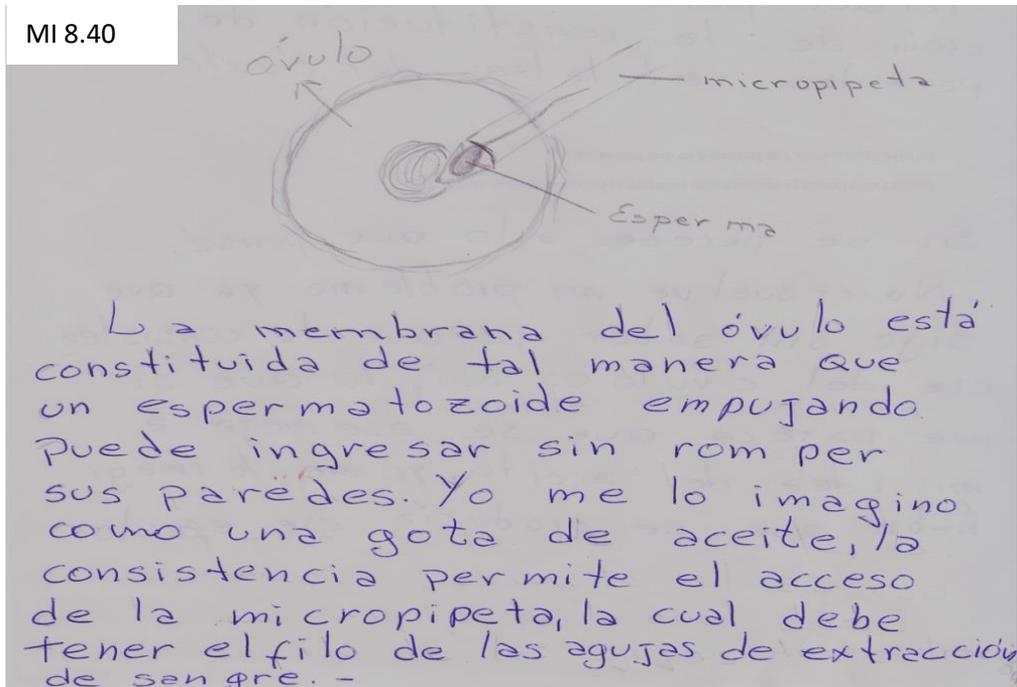


Modelos Iniciales 5: Referencia a la gelatina.



Modelos Iniciales 6: Referencia el agua.

MI 8.40



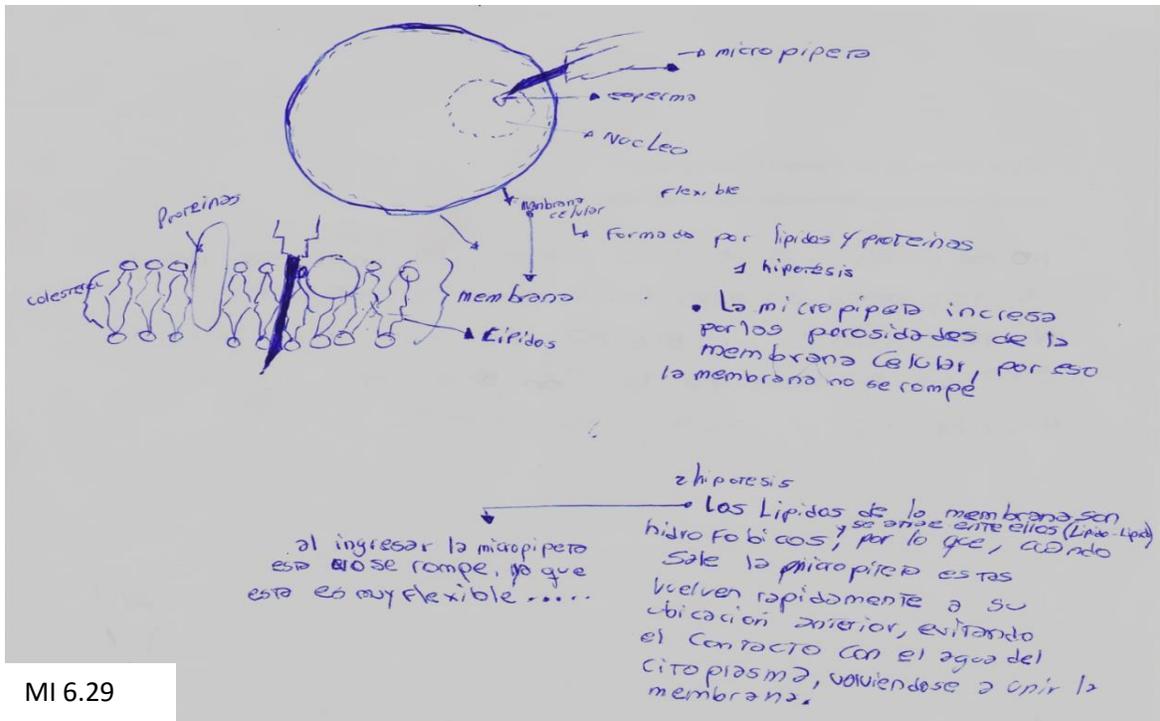
Modelos Iniciales 7: Referencia el aceite.

Solo en 3 de las 33 respuestas se establecieron relaciones con lípidos presentes en la membrana celular y su capacidad de sellar los espacios dejados por la micropipeta.

La totalidad de los alumnos de la muestra que hicieron referencia a estructuras, mencionaron la presencia de poros en el límite celular.

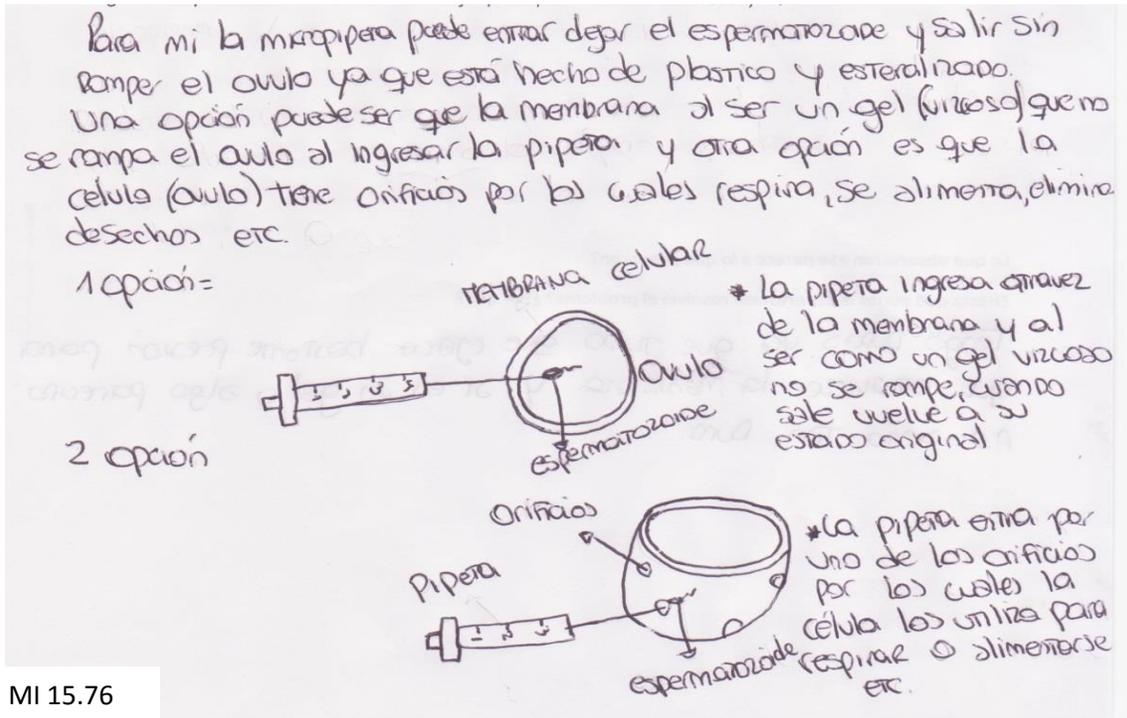
En este caso, la alumna propone dos hipótesis posibles para explicar el fenómeno y una de ellas contempla la presencia de orificios.

En MI 6.29, la alumna sostiene dos hipótesis basadas en la estructura de bicapa lipídica, una de ellas hace referencia a la propiedad de los lípidos de atraerse, la otra, al ingreso por poros.



MI 6.29

Modelos Iniciales 8: Referencia una bicapa lipídica y también una estructura porosa.

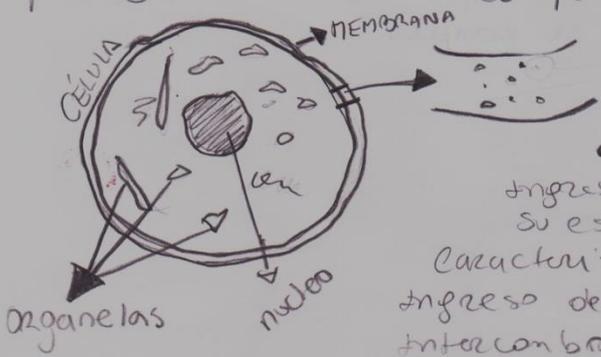


MI 15.76

Modelos Iniciales 9: Referencia una estructura porosa y también un gel viscoso.

En MI 8.39, se establecieron relaciones con la permeabilidad de la membrana y se fundamentó la presencia de poros desde la necesidad de la célula de intercambiar materia con el exterior.

• En la membrana que recubre la célula existen espacios (puentes) que permiten el intercambio de materia desde el interior hacia el exterior y también a la inversa. Entran moléculas para su metabolismo y salen desechos. Calculo que la micropipeta debe ingresar por alguno de esos espacios. La membrana es permeable

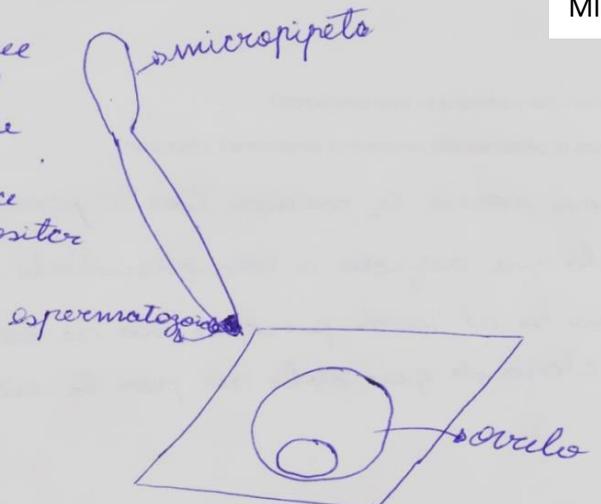


• Los espermatozoides ingresan y no dañan su estructura. Una de sus características es permitir el ingreso de espermatozoides y el intercambio.

MI 8.39

Modelos Iniciales 10: Referencia espacios en la membrana para el ingreso de la micropipeta.

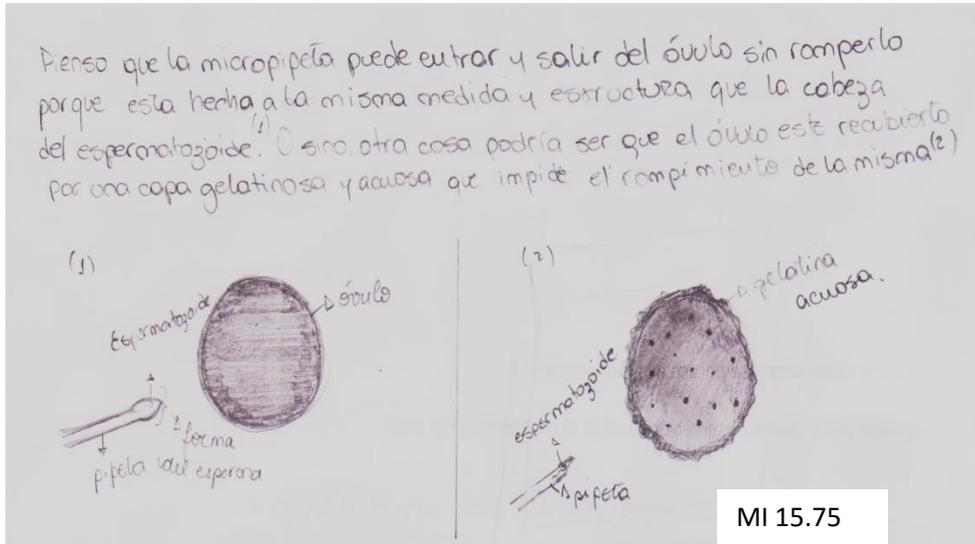
* La micropipeta posee en su punta material genético similar al de la célula, entonces su membrana la reconoce y la deja pasar y depositar el espermatozoide. Como pasa con los virus que mutan para parecerse a la célula y poder entrar.



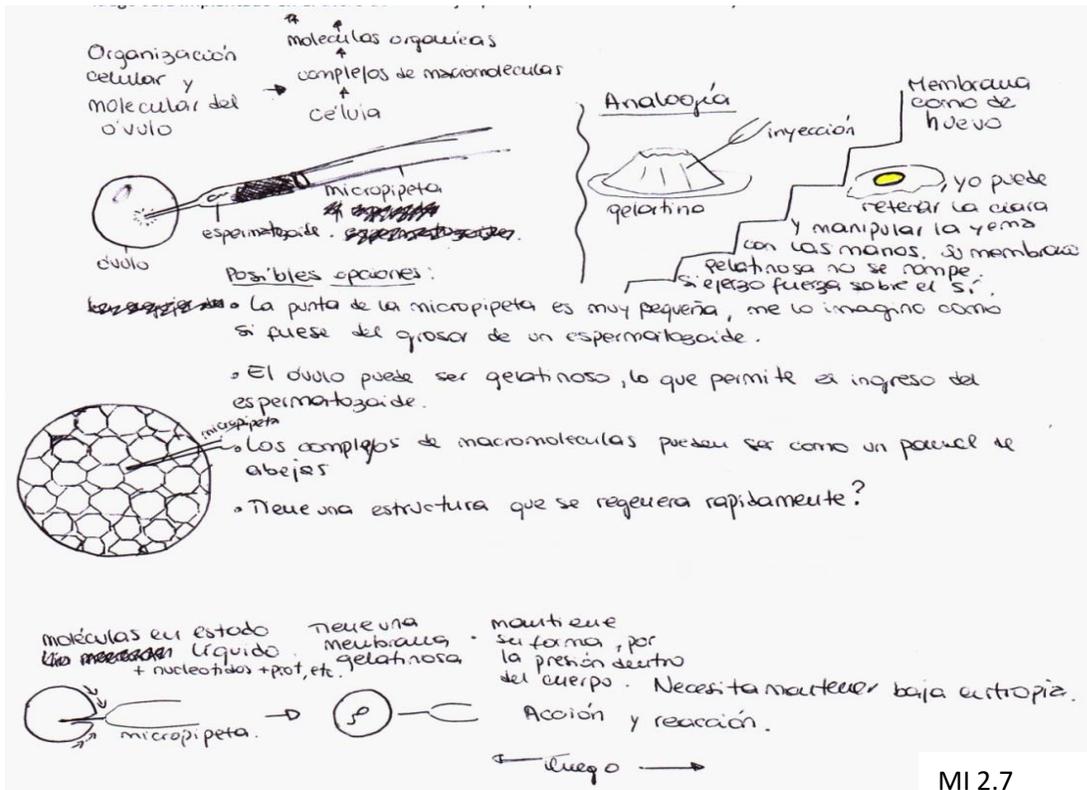
MI 6.30

Modelos Iniciales 11: Referencia una sustancia en la pipeta que permite el ingreso.

En MI 15.75, la referencia a un atributo de la micropipeta fue compartido también con la referencia a un modelo gelatinoso.



Modelos Iniciales 12: Referencia al tamaño de la micropipeta y a una sustancia gelatinosa.



Modelos Iniciales 13: Modelo que sostiene varias hipótesis.

El caso de MI 2.7, da cuenta de un desarrollo muy significativo de diferentes hipótesis, en la cuales aparecen ideas sobre sustancias, estructuras y propiedades de la micropipeta.

7.1.2 Los modelos iniciales como base del proceso de modelización intermedia

A partir de las producciones de los alumnos es razonable pensar que la analogía con ciertas sustancias o la consideración estructural de un sistema con poros, abren a la posibilidad de iniciar procesos de contrastación empírica y de modelización intermedia en busca de la construcción de hipótesis que incluyan la fluidez y el autoensamblaje de las unidades lipídicas que conforman la membrana. Desde esa perspectiva, las referencias que hicieron los alumnos a las características particulares de la micropipeta, aparecen como más débiles, ya que no referenciaban a propiedades o aspectos propios de la célula. Por otra parte, en la aplicación de conocimientos previos por parte de los alumnos sobre la membrana celular, es interesante observar que, en un diagnóstico preliminar realizado al inicio del cursado de la materia Biología Celular, en el año 2012, cuando los alumnos son puestos a dibujar y describir una célula, la casi totalidad identifica las tres estructuras básicas de una célula eucariota: membrana celular, citoplasma y núcleo. Ahora bien, en el contexto de la situación problemática planteada en esta actividad, sólo 18 de los 33 alumnos hicieron una mención explícita de la membrana celular como involucrada en el fenómeno de ingreso de la micropipeta (la mayoría de ellos refiriéndola como una sustancia gelatinosa o como porosa) y, de ellos, 3 alumnos la describieron como una estructura lipoproteica.

7.1.3 Ideas sobre el rol de la observación para comprender por qué no se rompe un óvulo.

Tal cuál se propuso en la reelaboración de la UD, la Actividad 2, última de tipo individual, puso a los alumnos en la situación de pensar si, la observación de un video que muestra el

ingreso de una micropipeta a un óvulo, les ayudaría a explicar mejor el fenómeno, luego ver el video, y por último explicitar si les aportó algo.

Respecto de las expectativas de los alumnos en cuanto al valor que tendría la observación para resolver el problema, del análisis de los datos se extrae que:

- Antes de la observación, 21 de los 33 alumnos expresaron, que el video le aportaría más elementos para poder explicar. Algunos ejemplos son:

3.14	<i>“Si. Podré saber cómo verdaderamente se hace este proceso.”</i>
3.16	<i>“Si. Porque nos ayudará a comprender mejor este problema y darme cuenta si estaba errado o no.”</i>
6.30	<i>“Si, porque observar las cosas ayuda muchas veces a comprender cómo suceden.”</i>

- 12 alumnos manifestaron que observar el video no le serviría de ayuda:

2.11	<i>No, porque no creo que la imagen tenga tanta resolución como para observar lo que le sucede a la membrana plasmática.</i>
6.29	<i>Creo que no, porque la imagen no me muestra la composición de la membrana; al menos que el video esté acompañado de una explicación del profesor, de esta sí me ayudaría.</i>
8.39	<i>No, creo que necesito más información, no creo que la imagen me la dé...</i>

Luego de la observación del video, algunos alumnos que habían anticipado que les ayudaría a resolver el problema, manifestaron cierta desazón mediante algunos comentarios y gestos de incredulidad.

El total de quiénes anticiparon que la observación del video no les aportaría (12 alumnos), siguieron manteniendo su postura, pero 12 de los 21 los alumnos que habían anticipado que sí, modificaron su opinión luego de la observación del video. Algunos ejemplos:

	Antes de observar el video	Después de observar el video
15.74	<i>Sí pienso que tal vez pueda entender más al ver</i>	<i>Me sirvió en parte porque aún no sé de qué material está hecho el óvulo, o sea su estructura</i>
2.8	<i>Sí, porque quizás no imagine la realidad de lo que le sucede al óvulo</i>	<i>No, no me ayudó</i>
3.13	<i>Si. Porque nos ayudará a comprender mejor este problema y darme cuenta si estaba errado o no</i>	<i>Algo parecido, pero no logro saber cómo no se rompe el óvulo. ¿Por qué no se rompe? Puede que sea por la punta de la micropipeta? No resuelve para mí el problema, en parte</i>
8.42	<i>Sí, depende de la calidad de la imagen... creo que sí, va a aportar más datos de cómo es que la célula no se rompe</i>	<i>No se parece a lo que yo me imaginé. No resolvió el problema porque todavía no sé porque no se rompe la célula.</i>

- 8 alumnos, de los 21 que habían anticipado que la observación les ayudaría a explicar por qué no se rompe el óvulo, siguieron manteniendo la misma idea.

3.13	<i>Si. Con el video quedó más claro el proceso</i>
3.15	<i>En cierta parte sí, luego de ver el video entendí mejor el proceso</i>
6.28	<i>Si se hubiera mostrado al principio hubiese sido más fácil... Es más fácil verlo que imaginarlo</i>
8.41	<i>Sí, se parece y bastante, resolvió la duda de qué consistencia es el óvulo... me esclareció la imagen que me había formado en mi mente</i>

7.1.4 Expectativas y logros atribuibles a la observación. El inicio de una nueva manera de considerarla

Desde el sentido con el que fue construida esta intervención en el diseño del Estudio 2, era esperable que al inicio, la mayoría de los alumnos hicieran explícita su confianza en la observación para resolver el problema. En un estudio diagnóstico preliminar, con el objeto de caracterizar aspectos sobre la imagen de ciencia que poseen los alumnos ingresantes a Biología Celular del año 2012, de un total de 73 alumnos, el 65% consideraron a la observación como una de las actividades principales que lleva a cabo una persona dedicada a la ciencia. De ellos, más de la mitad dibujó a científicos utilizando un microscopio.

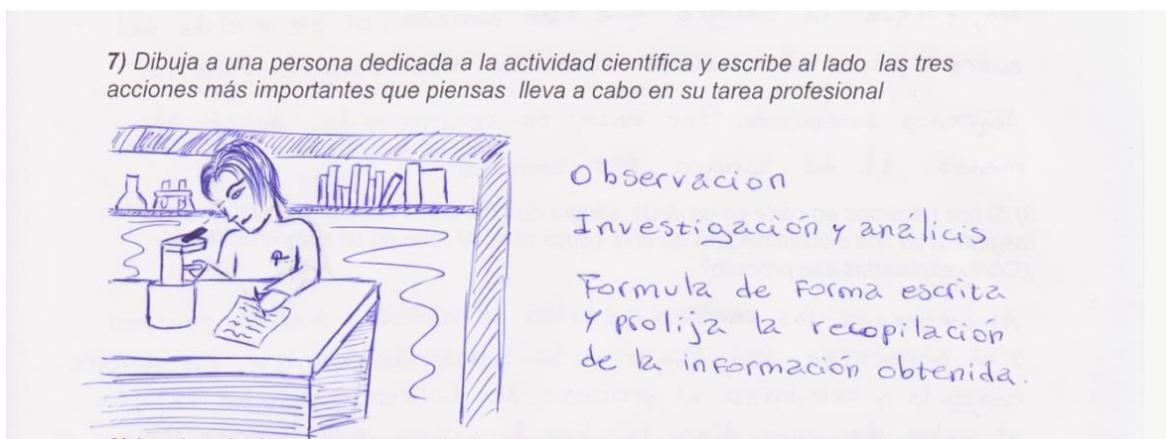
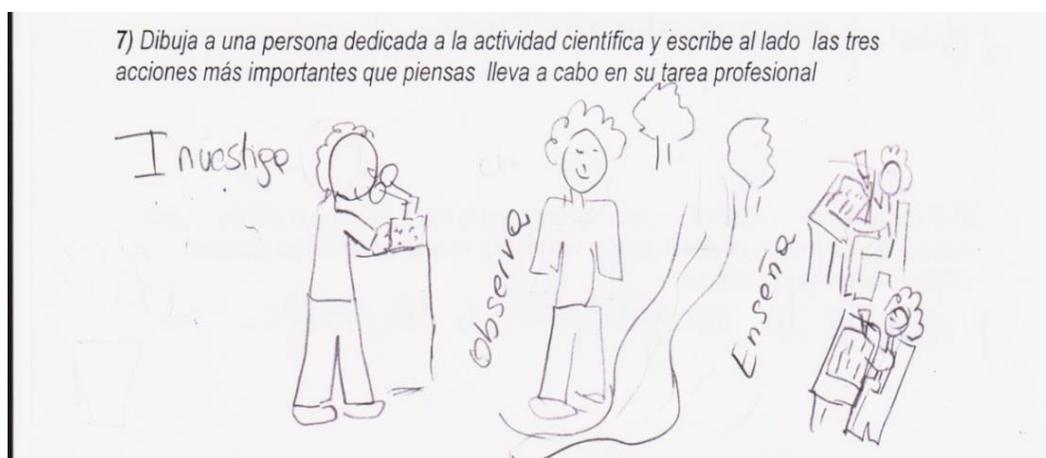


Gráfico 29: El lugar de la observación en las representaciones de los alumnos ingresantes al profesorado sobre la actividad científica.

El contraste que ofrecen las respuestas antes y después de la observación de video permite identificar un grupo de alumnos que modificó su opinión, y esto abre la posibilidad de comenzar a dar algunas discusiones metacientíficas iniciales. Quienes

sostuvieron su postura respecto del valor de la observación, quizás pensaron que la intención del profesor era que esa instancia fuese resolutoria para explicar el fenómeno y entonces, las respuestas, independientemente del aporte de la observación, fueron coherentes con el sentido que asumieron.

Por otra parte esta actividad, que fue diseñada desde una perspectiva metacientífica, sirvió para traccionar la modelización biológica del fenómeno, ya que significó un primer contraste para los alumnos que habían considerado a la presencia de poros en la membrana como una hipótesis viable, y les dio la posibilidad de comenzar a pensar el fenómeno desde la hipótesis de las sustancias.

2.11	<i>La observación no me resuelve el problema porque no veo lo que sucede en la membrana. Parece que no se buscan poros</i>
8.39	<i>No se parece. Vi que no se buscó un lugar exacto para que ingrese la micropipeta. Me da la sensación de tiene una estructura interna, que no permite que se rompa</i>
15.78	<i>No se parece. Al observar el video me pareció o imaginé al óvulo con otro aspecto, se notó como una forma gelatinosa, como un gel súper flexible</i>
5.26	<i>Lo que logro ver es que el óvulo es como una célula que al romperla o ingresar la pipeta no causa daño porque se vuelve a unir. Como si fuera una gota de aceite o un vaso de agua siempre vuelve a su forma.</i>

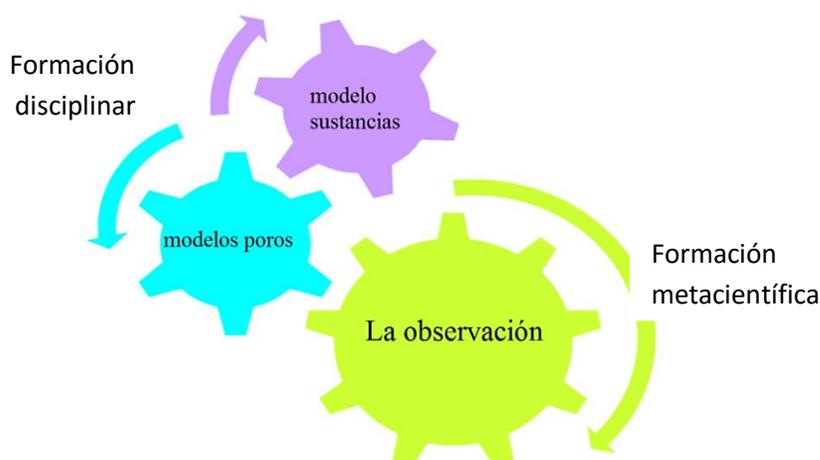
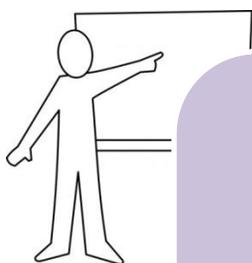


Gráfico 30: Relaciones entre la modelización disciplinar y metacientífica.

En el cierre de las actividades se generó con el grupo de clase un debate respecto de lo que había ocurrido. De los diversos aportes de los alumnos, se elaboraron dos ideas que fueron devueltas al grupo clase a modo de preguntas para seguir pensando a futuro en el ámbito de la materia:

- ¿Hubiese sido lo mismo pasar el video antes o después de haber respondido la Actividad 1? ¿Por qué? Respecto de esto, algunos alumnos manifestaron que hubiese sido igual ya que no les ayudó a resolver el problema, pero a otros les dio indicios para descartar, por ejemplo, la hipótesis de los poros.
- ¿Si hubiésemos tenido una filmación con un microscopio mucho más potente, se hubiese podido resolver el problema o no? ¿Por qué? Las opiniones que los alumnos manifestaron en la discusión del grupo clase, mayoritariamente coincidían en afirmar que a mayor resolución más posibilidades tendrían de poder explicar, lo cual también constituiría un núcleo de controversia epistemológica.

Así, y en función del objetivo de esta intervención, orientada sólo a abrir en la materia un ámbito de problematización inicial sobre el lugar de la observación en el conocimiento, el docente investigador dejó planteado al grupo de la clase que:



- La observación ocupa un lugar central en las representaciones que la gente tiene sobre cómo se elabora el conocimiento científico y se asocia observar = descubrir
- En nuestro problema, observar al microscopio el fenómeno en cuestión no ha proporcionado la resolución completa, no hemos “descubierto” por qué no se rompe el óvulo, pero sí ha servido, por ejemplo, para afirmar o reconsiderar algunas ideas iniciales
- Así, la observación aparece como una actividad que permitiría de algún modo evaluar, poner en valor ciertas ideas que ya tenemos sobre un fenómeno

Para el cierre, se hizo explícito que uno de los desafíos de la materia Biología Celular, además de aprender modelos biológicos, será iniciarnos en ideas que nos permitan comenzar a comprender ¿qué es la ciencia? y ¿cómo funciona?

7.2 Actividades para la modelización intermedia

7.2.1 Parte A: Del trabajo inicial con los materiales a la producción de pompas

7.2.1.1 Un contexto material para pensar los modelos

Tal cuál se planteó en el diseño de la UD para el Estudio 2, uno de los objetivos consistía en lograr un proceso más desarrollado y denso de reelaboración de los modelos iniciales que el producido en el Estudio 1.

Luego del trabajo con los modelos iniciales y de una pausa de 10', se iniciaron los trabajos grupales de los alumnos y, a partir de aquí, el escenario de la clase cambió rotundamente. El armado de los grupos implicó cubrir prácticamente todos los espacios del aula, lo que dificultaba la circulación entre ellos. La aparición de un clima de diálogo permanente entre los integrantes junto al volumen alto de las voces, generaban una situación que en el diario del investigador fue referida como muy intensa, productiva y también, por momentos, un tanto caótica.

Durante una pausa, se colocaron sobre un escritorio al frente del aula, una serie de materiales: recipientes de plástico, gelatina preparada, agua, aceite, globos, detergente, pelotitas de telgopor, sorbetes, pipetas.



Gráfico 31: Foto del inicio del trabajo de los alumnos con los materiales concretos.

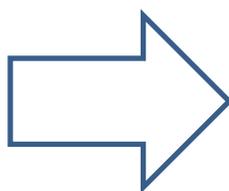
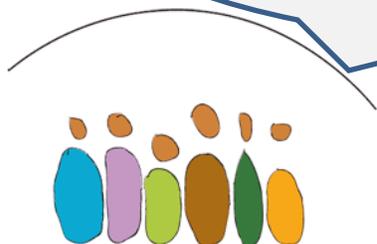
Los integrantes de cada uno de los grupos compartieron durante 15 minutos sus gráficos y sus ideas iniciales respecto del fenómeno analizado. La consigna de la actividad 3 los implicó en la necesidad de contrastar las hipótesis iniciales, referidas a sustancias, con diferentes materiales concretos. El trabajo al interior de los grupos fue intenso y las intervenciones del docente investigador y la auxiliar docente, animaban a que todos los integrantes presentaran sus hipótesis y las justificaran. Luego de la confrontación de las hipótesis con los materiales y la reelaboración de ideas, cada grupo debían mostrar un sistema material que cumpliera con las condiciones que implicaba el fenómeno.

A continuación se presenta una sistematización que da cuenta de los modelos iniciales la contrastación y la elección de un soporte material para explicar el fenómeno, en cada uno de los grupos de la muestra.

Grupo 2

Modelos iniciales de cada alumno:

gelatina / poros / tamaño micropipeta - micropipeta
tiene sustancias afines - bicapa lipídica con agua en
su interior – agua - poros de la membrana
lipoproteica / tensión superficial entre las moléculas



Para representar el fenómeno, eligen:

**Detergente y agua.
Construyen pompas
y las manipulan**

Modelos intermedios 1: De los modelos iniciales a la confrontación con materiales. Grupo 2

En este grupo, la hipótesis de poros de la membrana fue prácticamente descartada con la observación del video. El trabajo con la gelatina fue eliminado al ver los resultados de otros grupos que observaban que no se reestablecía, sellando completamente el espacio que dejó la introducción de un objeto como se pensaba. Un integrante estableció una

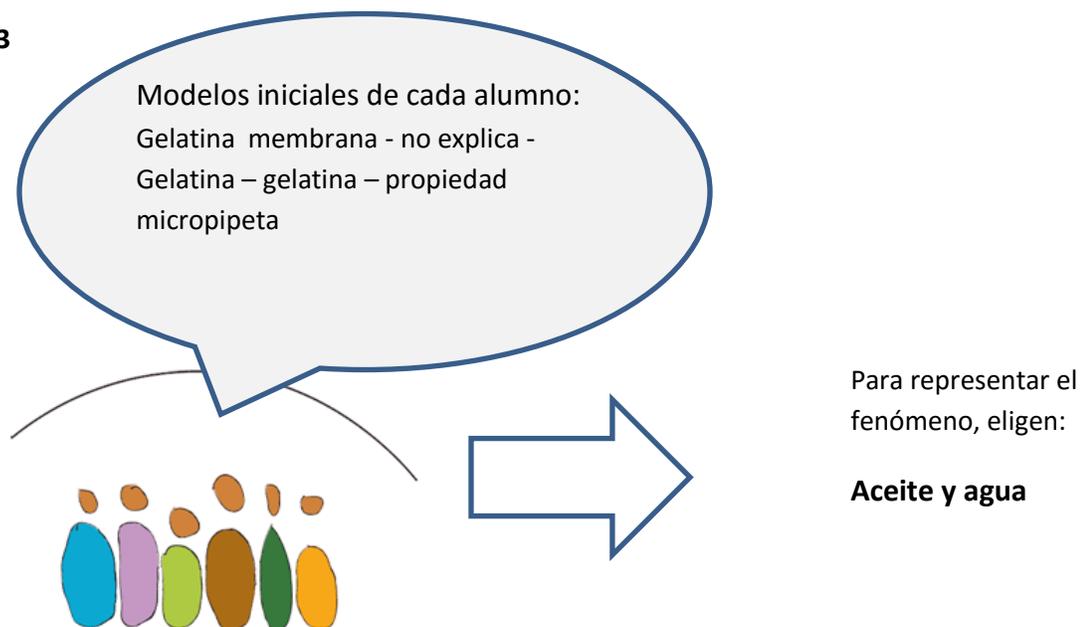
relación entre detergentes y lípidos y consideraron que el agua debía estar también, por sus propiedades de dejar ingresar objetos y luego volver al mismo estado. A partir de esto A 2.7 consideró oportuno trabajar haciendo pompas (es importante destacar que esto aconteció antes de la consigna de la Actividad 4, que las proponía como objeto de análisis).



“2.7 Detergente y agua. Hicimos una burbuja, luego la penetramos con una bombilla y le colocamos un papel en el interior”

Gráfico 32: Foto de alumna del Grupo 2, manipulando una pompa de jabón

Grupo 3



Modelos intermedios 2: De los modelos iniciales a la confrontación con materiales. Grupo 3.

En el grupo 3, si bien al principio manifestaron que *“Los materiales con los que podemos ejemplificar son la gelatina y el aceite. Porque la gelatina es más similar a los que vimos en el video. Gelatina y aceite”*, el contacto con los materiales los llevó a centrarse en el aceite

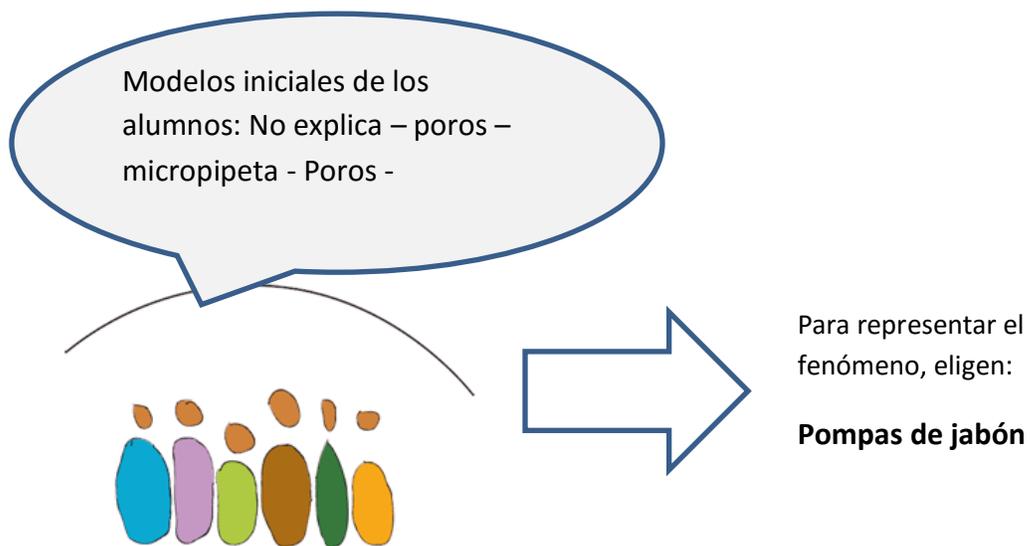
y el agua y utilizar la gelatina para representar un espermatozoide que ingresa al óvulo (aceite).



En la interacción con los materiales, utilizan aceite y agua y diseñan un sistema que les permite recrear el ingreso de la micropipeta a un óvulo.

Gráfico 33: Foto de alumna del Grupo 3 representando el ingreso de la micropipeta en un sistema aceite agua.

Grupo 5



Modelos intermedios 3: De los modelos iniciales a la confrontación con materiales. Grupo 5.

La observación del video hizo rediscutir y dejar de considerar el modelo de poros. Al observar los materiales pensaron en un primer momento que la gelatina podría utilizarse.

Diálogo en el grupo:

- 5.24 *Sería como la gelatina, cuando lo volvés a sacar queda como estaba antes*
- 5.26 - *Yo pienso que es algo más duro que una gelatina, en el video se ve que costó pincharlo*
- 5.23 *la gelatina es lo más parecido que encontramos para compararlo, pero...*
- 5.25 *Ella (por 5.23) también decía que las burbujas de detergente, cuando uno empapa otro elemento con detergente, se puede pinchar la pompa y no se rompe. Vamos a hacer la prueba*

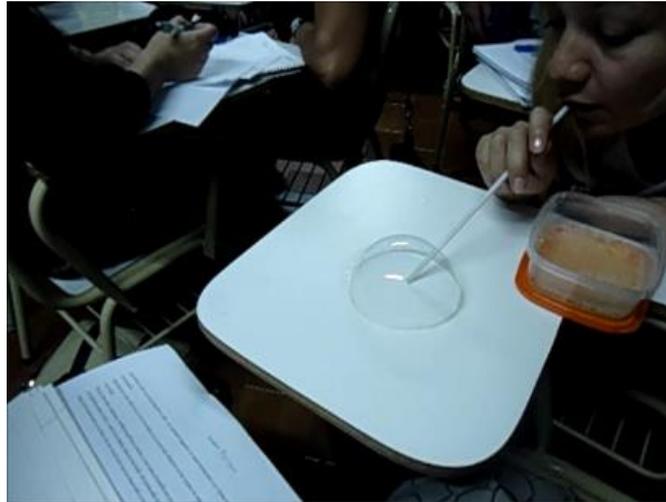


Gráfico 34: Foto alumna del Grupo 5 manipulando una pompa de jabón.

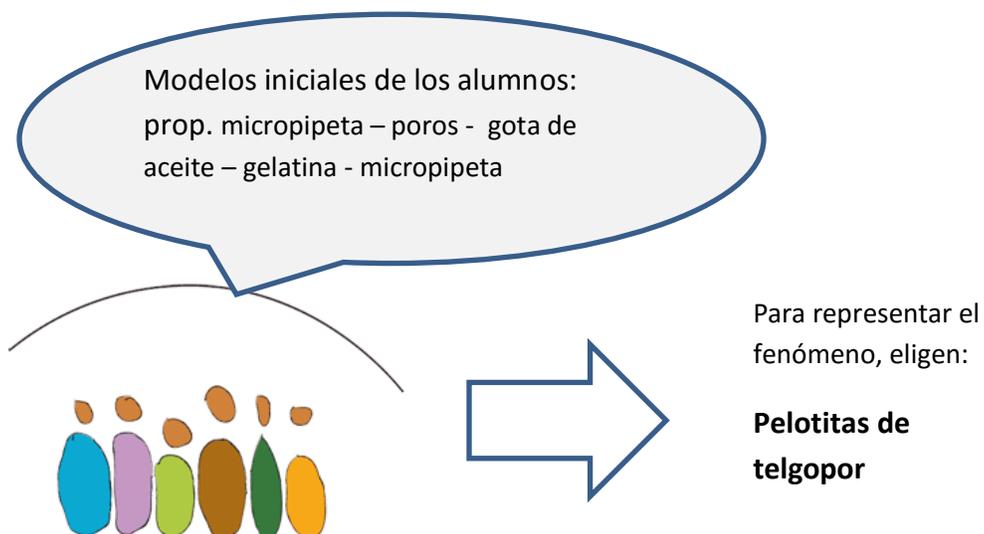
Grupo 6



Modelos intermedios 4: De los modelos iniciales a la confrontación con materiales. Grupo 6.

El trabajo con los materiales se orienta a probar con la gelatina. El modelo de lípidos propuesto por 6.29, sugiere trabajar también con aceite. Llevan a cabo pruebas simples de introducir y sacar una pipeta en una gota de aceite en agua.

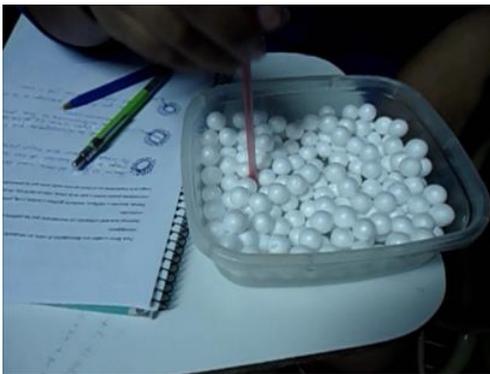
Grupo 8



Modelos intermedios 5: De los modelos iniciales a la confrontación con materiales. Grupo 8.

El modelo de poros quedó descartado luego de la observación del video. 8b *“Mi idea era que la célula está rodeada de una membrana que es permeable y a través de ciertos canales muy chiquititos yo imaginé que podía atravesar la micropipeta pero al ver el video vi que no se buscó un lugar exacto así que mi hipótesis de los puentecitos...”*.

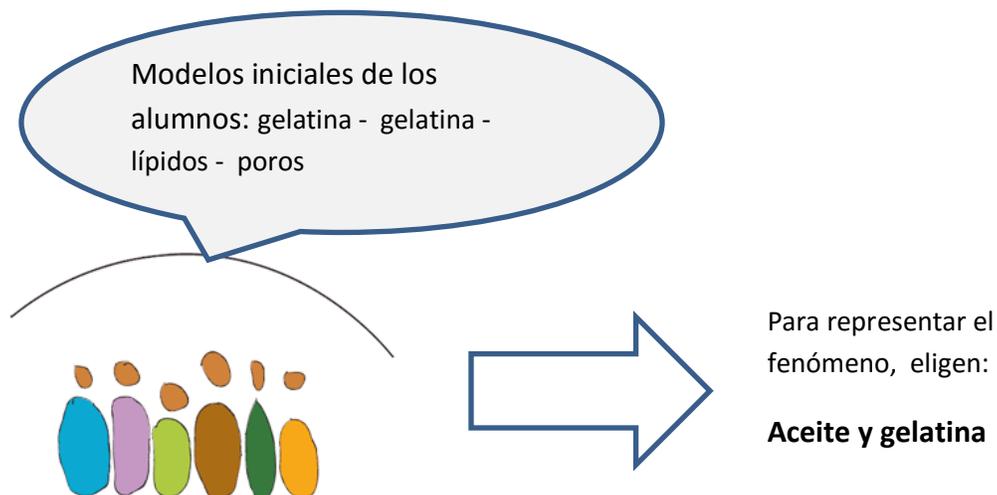
La exploración con la gelatina hace descartarla por no obtener buenos resultados. Las alumnas que sostenían las hipótesis de la micropipeta no hacen propuestas y adhieren al trabajo de las compañeras. Prueban con aceite y lo consideran apropiado pero no lo pueden contener en una forma estable, entonces se propone la idea de trabajar con las pelotitas de telgopor.



Las alumnas del grupo 8, utilizan una cubierta de pelotitas de telgopor sobre agua. Al introducir el sorbete las pelotitas se desplazan y, al sacarlo, rápidamente vuelven a su lugar cerrando el espacio.

Gráfico 35: Foto de alumna del Grupo 8, utiliza pelotitas de telgopor.

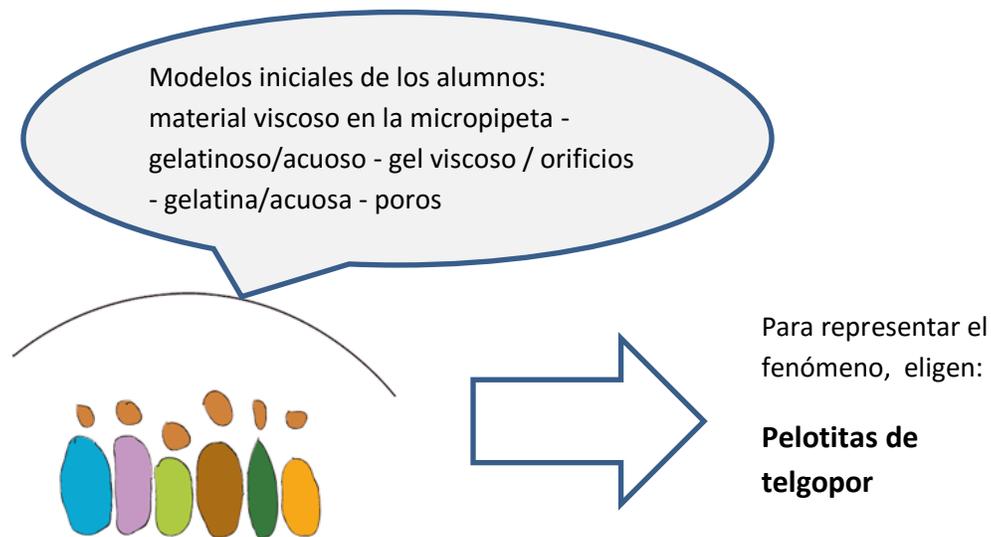
Grupo 9



Modelos intermedios 6: De los modelos iniciales a la confrontación con materiales. Grupo 9.

Llegamos a la conclusión por lo expuesto en el grupo que la capa está formada en comparación con los materiales que nos dio por: en su primera capa por gelatina y en su capa más externa por aceite. 9.46 había propuesto un modelo lipídico y se refiere a él como un límite grasoso. La gelatina recubriría el núcleo del óvulo y el aceite permite el paso de la micropipeta. El trabajo con los materiales fue mínimo.

Grupo 15



Modelos intermedios 7: De los modelos iniciales a la confrontación con materiales. Grupo 15.

El modelo de agujeritos se vio contrastado en la actividad de observación del video. Exploran con la gelatina pero consideran más apropiado utilizar las pelotitas de telgopor para representar "la pared celular".

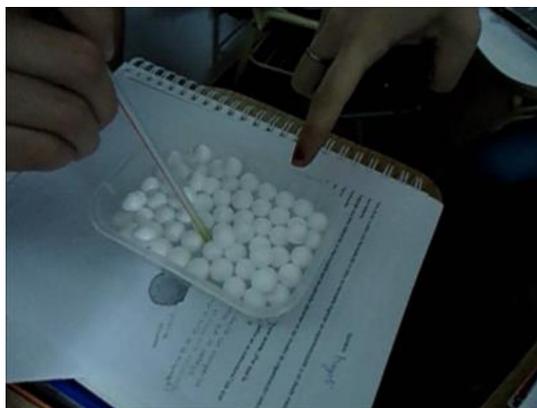


Gráfico 36: Foto de alumnas del grupo 15 que exploran posibilidades de representar el fenómeno con pelotitas de telgopor.

7.2.1.2 El foco puesto en las pompas de jabón. El trabajo con materiales y la construcción de modelos materiales analógicos

Si bien la consigna para trabajar con las pompas ya estaba planteada de antemano, en el desarrollo de la clase se decidió tomar como referencia explícita lo que habían llevado a cabo G2 y G5 y extenderlo ahora al resto de los alumnos.

Debido a la cantidad de grupos de trabajo, la mayoría de ellos no se había enterado de lo que habían podido lograr los alumnos de G2 y G5, por lo tanto la propuesta significó una novedad.

La tarea mostró a los alumnos con un gran interés. Luego de lograr las primeras pompas, rápidamente se extendió entre los demás grupos la posibilidad que algunos habían logrado respecto a dejarlas “fijas” sobre la mesita del pupitre. En breves minutos todos habían logrado hacer las pompas e intervenirlas mecánicamente con los sorbetes y las pipetas. Por ejemplo, introducían el sorbete y lograban desplazarlo por toda la superficie de la pompa. Al observar este comportamiento fluido, eran frecuentes las exclamaciones ¿¡Por qué no se rompe?! ¡¿Cómo es?! Algunos comenzaron a utilizar pedacitos de papel chiquitos o pequeñísimas porciones de gelatina y una vez, el sorbete estaba dentro de la pompa, los introducían por el orificio del sorbete y los depositaban dentro, asemejando el ingreso del espermatozoide. Luego se les dio la consigna de producir textos en cada uno

de los grupos explicando el comportamiento de las pompas y las diferencias con los otros materiales.

La tarea de compartir, confrontar y revisar los modelos iniciales, permitió reorientarlos hacia sustancias más afines a la estructura de la membrana celular, las que en un nivel macroscópico se comportan de manera similar.

Pon cada uno de los sistemas materiales seleccionados, los alumnos pudieron dar cuenta del ingreso de un sorbete o pipeta de vidrio y su extracción y que el sistema se autosellara. Las expectativas del docente investigador no preveían el desarrollo de sistemas en 3D como los alcanzados en esta etapa, sino que, tal cual estaba previsto en el diseño de la UD del Estudio 2, ese nuevo estado se alcanzaría a partir de la Actividad 4, centrada alrededor del trabajo con pompas de jabón.

Del análisis es posible proponer que hay un gradiente de complejización en las explicaciones, de sistemas 2D a 3D y esto daría cuenta de las preocupaciones de los alumnos por lograr qué, además del autosellado por la fluidez de las sustancias, se logaran estructuras estables para la operación de introducir y sacar objetos a semejanza de la micropipeta y el óvulo.

El uso de las pelotitas de telgopor creemos que conlleva una diferencia con las otras dos opciones, ya que, en las explicaciones que utilizan aceite o pompas de jabón, existe una relación con una sustancia probable de la membrana, en cambio, con las pelotitas, la analogía con la membrana celular aparecería como más estructural ligada a unidades que se desplazan y luego se autosellan. Pero es interesante advertir que, el autosellado que llevan a cabo las pelotitas, se debe a la tensión superficial del agua sobre la que están colocados, que, en cierto modo es análogo al comportamiento de los lípidos en agua, los cuáles disponen sus ácidos grados en contacto, evitando el agua y los grupos carboxilos en contacto con esta.

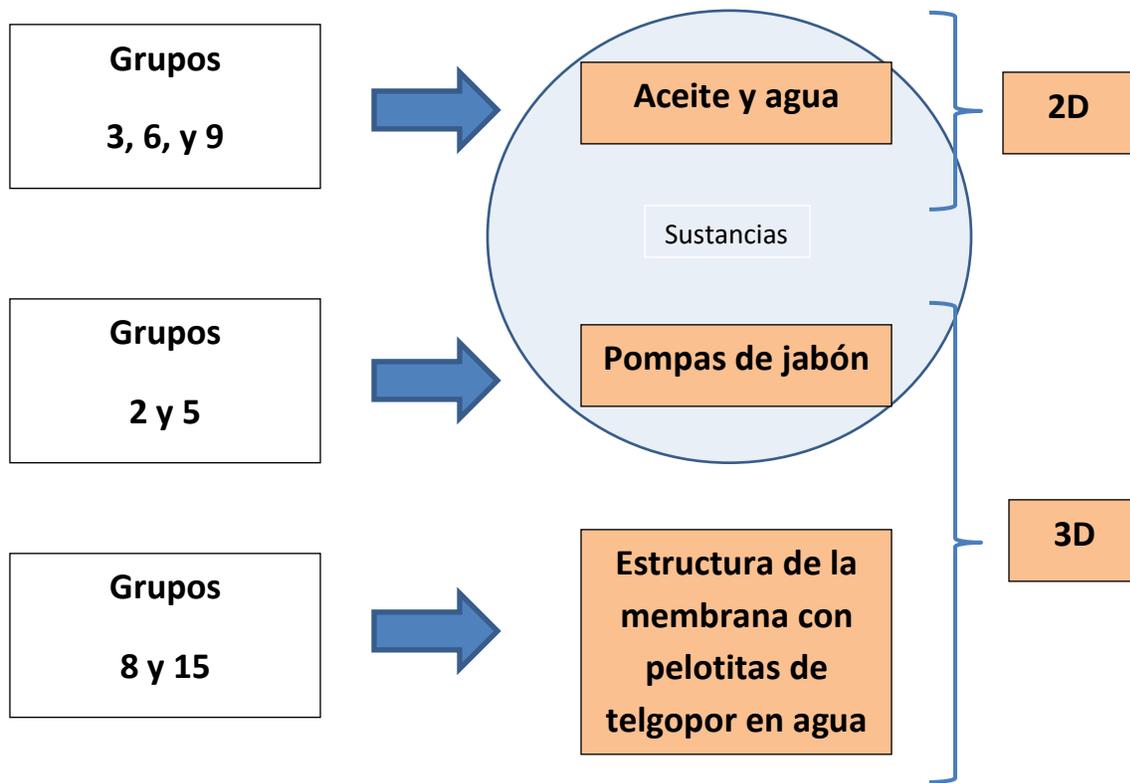


Gráfico 37: Comparaciones entre los materiales seleccionados y el tipo de estructura logrado.

Los aspectos que se suman con el trabajo llevado a cabo con las pompas en la Actividad 4, en el proceso de modelización intermedia, han sido destacados con negritas en los textos producidos por los alumnos y tienen que ver con: la recuperación de la tarea realizada antes, la comparación con las sustancias con las que no obtuvieron esos resultados, la vinculación con sustancias utilizadas como los aceites y la identificación de nuevas propiedades como la estabilidad y el autosellado, expresado como: *“permite que la capa se separe y se vuelva a unir”*.

Grupos	<i>Textos explicativos sobre comportamiento de las pompas</i>
G2	<i>El jabón se hace en base de grasa, tienen carga, permite que la capa se</i>

	<i>separe y se vuelva a unir.</i>
G3	<i>La relación que podemos establecer es que pudimos introducir la micropipeta a la pompa de jabón sin romperse esta última. Este experimento se asemeja a lo que ocurre en la fecundación asistida. La diferencia que encontramos es que cuando introducimos la pajita en la gelatina esta se desarmó.</i>
G5	<i>Creemos que está formada por lípidos lo que hace que esto sea flexible, que mantenga su forma y que sea estable aunque ingrese la pipeta</i>
G6	<i>La pompa de jabón es más resistente flexible y más estable, tiene una estructura propia. La pompa se relaciona con el aceite tienen, propiedades similares y ambas funcionan, con la diferencia que las pompas tienen estructura propia</i>
G8	<i>Se puede observar en tres dimensiones, el detergente junto con el agua hace que la estructura sea elástica y permeable, permitiendo el ingreso de la micropipeta</i>
G9	<i>Se establece alguna relación con el fenómeno de la introducción de la micropipeta en la célula porque al introducir la pajita en la pompa ésta no se rompió, permitiendo simular la fecundación in vitro. La pompa de jabón es más flexible y representa cómo se comporta el óvulo en el video. Tiene forma propia</i>
G15	<i>La pompa permite que al introducir un sorbete no se rompa. La pared de la pompa es elástica, flexible y permite que al entrar el sorbete no se rompa</i>

Gráfico 38: Cuadro descripciones por grupo del comportamiento de las pompas.

Los alumnos, en esta primera etapa de modelización intermedia, trabajaron intensamente y lograron estabilizar un sistema material, en tres dimensiones, que les permitió realizar una analogía significativa entre la manipulación de la pompa de jabón y el fenómeno de introducción de la pipeta en un óvulo. Si bien términos como, flexible y elástico no sean del todo apropiados, están próximos a la idea de fluidez y autoensamblaje del sistema. Al finalizar el trabajo, Los diferentes grupos expusieron el contenido de los textos que habían elaborado y se analizaron los procesos que hicieron en relación con los diferentes

materiales utilizados. Se puntualizó la importancia de haber conseguido un sistema material estable y con las propiedades necesarias. Además, el conocimiento que se aportó respecto de la naturaleza grasa de la pompa en las presentaciones, les permitió a los alumnos que habían caracterizado inicialmente a la membrana celular del óvulo como una estructura formada por lípidos (2c, 2e, 5b), establecer una relación positiva y hacer operativo el conocimiento escolar que poseían.

7.2.2 Parte B: De las pompas al modelo de fluidez y autoensamblaje de sus moléculas

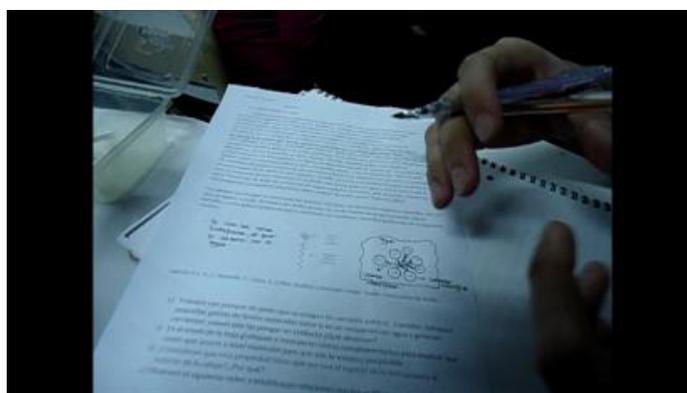


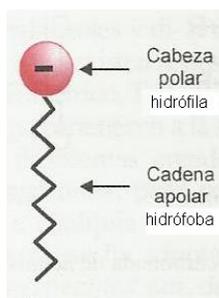
Gráfico 39: Foto de alumna del grupo 5 que trabaja en la modelización gráfica de gotitas de aceite

Las actividades de modelización intermedia sobre la idea clave de fluidez y autoensamblaje tuvieron como objetivo oficial de interfase entre el modelo pompa de jabón extendido al fenómeno del ingreso de la micropipeta al óvulo y el modelo científico de mosaico fluido estructurado a partir de una bicapa lipídica, esto es, comenzar a descifrar el comportamiento químico de la pompa y extenderlo al de la membrana con la intención de explicar fluidez y autoensamblaje

7.2.2.1 Las pompas fluidas de Quincke. Un modelo químico para el ensamblaje de sistemas lipídicos en el aula

A cada uno de los grupos se les entregaron copias con el texto que da cuenta del episodio de fines del siglo XX, cuando Quincke estableció una comparación entre la membrana de

la célula, aún no definitivamente aceptada como estructura celular en ese momento, y una pompa de jabón (ver el texto en Diseño Estudio 2). En el texto, Quincke afirma la naturaleza lipídica de la membrana y al finalizar el mismo, se presenta a los alumnos, un modelo químico de lípido.



Luego de la lectura que efectuó cada uno de los grupos del material propuesto, se llevó a cabo una puesta en común con el grupo clase para orientar el trabajo a desarrollar. Se recuperó la experiencia con las pompas de jabón y se puntualizaron las propiedades encontradas, las que permitieron intervenirlas con un sorbete y que no se rompieran.

Se explicó que la idea consistía en aplicar el modelo químico de lípido que aportó Quincke en su analogía, para modelizar las propiedades de la pompa llevando a cabo gráficos y textos explicativos.

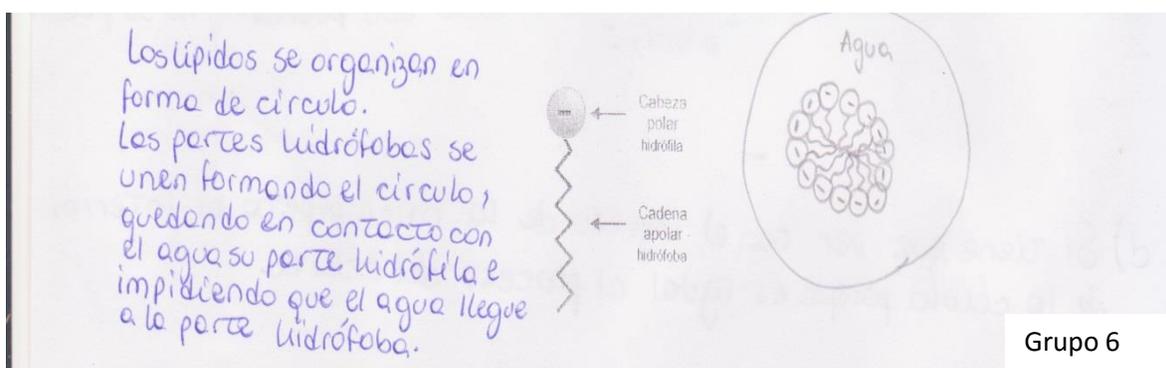
Aquí se identificó un obstáculo importante en el proceso de modelización que se solicitaba a los alumnos, fue el primer momento desde el inicio de la UD, en que se produjo una desconexión entre la solicitud a partir de la consigna y la capacidad de dar respuesta por parte de los alumnos.

Si bien la manipulación de la pompa había sido exitosa, en tanto y en cuanto daba cuenta de la propiedad de ir autosellando cada lugar por dónde se introducía una pipeta, la totalidad de los grupos no encontraba sentido a la conexión: propiedad macroscópica de autosellado de la pompa—representación gráfica del comportamiento utilizando el modelo de molécula, que se les solicitaba en la actividad.

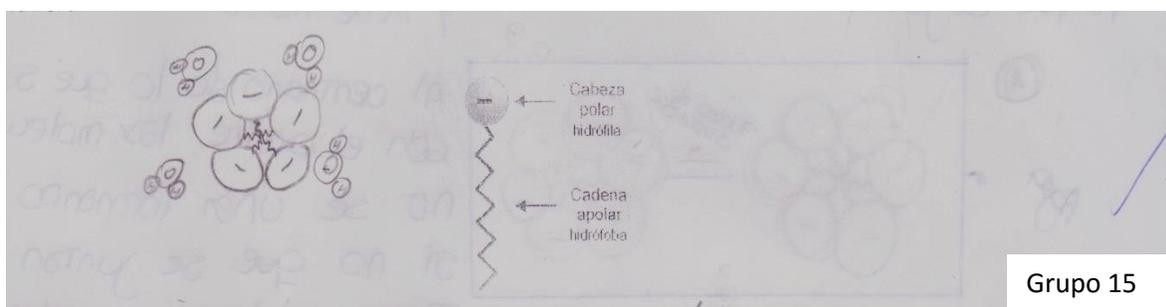
Los integrantes de los grupos manifestaban que no entendían qué debían hacer, y el docente investigador comprendió que se requería de una actividad puntual para que sirviera de andamiaje al trabajo que se pedía. Así, y para tratar de superar esta situación,

se consideró oportuno pedirle a los alumnos que, teniendo en cuenta que las moléculas que componen a la pompa tienen una parte hidrófoba y otra hidrófila, imaginaran que colocaban algunas de esas moléculas en un recipiente con agua y que graficaran que les ocurriría, cómo se dispondrían, en función de sus zonas hidrófobas e hidrófilas. Así, el sentido de la actividad dispuesta en el momento de la clase, fue el de ofrecer un paso intermedio que colaborara con el proceso de modelización.

De a poco, los alumnos de los diferentes grupos, fueron resolviendo este aspecto básico del comportamiento de los lípidos en agua, que es en realidad, la formación espontánea de micelas, y que era básico para avanzar en la idea de autoensamblaje de lípidos.

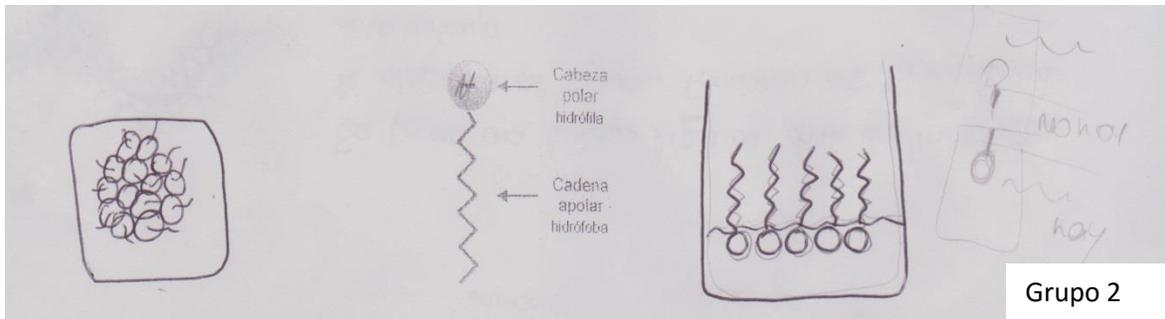


Modelos intermedios 8: Disposición de lípidos en agua. Grupo 6.



Modelos intermedios 9: Disposición de lípidos en agua. Grupo 6.

El grupo 2, luego de las discusiones, planteó una disposición diferente del comportamiento de los lípidos, incorporando la interfase con el aire, la cual sería luego útil para luego poder modelizar la estructura de la pompa de jabón.



Modelos intermedios 10: Disposición de lípidos en agua. Grupo 6.

Luego de la consigna anterior, se realizó una puesta en común en la clase, en la cual se compartieron algunas producciones de los grupos.

En ese momento se continuó con el itinerario didáctico y se les pidió que, teniendo en cuenta esos modelos gráficos que habían producido, colocaran pequeñas gotitas de lípidos separadas entre sí en un recipiente con agua y generaran corrientes suaves que las pusieran en contacto y que trabajaran también con pompas de jabón poniéndolas en contacto entre sí. La consigna consistía en que graficaran e incorporaran textos complementarios para explicar qué ocurría, a nivel molecular, para que, lo que observaran fuera posible.

Esta propuesta fue quizás tan movilizadora como la de producir pompas de jabón e intervenirlas con las pipetas. Se pudo registrar que un hecho común, como la presencia de dos o más gotas de aceite en agua que se unen entre sí, igual que dos o más pompas de jabón montadas sobre la mesa, puestos en el contexto de la modelización, implicaron a los alumnos en pruebas y discusiones intensas e interesantes.

Aquí, la aplicación del modelo de micelas construido antes no fue inmediata y se trabajó con cada uno de los grupos en la conexión entre ese modelo de disposición de los lípidos en el agua y el fenómeno de unión de gotas de aceite y de pompas de jabón.

7.2.2.2 Ideas en G8. Un ejemplo de desarrollo del proceso

Los modelos iniciales que las integrantes del grupo 8 habían explicitado al inicio de la UD, explicaban a partir de: 8.38 propiedades de la micropipeta – 8.39 presencia de poros –

8.40 como una gota de aceite – 8.41 como gelatina – 8.42 micropipeta del tamaño del espermatozoide. Seleccionamos este caso en función de que, en este grupo, ningún integrante explicitó tener conocimientos iniciales sobre la estructura de bicapa lipídica de la membrana. Si bien una de las integrantes había realizado una analogía con una gota de aceite, su elección no fue explicada a nivel molecular.

Al inicio de la actividad, los alumnos colocaron gotitas de aceite en una en una cápsula de Petri y observaron que se separaban y volvían a juntar haciendo corrientes de agua con una lapicera.

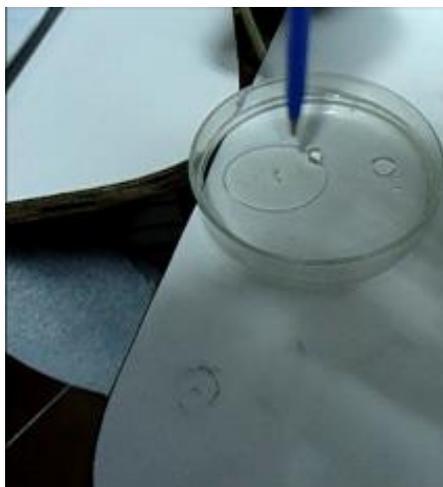


Gráfico 40: Foto de alumno que ensambla gotitas de aceite en agua.

Al llegar el Profesor (P) están discutiendo:

8.40: *ves, se unen, mirá,*

8.38: *sí, queda la parte ...*

8.40: *se une la parte polar, hidrofílica*

8.38: *queda la hidrófila del lado de afuera...*

P: *Bien, la tarea que tenemos que hacer entonces es representar y explicar cómo y por qué ocurre esto que estamos observando, utilizando la herramienta que tenemos... qué es...*

8.39 *la estructura de lípidos...*

P. *Sí*

Se hace un silencio. Las alumnas parece que no entienden lo que deben hacer. Luego, 8.40 propone:

8.40 *A ver... como que hace así, por ejemplo... yo lo representaría en un papel, como que está la gotita que habíamos armado (se refiere a la micela de la actividad anterior)*

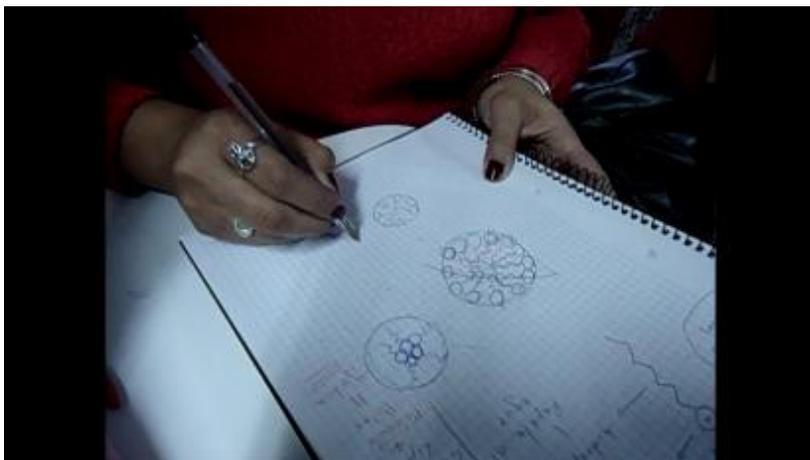


Gráfico 41: Foto de alumna del Grupo 8 modelizando gotitas de aceite en agua.

y cuando viene otra gotita con las mismas cargas estos pasan a ser parte de la pared, pasan y se unen todos... no sé si se entendió ... o sea, éste, es como que se abre, así ...



Gráfico 42: Foto de alumna del Grupo 8 continua modelización de la unión de gotitas

P; ok, pensemos ahora en las uniones entre los lípidos, ¿cómo se las imaginan...?

Se hace un silencio de nuevo, mientras 8.41 une y separa gotitas de aceite con la lapicera

8.41: *¡Débiles, los enlaces son débiles ¡!*

8.42: *Mirá, podés separarlos con un mínimo esfuerzo ¡! (arma y desarma gotas en la cápsula de Petri*

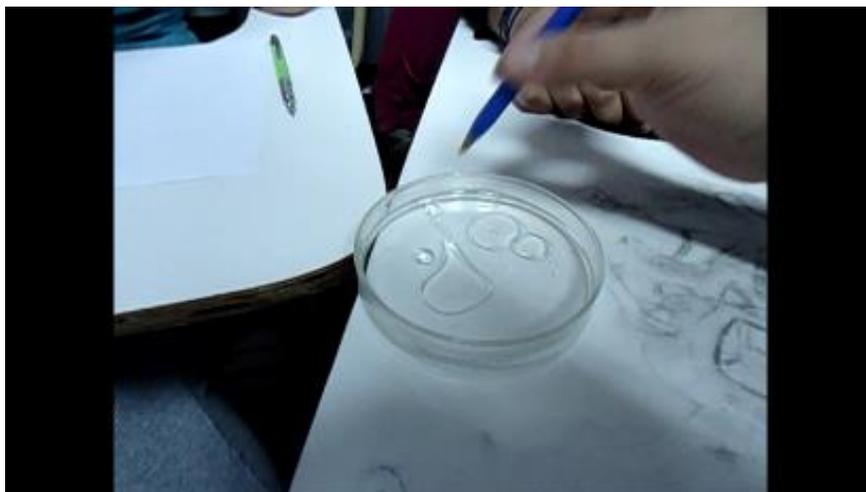


Gráfico 43: Foto de alumna del Grupo 8 mientras discuten la modelización gráfica y observan el fenómeno

8.41: *y luego se unen de la misma manera, porque tienen fuerzas de atracción*

Cómo los enlaces son débiles se pueden organizar y formar una sola

8.39: *ahhhh ¡! Ya sé...*

(recupera el gráfico que realizaron sobre disposición de lípidos en agua formando micelas)

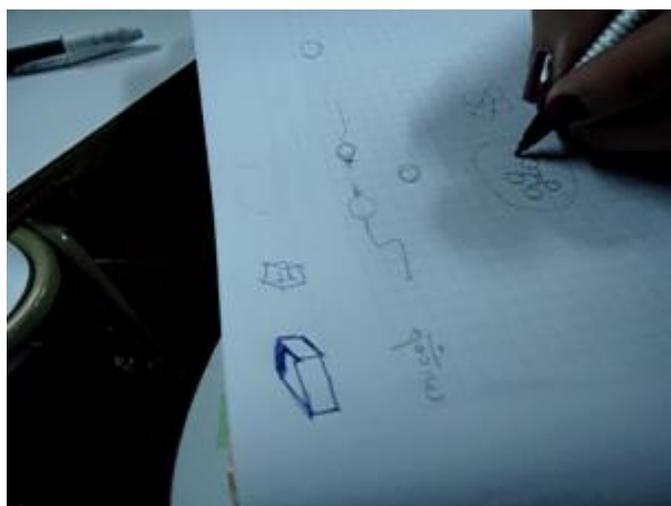


Gráfico 44: Foto alumna del Grupo 8 continua con la modelización de unión de gotitas de aceite

A: *esta es una y se va a poner en contacto con otra...*

P: *Lo que deberíamos es explicar cómo se juntan...*

A: *Porque se juntan las cabecitas ...*

A3: *se unen entre sí y es como que se rejuntan*

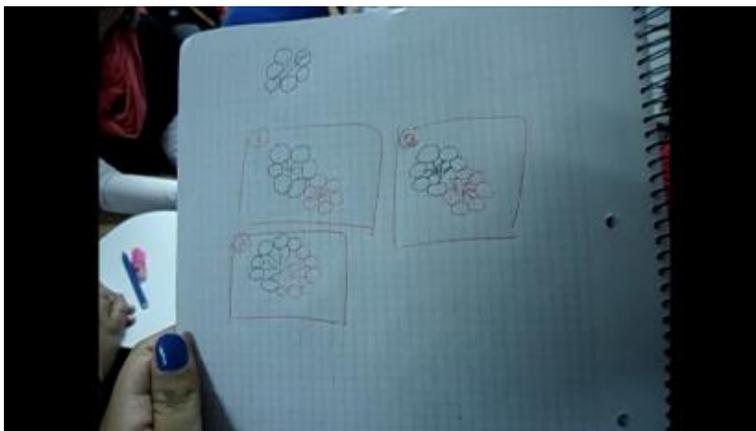


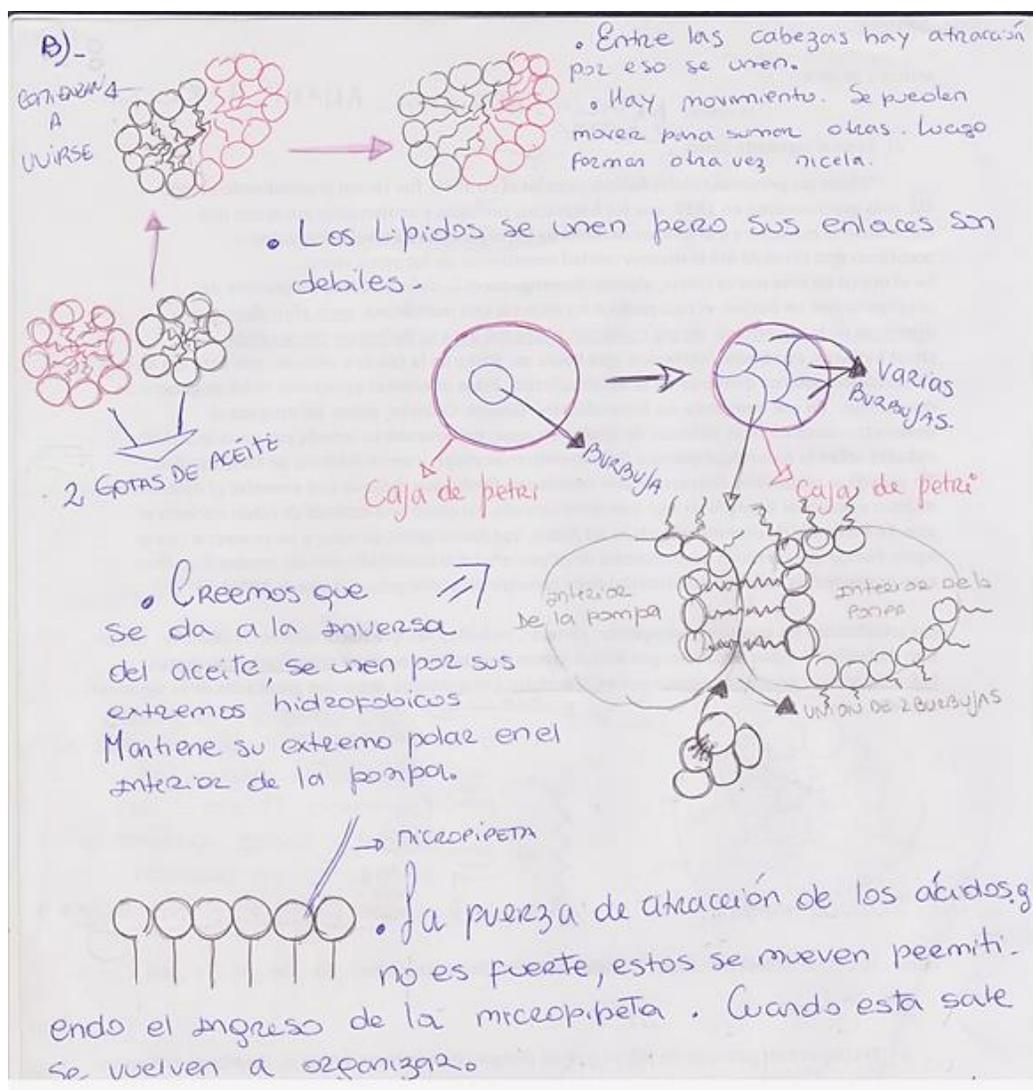
Gráfico 45: Foto de alumna del Grupo 8 resuelven la modelización gráfica de la unión de gotitas de aceite.

Luego de haber resuelto el modelo que explicaba la unión de gotitas de aceite, abordaron el problema de la unión de las pompas de jabón. Luego de varias pruebas y discusiones, repararon que debían considerar el aire como otro elemento presente en estas estructuras.



Gráfico 46: Alumnas del grupo 8 trabajan sobre la unión de pompas de jabón.

La producción gráfica que el Grupo 8 entregó al finalizar el trabajo da cuenta de elementos de interés en el proceso de modelización. Se presentan las secuencias de los fenómenos de unión de gotitas de aceite y de las pompas, esto es, al inicio y el final del proceso. Al modelizar las pompas, en la parte en la que no se han unido, colocaron de manera razonable a los lípidos, esto es, con la colitas hidrofóbicas en contacto con el aire, pero luego, al modelizar la unión, las dispusieron en contacto con el agua. Recuperaron el problema inicial de la UD, y lo resolvieron mediante un gráfico que explica el ingreso de la micropipeta sin que se dañe la membrana.

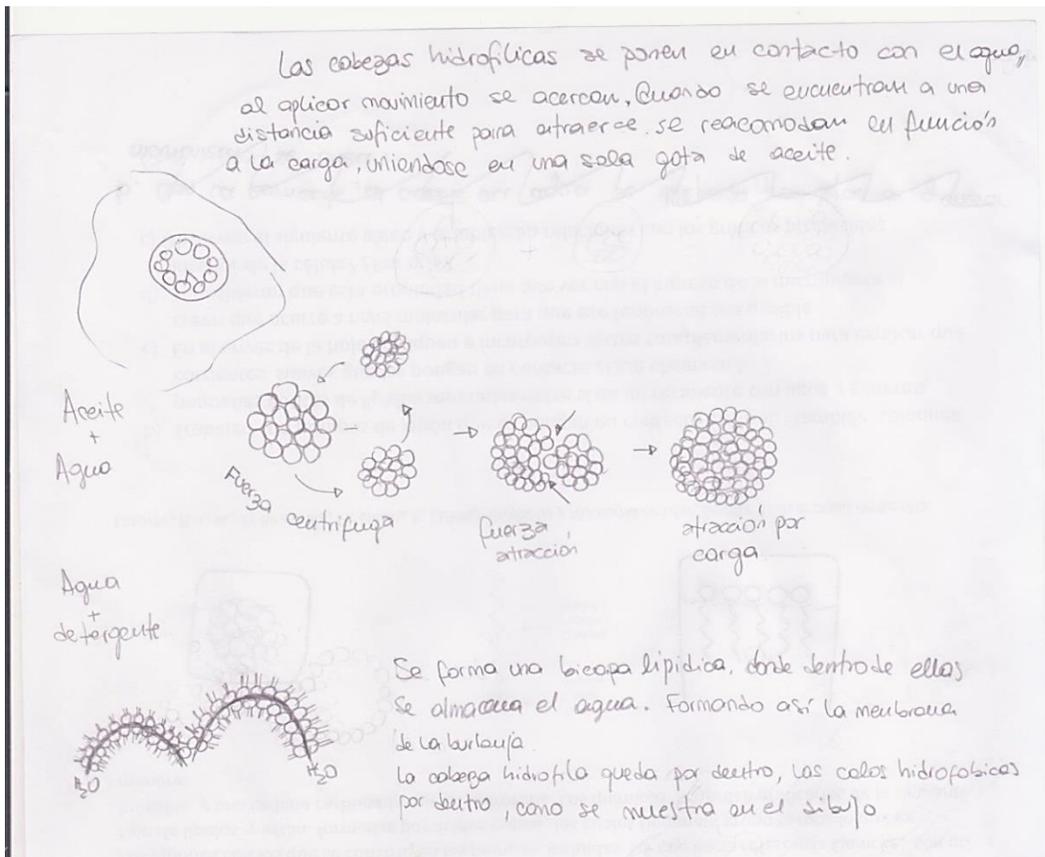


Modelos intermedios 11: Producción de gráficos y textos del Grupo 8, que explican ensamblaje de gotitas de aceite y pompas de jabón.

7.2.2.3 Otros ejemplos

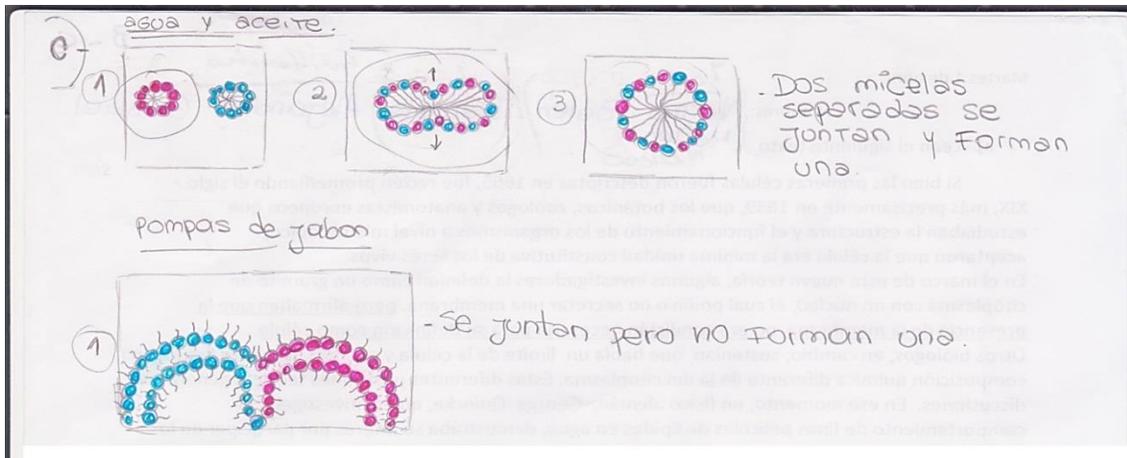
A continuación se presentan como ejemplos, las producciones de los Grupos 2, 3 y 15.

El G2 resolvió el modelo de pompa de jabón y graficaron lípidos con dos ácidos grasos, como lo había expresado uno de los alumnos en la explicitación de los modelos iniciales.



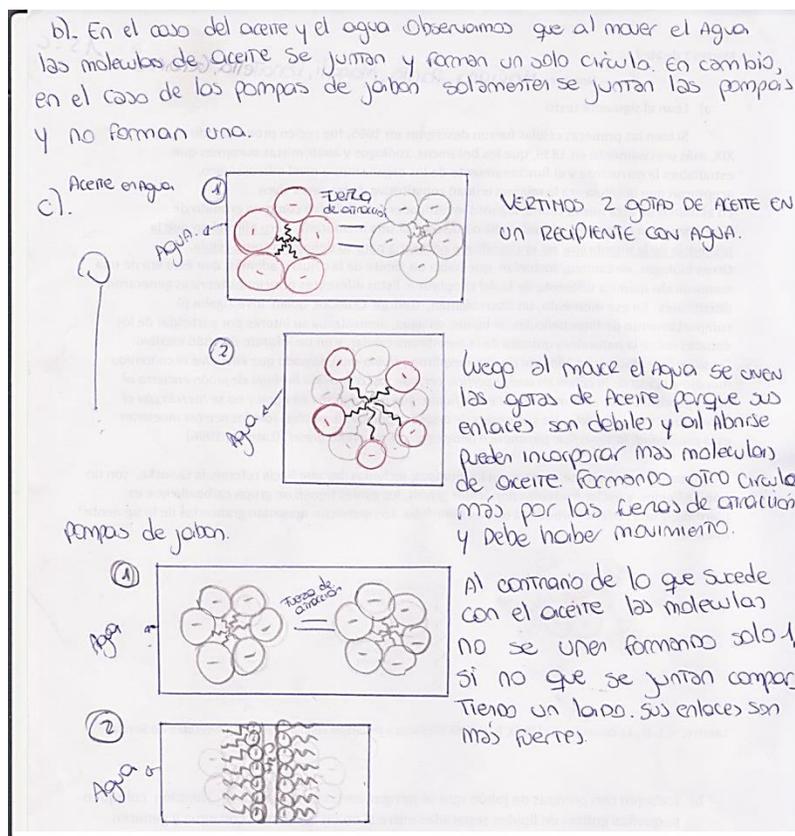
Modelos intermedios 12: Producción de gráficos y textos del Grupo 2, que explican ensamblaje de gotitas de aceite y pompas de jabón.

El G3, incorporó colores para dar cuenta de la mezcla de lípidos en la unión de las gotitas de aceite, y la diferencia que marcan con la unión de las pompas.



Modelos intermedios 13: Producción de gráficos y textos del Grupo 3, que explican ensamblaje de gotitas de aceite y pompas de jabón.

El G15, desarrolló el modelo de pompa de jabón, con la bicapa de lípidos y la interfase agua en el medio y aire en el exterior.



Modelos intermedios 14: Producción de gráficos y textos del Grupo 15, que explican ensamblaje de gotitas de aceite y pompas de jabón.

7.2.2.4 Gotas y pompas que se unen y moléculas que se mueven

El resto de los grupos logró resolver, no sin dificultades, la modelización de los fenómenos. En todos los casos se hicieron referencias a conceptos que ya pueden relacionarse con el fenómeno de fluidez de membrana y de autoensamblaje de los lípidos. Es de interés la comparación que puede establecerse entre: las explicaciones en el cuadro del Gráfico 38 - con la descripción de pompas y comparación con otras sustancias - y el cuadro del Gráfico 47, que presenta explicaciones sobre la unión de gotitas de aceite y pompas de jabón.

En la primera se describen los procesos a partir de las observaciones macroscópicas del comportamiento de las pompas, en cambio en la segunda ya aparecen descripciones teóricas a partir de los comportamientos atribuidos a las moléculas.

Grupos	<i>Textos explicativos sobre unión de gotitas de aceite y pompas</i>
G2	<i>Cuando se encuentran a una distancia suficiente se reacomodan, uniéndose en una sola gota de aceite</i>
G3	<i>Estas moléculas están en constante movimiento, no se encuentran posicionadas en un lugar fijo y en relación con el óvulo la micropipeta separa esas partículas momentáneamente y al retirar la micropipeta estas se vuelven a unir</i>
G5	<i>Las moléculas que componen las dos gotas se reorganizan para formar una sola, ya que las fuerzas de atracción entre ellas son débiles</i>
G6	<i>Las dos gotas se “abren” y así forman una gota únicamente ya que tienen uniones débiles. Tiene que ver con el ingreso de la micropipeta al interior de la célula porque es igual proceso del aceite</i>
G8	<i>Hay movimiento. Se pueden mover para sumar otras. La fuerza de atracción de los ácidos grasos no es fuerte, esto se mueven permitiendo el ingreso de la micropipeta. Cuando esta sale se vuelven a organizar</i>

G9	<i>Al ser una estructura flexible, las moléculas pueden unirse libremente sin ningún impedimento</i>
G15	<i>Luego al mover el agua se unen las gotas de aceite porque sus enlaces son débiles y al abrirse pueden incorporar más moléculas de aceite formando otro círculo más por las fuerzas de atracción y debe haber movimiento.</i>

Gráfico 47: Cuadro descripciones por grupo del fenómeno de autoensamblaje de lípidos

Moléculas que se mueven, se unen libremente, se vuelven a organizar, y a la vez están formando parte de una estructura, son aspectos básicos del modelo científico de mosaico fluido y en esta etapa los alumnos han desarrollado una modelización intermedia que apunta a su comprensión.

7.2.2.5 Una maqueta con fundamentos

En la actividad 6 se le pidió a los alumnos que representaran en una maqueta la estructura lipídica de la membrana del óvulo y que pudiera dar cuenta de las propiedades que habían modelizado antes. Las pelotitas de telgopor y alambres fueron rápidamente seleccionados por los alumnos para componer unidades de lípidos

Presentamos algunos ejemplos

El grupo 8 inició el trabajo con una visión radial de la membrana, disponiendo los lípidos sobre un núcleo.

Al ingresar la “micropipeta” (sorbete) repararon que no se volvían a unir las cabecitas.



Gráfico 48: Foto de alumna que explica una maqueta en el Grupo 8

8.1 ... ahhh. Pero no se representa bien... lo mejor es hacerlo con agua, en 3D, poner el agua y que se vea a trasluz, poner las pelotitas y hacer la membrana.

Las integrantes del Grupo 5, han armado varios lípidos con pelotitas de telgopor y alambrecitos.

5.2 Digamos, que estas (señala una bolitas de telgopor a las que han clavado un pequeño pedacito de alambre) sean como las moléculas de los lípidos, las cabecitas quedan juntas arriba y las colitas abajo

5.3 ahora, las colitas son hidrófobas y ahí están en agua...

5.4 Si, ella decía de ponerle una capa de aceite



Gráfico 49: Foto maqueta del Grupo 5

Esto cumple con las funciones porque si le ponemos la bombillita o algún elemento es como que se separa pero luego se vuelve a unir, tiene esa función digamos... de que es una unión débil... Pero a la vez se vuelve a juntar.

Los integrantes del Grupo 9 explican el trabajo que hicieron:

9.1 *Las pelotitas serían la parte hidrofílica y nosotros le pusimos en el medio una capa de aceite que es la parte lipídica, donde están las cola hidrofóbicas.*



Gráfico 50: Maqueta producida por el Grupo 9

9.2 al poner la micropipeta (colocan una birrome) no va a haber ninguna ruptura porque no es rígido, es flexible y se van a volver a unir porque las mismas moléculas de los lípidos tienen esa propiedad, que son débiles (sic) Como los lípidos se mueven, podemos hacer vibrar el táper!!



Gráfico 51: Representación de ingreso de una micropipeta en la maqueta del Grupo 9.

El resto de los grupos también resolvió el desarrollo de una maqueta que diera cuenta de la membrana utilizando unidades de fosfolípidos. Para el grupo 2 la maqueta que mejor representaba la membrana era la pompa de jabón y fue la que propusieron.

Grupo	MEI por alumno	Material seleccionado por grupo	Estandarización a partir analogía de Quincke	Maqueta
G2	gelatina - propiedades micropipeta - pared celular con agua en su interior, agua - poros de la membrana, / tensión superficial entre las moléculas		Pompas de jabón	
G5	No explica – poros – micropipeta - Poros -		Pompas de jabón	
G3	Gelatina – membrana - no explica - Gelatina – gelatina – propiedad micropipeta			
G6	silicona – lípidos – micropipeta – gelatina - agua	Aceite y agua		Lípidos en aceite y agua (pelotitas de telgopor con alambrecitos)
G9	gelatina - gelatina - lípidos - poros			
G8	Prop. micropipeta – poros - gota de aceite – gelatina - micropipeta		Pompas de jabón	
G15	material viscoso en la micropipeta - gelatinoso/acuoso - gel viscoso / orificios - gelatina/acuosa - poros	Pelotitas dispuestas sobre agua en un taper		

Gráfico 52: Progresión del trabajo de modelización intermedia en los grupos del estudio.

El cuadro anterior da cuenta de la progresión con cambios y continuidades de cada uno de los grupos desde los modelos iniciales hasta la producción de una maqueta.

Así, las elaboraciones realizadas por los alumnos aparecen como una base significativa de modelizaciones que, en su progresión, permitieron:

- Contrastar modelos iniciales e identificar sustancias o construir estructuras, que se comportaran como la membrana del óvulo
- Extender al resto de los grupos el trabajo con pompas de jabón que dos grupos habían seleccionado y contextualizarla como una analogía utilizada en la historia de los modelos de membrana.
- Introducir una única herramienta química, el modelo de lípido anfipático
- Modelizar a partir de lo anterior, fenómenos observables de uniones de gotas de aceite y pompas de jabón
- Construir una maqueta que represente la membrana del óvulo y de cuenta de su comportamiento respecto del ingreso de la micropipeta.

7.3 Actividades de estructuración del conocimiento.

7.3.1 Del modelo de monocapa al de bicapa lipídica. Análisis de un experimento

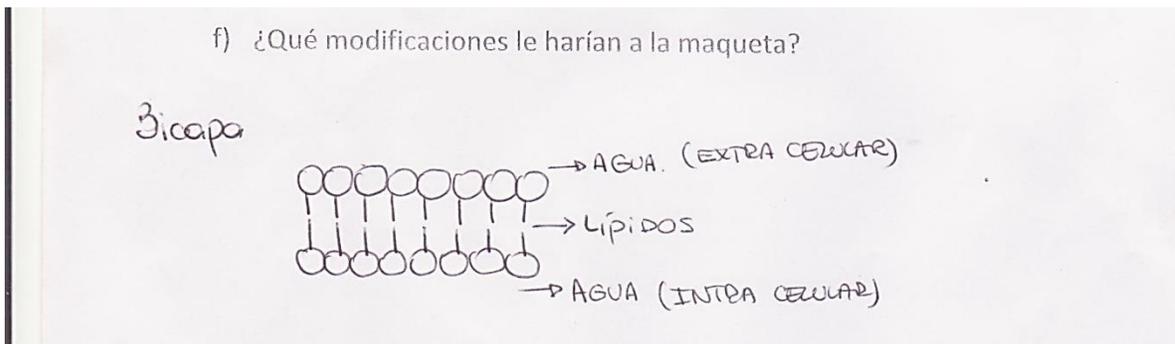
En el marco de la Actividad 7, a cada grupo de alumnos se les ofreció un texto sobre el trabajo de Goertel y Grendel que, en 1925, llevó a esos científicos holandeses a proponer que la membrana constaba en realidad de una doble capa de lípidos (Ver texto en Diseño Estudio 2)

Esta actividad significó una segunda instancia de contacto de los alumnos con un material producido desde el análisis histórico llevado a cabo. El trabajo de los alumnos no estuvo exento de dificultades, fundamentalmente centradas en la comprensión del texto y en descifrar la experiencia que los investigadores llevaron a cabo para validar la hipótesis que tenían, respecto de la naturaleza bilipídica de la membrana. Tuvieron que leerlo más de una vez y, las condiciones del aula y el nivel de voces elevadas no hacían fácil la tarea.

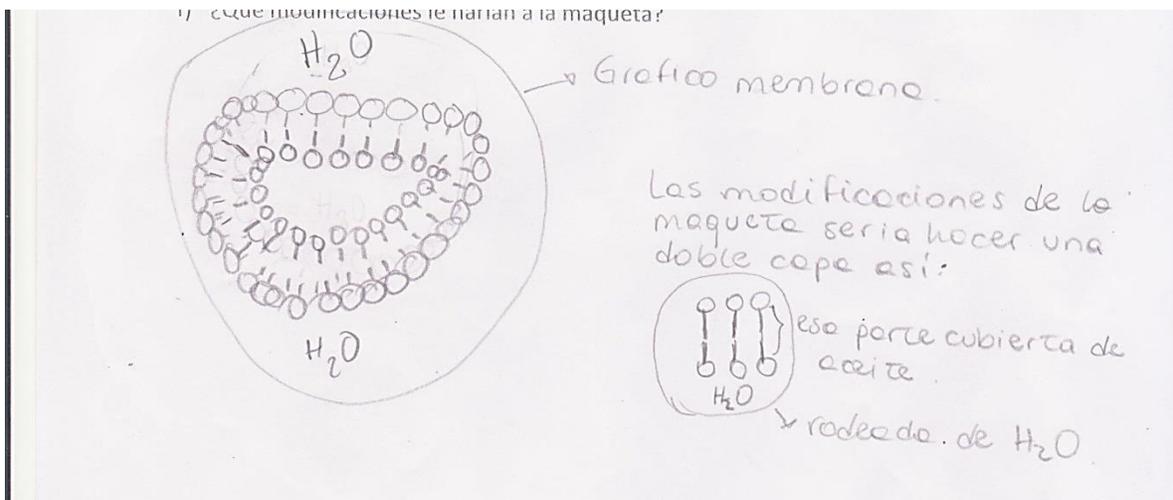
Luego de entender la situación cada uno de los grupos debía producir un gráfico y proponer verbalmente modificaciones a la maqueta.

Una vez que los alumnos finalizaron el análisis, se hizo una puesta en común. Un grupo explicó al resto de la clase el contenido y el sentido de la experiencia de Goertel y Grendel y se socializaron algunas producciones gráficas respecto de la nueva estructura asignada a la membrana celular.

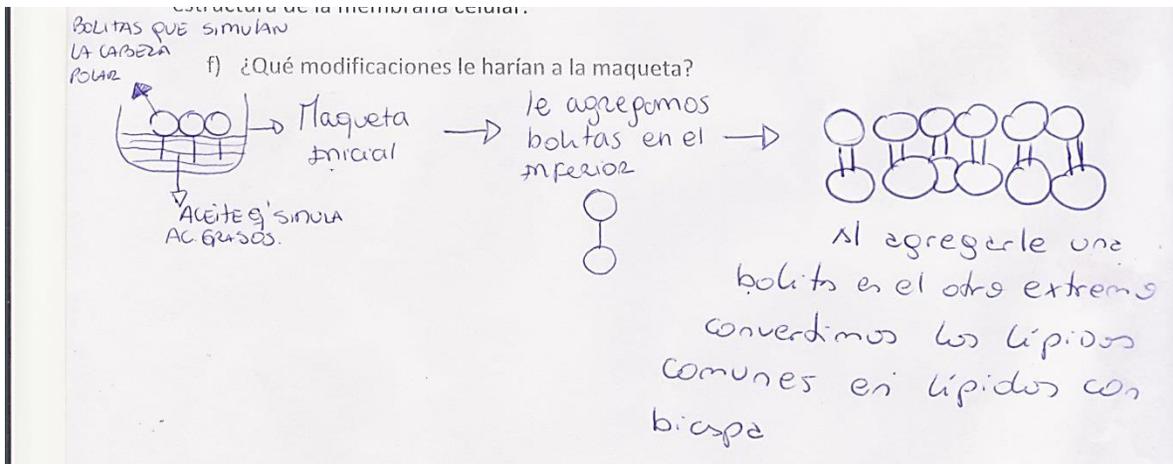
Estas son algunas de ellas:



Modelos estructurados 1: Bicapa lipídica. Grupo 5.



Modelos estructurados 2: Bicapa lipídica. Grupo 2.



Modelos estructurados 3: Bicapa lipídica: Grupo 8.

7.3.2 Diálogo entre modelos: el construido en clase y el de los manuales de Biología

Luego de la puesta en común, se repartieron a los grupos de alumnos diferentes manuales de biología general y de biología celular y molecular, que habían sido solicitados a la biblioteca de la universidad. La tarea era buscar un capítulo sobre membrana celular y consultar los modelos que allí se presentaban y establecer relaciones con las producciones llevadas a cabo en el seno del grupo.

Debido a que las actividades académicas del cursado se habían iniciado recientemente, para la mayoría de los alumnos esta instancia significó el primer encuentro con un manual de Biología de uso universitario. Se trabajó en algunos grupos colaborando en la identificación de los diferentes índices y estructura de los manuales.

No sin dificultades y, paulatinamente, cada grupo pudo encontrar un capítulo referido a membrana celular y pudieron observar los gráficos presentes en los textos.

Una vez identificados, rápidamente pudieron establecer comparaciones con las producciones que ellos llevaron a cabo. Fue frecuente, al pasar por los diferentes grupos, escuchar a los alumnos, decir que: “eran igual”, “reparecidos”, “es lo mismo”, etc. En la puesta en común que se llevó a cabo luego del análisis con el grupo de la clase, aparecieron, como más significativas, las siguientes intervenciones de los alumnos:

- “El nombre que le dan a la membrana es el de mosaico fluido”
- “Los lípidos del modelo científico tienen dos colitas hidrofóbicas y no una”

- *“Los lípidos tienen flechitas que indican que se cambian de lugares, se mueven tanto en una de las capas de lípidos como entre las dos capas y nosotros no lo pusimos”*
- *“La velocidad a la que se mueven los lípidos en la membrana es impresionante !! Cambian de lugar como 10000000 de veces por segundo !!”* (en el grupo lo calcularon a partir de la información presente en la bibliografía expresada como 10^7 veces por segundo, que es la velocidad estimada a la que cambian los fosfolípidos de lugar en la monocapa en la que se encuentran)
- *“Entre algunos de los lípidos aparecen moléculas de colesterol, el libro dice que hacen que en esos lugares la membrana sea menos fluida”*

También los alumnos repararon en que, a medida que avanzaban en el capítulo de referencia, los gráficos incorporaban proteínas. Respecto de esta novedad, se les informó que una vez finalizada la UD que estábamos llevando a cabo, iniciaríamos otra, en la cual las proteínas de membrana tendrían su espacio para el análisis.

7.4 Actividades para modelizar y estructurar una idea metacientífica clave sobre modelos analógicos

7.4.1 Un modelo de modelo para pensar como elaboramos los conocimientos

La actividad 9 se llevó a cabo inmediatamente después que los alumnos establecieron relaciones entre: los modelos de fluidez y autoensamblaje que habían construido y los modelos presentes en la bibliografía de referencia. En ese momento del desarrollo de la UD, los alumnos habían resuelto numerosas actividades, tanto de manera individual como grupal, que los implicaban en dar cuenta de manera gráfica y a través de textos, de diferentes aspectos del fenómeno analizado. Durante el desarrollo de esas clases y en la interacciones, por ejemplo para aclarar las diferentes consignas, o al desarrollar el contenido de las puestas en común en clases, tanto profesores como alumnos utilizaban frecuentemente los términos representar – representación – modelos – modelizar. Los alumnos entendían qué había que hacer y nadie preguntaba qué significaban esos términos. Fue en ese momento del trabajo, en el cual se invitó a reflexionar a los grupos

de alumnos sobre esa situación y dar inicio a las actividades de orden metacientífico, relacionadas con la idea clave de modelo analógico.

“Piensen en el trabajo que hemos realizado en esta unidad didáctica, alrededor del problema del ingreso de la micropipeta al óvulo, el cual no se rompe. ¿Podrían tratar de definir a qué hemos llamado modelo en nuestras clases y por qué lo denominamos así?”

Los alumnos debían exponer sus ideas al interior del grupo y producir un texto breve.

Grupos	Definición de modelo
G 2	<i>Es una manera de representar a través de dibujos, tablas, esquemas, gráficos algo de la realidad. Se utilizan ante la necesidad de resolver un problema</i>
G 3	<i>Usamos la palabra modelo para representar nuestras diferentes posturas acerca de un tema que nos intriga, nos preocupa y nos lleva a una teoría.</i>
G 5	<i>Llamamos modelo a la representación de ideas a través de ejemplos de la vida diaria. Para explicar situaciones complejas que no se pueden observar a simple vista; o difíciles de observar</i>
G 6	<i>Modelo es una representación experimental o gráfica que usamos para explicar un proceso a partir de una hipótesis. Lo llamamos modelo porque es una representación y no una copia, por lo tanto se pueden usar materiales diversos para llevar a cabo el experimento.</i>
G 8	<i>Modelo: es una forma de representación, a través de la cual tratamos de explicar o demostrar nuestras ideas. Lo definimos así porque nos permite explicar y diferenciar nuestras ideas del resto</i>
G 9	<i>Representación final de un estudio exhaustivo (sic) de “algo” concreto que trata de explicar la realidad. Se puede representar mediante gráficos y escritos.</i>
G 15	<i>Llamamos modelo a la construcción teórica grupal que utilizamos para dar cuenta de determinados problemas. Porque podemos representar en dibujos y maquetas que lo demuestran. Estos modelos pueden ir variando a medida que se va descubriendo nueva información.</i>

Gráfico 53: Cuadro de definiciones de modelo por grupos, al pensar sobre el trabajo realizado en la dimensión disciplinar.

Así, a partir de esta tarea metacognitiva, de reflexión sobre el trabajo que realizaron desde el inicio de la UD, los alumnos lograron identificar y caracterizar diferentes aspectos vinculados a una concepción actualizada de modelo científico (Adúriz-Bravo, 2011), al sentido con el que se producen, a la función que tienen respecto del conocimiento de la realidad, al modo en el que pueden definirse y expresarse, etc.

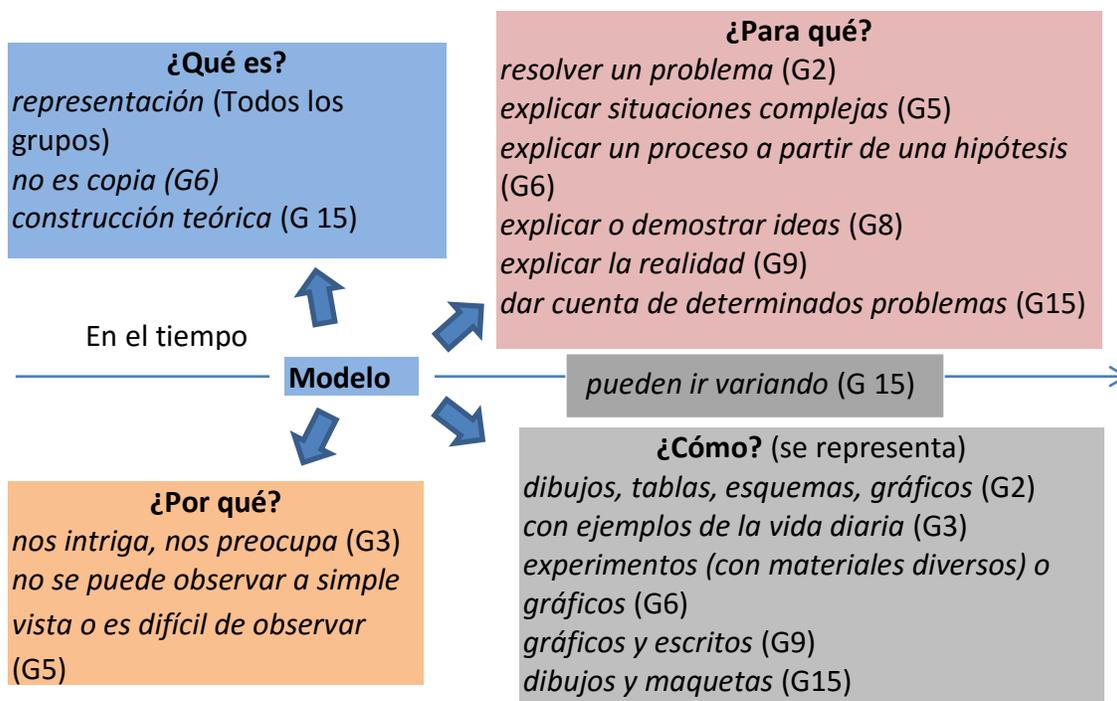
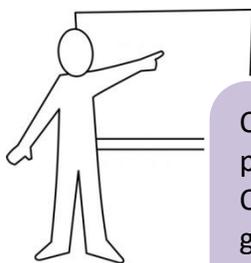


Gráfico 54: Esquema que organiza las ideas de los alumnos en las que se advierte una visión actualizada de modelo.

A partir de las producciones, se realizó una puesta en común en la cual se destacaron los siguientes aspectos, a modo de avance sobre la comprensión de los modelos:



Que nos han sido útiles para explicar algo de la realidad que nos preocupa.
 Que se expresan de diferentes maneras, usando ejemplos cotidianos, gráficos, textos, maquetas, experimentos, etc.
 Que no son copias de la realidad sino representaciones.

7.4.2 “La estrategia de Quincke”

A continuación, en la actividad 10, los alumnos debían analizar el modo en el que Quincke había explicado su idea respecto de la naturaleza lipídica y fluida de la membrana celular, ¿Qué estrategia había utilizado para expresarla?

Es posible advertir, en el análisis que hacen los grupos de alumnos del modo en el que Quincke explicitó su idea sobre la naturaleza de la membrana, que están implicados ciertos conceptos que ya utilizaron para la definición de modelo y además aparecen otros elementos que complementan y también especifican a los modelos analógicos.

Grupos	Análisis del recurso que utilizó Quincke
G 2	<i>Quincke utilizó una analogía, la pompa de jabón, para presentar a sus pares la estructura de membrana que él pensaba que era correspondiente</i>
G 3	<i>Su estrategia fue querer representar su modelo de una forma simple y concisa, comparando la membrana lipídica con la pompa de jabón, para un mejor entender de los demás</i>
G 5	<i>Quincke, a partir de la observación de tejidos distinguió que se comportaba de manera similar al aceite, llegando a la conclusión que la célula presenta las mismas características que los lípidos. Una forma fácil de poder representar esa idea, fue la pompa de jabón, que presentaba características similares a la célula; como mantener su forma, elasticidad y movimiento. Además de conformar un límite celular</i>
G 6	<i>La estrategia que usó fue la de hacer un modelo con las pompas de jabón. Lo hizo de ese modo porque podía usar materiales accesibles y fáciles de comprender relacionado con lo cotidiano</i>
G 8	<i>Quincke utilizó un modelo como estrategia, este fue usar pompas de jabón para representar la membrana de una célula. Descubrió que la membrana es un fluido que no se mezcla con agua. El jabón está compuesto por aceites y al formar pompas de jabón se ve el movimiento de estos. Creemos que fue la mejor forma de representarlo (según él) ya que además las pompas también encierran aire, así como la membrana al interior de la célula. Utilizó la burbuja como modelo comparativo, usó un elemento de la vida cotidiana para</i>

	representar la membrana
G 9	<i>La estrategia de Quincke fue la de comparar una burbuja de jabón con la cual representara (sic) lo que sucedía a nivel celular. Lo hizo de este modo para poder explicar a los demás ya que no se comprendía.</i>
G 15	<i>La estrategia que utilizó Quincke fue experimentar con una pompa de jabón, la membrana lipídica ya que el jabón tiene lípidos. Pensamos que lo hizo de ese modo porque otros científicos podrían recrearlo y poder comprobarlo fácilmente, como lo hicimos nosotros.</i>

Gráfico 55: Cuadro de análisis por grupos al pensar la estrategia de Quincke.

En las ideas de los alumnos aparece el sentido de la comparación que hizo Quincke, como una herramienta que permite ofrecer a otros, de modo accesible, una idea que se articula sobre la relación entre un sistema conocido y uno que se pretende conocer.

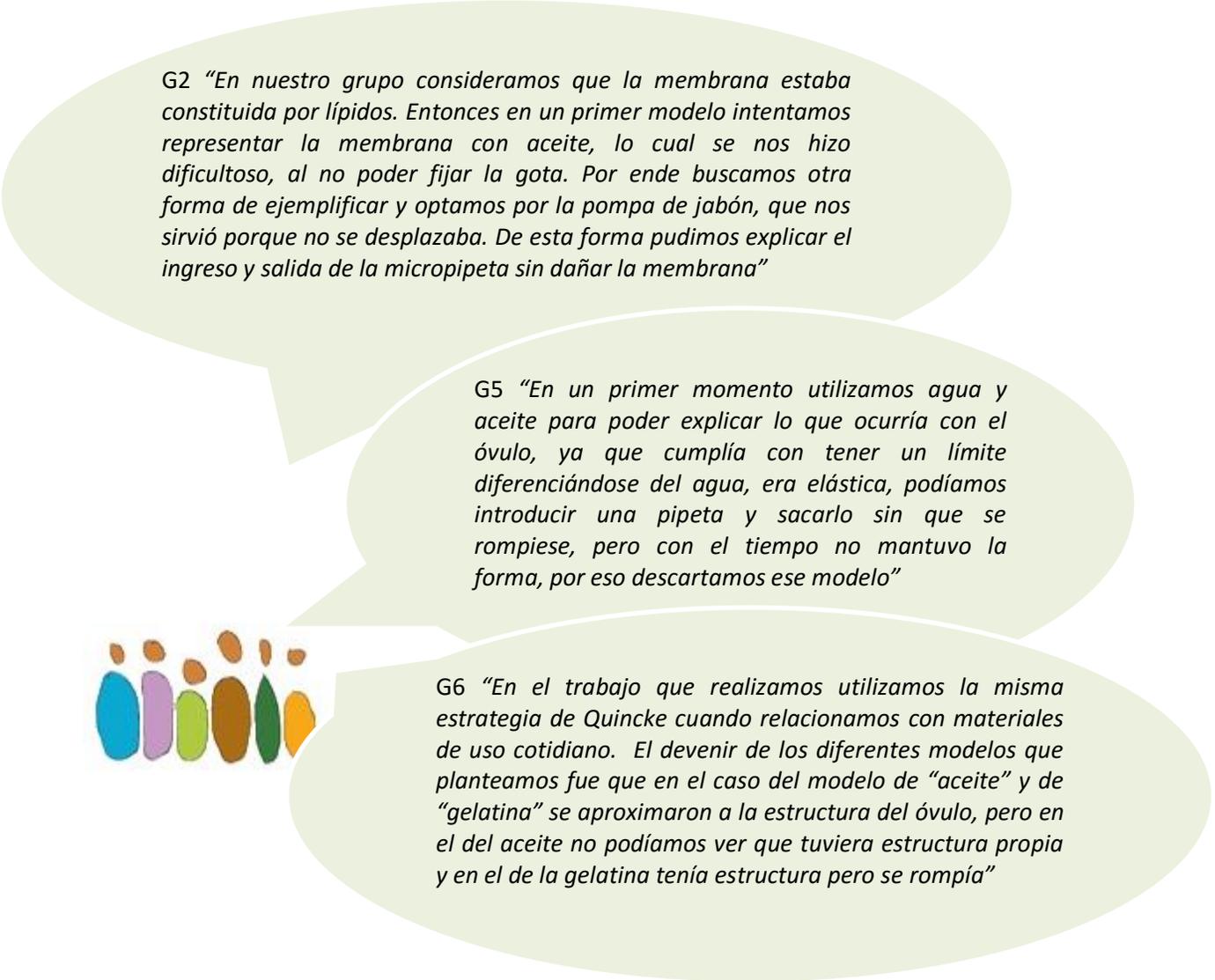
A partir de las producciones de los grupos, se realizó una puesta en común en la cual se pensó sobre las analogías que los propios alumnos habían utilizado en la tarea: gelatina, gotitas de aceite, agua, etc. y un alumno resaltó la importancia de contar con un “buen ejemplo” a la hora de explicar algo. Al cierre, se agregaron a las características mencionadas en la tarea de definir modelo, la ideas de similaridad (G5), de comparación (G3 y G9) / analogía (G2).

De este modo, se fue aproximando en conjunto la siguiente idea:



Los modelos no son copias de la realidad sino representaciones, son similares a algo de la realidad que nos preocupa, y podemos expresarlos de diferentes maneras, utilizando textos, gráficos, maquetas y también estableciendo comparaciones o analogías, entre dos situaciones, una conocida y otra nueva, que se desea conocer.

7.4.3 Sobre los cambios y ajustes en los modelos



G2 *“En nuestro grupo consideramos que la membrana estaba constituida por lípidos. Entonces en un primer modelo intentamos representar la membrana con aceite, lo cual se nos hizo dificultoso, al no poder fijar la gota. Por ende buscamos otra forma de ejemplificar y optamos por la pompa de jabón, que nos sirvió porque no se desplazaba. De esta forma pudimos explicar el ingreso y salida de la micropipeta sin dañar la membrana”*

G5 *“En un primer momento utilizamos agua y aceite para poder explicar lo que ocurría con el óvulo, ya que cumplía con tener un límite diferenciándose del agua, era elástica, podíamos introducir una pipeta y sacarlo sin que se rompiera, pero con el tiempo no mantuvo la forma, por eso descartamos ese modelo”*

G6 *“En el trabajo que realizamos utilizamos la misma estrategia de Quincke cuando relacionamos con materiales de uso cotidiano. El devenir de los diferentes modelos que planteamos fue que en el caso del modelo de “aceite” y de “gelatina” se aproximaron a la estructura del óvulo, pero en el del aceite no podíamos ver que tuviera estructura propia y en el de la gelatina tenía estructura pero se rompía”*

Gráfico 56: Ejemplos de análisis de los Grupos 2, 5 y 6 sobre la modelización desarrollada.

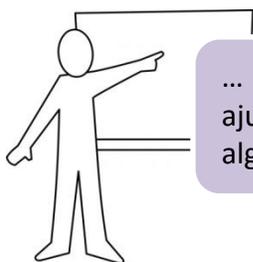
La actividad 11 propuso a los alumnos pensar de un modo más sistemático sobre los propios procesos de modelización que habían llevado a cabo en cada uno de los grupos.

“¿Cuál fue el devenir, qué le ocurrió a los diferentes modelos que ustedes plantearon desde durante el trabajo en esta UD?”

Luego de las discusiones al interior de los grupos, se realizó una puesta en común y alumnos de los diferentes grupos expusieron al resto de la clase de manera verbal, las ideas que habían elaborado.

Como ejemplo, en las producciones de G2, G5 y G6, (Gráfico 56) la dinámica de la modelización que relataron, estuvo vinculada de modo principal a la identificación de algunas dificultades y a la necesidad de ajustar, de mejorar los modelos en función del fenómeno analizado, con el objeto de lograr la manipulación de un sistema material estable, en tres dimensiones, que cumpliera con las restricciones que el fenómeno les imponía.

La reflexión sobre el propio trabajo que llevaron a cabo los alumnos, implicaba la consideración del abordaje del problema como un proceso dinámico, en el cual se iban, de algún modo, hilvanando diferentes hipótesis y restricciones impuestas por los sistemas materiales. En la espiral propuesta, de ir complejizando cada vez más a partir de las experiencias y reflexiones de los alumnos la idea de modelo que se estaba elaborando, se sumó el aspecto de pensar que, además:



... la producción de modelos puede implicar una progresión de ajustes, de mejoras y esto hace que puedan ser considerados de algún modo como entidades dinámicas.

7.4.4 Analizando modelos

A continuación, se les pidió a los alumnos que observaran en la pizarra, la proyección, un video en el que se encontraba modelizada un bicapa lipídica en 2D y en ella, mediante una animación, podía visualizarse el movimiento lateral que realizan los fosfolípidos intercambiando lugares, y que establecieran comparaciones con los gráficos presentes en los manuales que tenían a disposición.

G2 *“Creemos que el modelo del video es el más apropiado porque nos muestra los movimientos de las moléculas de ácidos grasos. Las uniones que hay entre ellos para permitir la entrada de la micropipeta sin romper la membrana”*

G5 *“El más apropiado es el analizado en el video, porque en él se podía ver claramente los fosfolípidos y en la bibliografía esta propiedad no se observa”*

G9 *“El modelo más apropiado para explicar el ingreso de la micropipeta es el video en donde no sólo muestra gráficamente la membrana, sino el movimiento de los lípidos lo cual demuestra cómo puede atravesar la membrana sin que se produzca algún daño”*



Gráfico 57: Ejemplos de análisis de los Grupos 2, 5 y 9 sobre la pertinencia de modelos analizados para explicar fluidez.

En el análisis que hicieron alumnos de diferentes grupos expresaron la conveniencia de buscar modelos dinámicos de membrana para explicar la fluidez y el fenómeno del ingreso de la micropipeta al óvulo, ya que los modelos presentes en los textos, hacen difícil comprender ese carácter.

También, y en referencia a la analogía que sostiene el modelo científico de membrana, al caracterizarla como un “mosaico fluido”, se les pidió a cada uno de los grupos que trataran de explicar por qué Singer y Nicholson, en 1972, habrían decidido utilizar esa denominación para referirse a la estructura de la membrana celular y si la consideraban potente, en el sentido de su capacidad de facilitar la construcción rápida de una imagen sobre la naturaleza del sistema en cuestión. La totalidad de los grupos consideró que era una buena analogía la que los investigadores habían utilizado y algunos expusieron que ahora, luego del trabajo realizado en la UD era más fácil entender por qué la habían denominado así. El carácter dual y casi contradictorio del modelo de mosaico fluido, que implica pensar en una estructura definida pero a la vez líquida, que no se desborda, fue identificada por los diferentes grupos, por ejemplo:

G3: "Se parece a un mosaico pero que no es rígido y se encuentra en constante movimiento"

G5: "El nombre que recibe es Mosaico Fluido, ya que observados desde arriba, la cabeza de fosfolípidos se asemejan a los mosaicos, y fluido porque está en constante movimiento"

G6: "el nombre del modelo es: Modelo del Mosaico Fluido (sic). Esa denominación atribuye a que la unión de las cabezas polares vistas desde arriba se asemejan a un mosaico y es fluido por el movimiento de los fosfolípidos"

G15: "Esa denominación atribuye a: mantener la forma de un mosaico pero a la vez permite pensarlo con movimientos dinámicos, fluidez.

7.4.5 Estructurando la idea de modelo analógico

A continuación se les indicó a los alumnos la lectura de "Matías analógico", un apartado del libro *Una introducción a la naturaleza de la ciencia* (Adúriz-Bravo, 2005, pp. 28-32), con el objeto de acceder a una conceptualización de modelo analógico en el ámbito de la producción académica sobre temas metacientíficos y su enseñanza, y poner en ese contexto las producciones y las reflexiones llevadas a cabo.

Esta tarea debían traerla desarrollada para el próximo encuentro de clases.

Todos los grupos lograron identificar los aspectos básicos implicados en la caracterización de un modelo analógico y algunas de las producciones dan cuenta de aspectos de interés en las reflexiones de los alumnos que colaboran en seguir complejizando y enriqueciendo el proceso de construir un modelo de modelo científico (Adúriz-Bravo, et al., 2009)

- G6: *Creemos que el lugar que ocupa el modelo es el de elemento mediador entre la hipótesis y la realidad. Las analogías son un recurso del lenguaje y del pensamiento. Buscan semejanza entre dos situaciones: la conocida llamada campo fuente, el cual es el punto de partida, para Quincke la pompa de jabón y*

la desconocida, llamada campo blanco, que es el punto de llegada, la membrana celular.

- *G8 Creemos que es una comparación o enlace entre la hipótesis y la realidad. Aspectos más importantes: Permite encontrar semejanza entre situaciones conocidas y desconocidas*
- *G15: El lugar que ocupa el modelo entre una hipótesis que proponemos y la realidad es la mitad. El modelo es un medio, es lo que nos permite poner en palabras aquellas experiencias que realizamos para explicar el mundo real. Con respecto al modelo analógico tiene características como:*
 - *Simular “ser” la realidad pero no lo es*
 - *Comparar dos o más situaciones*
 - *Nexo entre lo conocido y lo que hay que conocer*
 - *Ayuda a la comprensión de la ciencia*
 - *Está compuesto por campos semánticos: Campo fuente (situación conocida) y campo blanco (situación de llegada)*

7.4.6 Cierre de las actividades de estructuración de los modelos disciplinares y metacientíficos

Luego de compartir las producciones de los diferentes grupos, se presentaron a los alumnos las dos ideas claves que se habían propuesto al inicio de la UD. El docente investigador, explicó a los alumnos que el sentido del trabajo llevado a cabo hasta aquí en la UD, había tenido como sentido ofrecerles diferentes intervenciones y oportunidades, para que ellos, con su propio trabajo y desarrollando modelos, pudieran aproximarse a esas ideas claves. También se hizo explícito que esa es una de las tareas básicas de la tarea de enseñanza desde la perspectiva adoptada por la materia Biología celular.

Se proyectaron en una imagen las ideas claves y los alumnos las leyeron cada uno de sus lugares.

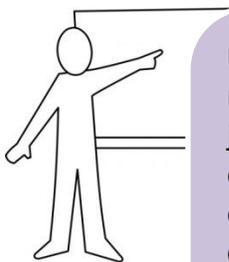
Las membranas de todas las células están constituidas por una finísima capa de fosfolípidos, unidos por enlaces no covalentes. Son estructuras dinámicas, fluidas, ya que sus moléculas pueden desplazarse en el plano de la membrana y autoensamblarse con otras semejantes. La posibilidad de autoensamblarse y formar micelas en agua, se debe a que estas moléculas poseen extremos hidrófilos e hidrófobos.

Los modelos como re-presentaciones, reemplazos en ausencia del sistema complejo, que solo retienen algunos elementos de interés y funcionan como facilitadores para la comprensión del mundo real. En cuanto a la formulación de analogías, es un recurso común del lenguaje y del pensamiento. Los modelos analógicos, frecuentemente utilizados en la producción científica, permiten establecer una serie de correspondencias entre dos situaciones, una conocida y otra novedosa, con el fin de dar sentido a la última por medio de la primera.

Gráfico 58: Ideas claves compartidas con los alumnos como cierre del trabajo en la Etapa 1 del Estudio 2.

Luego de unos minutos el docente investigador preguntó si consideraban que podían otorgarle sentido y vincularlas con el trabajo realizado hasta aquí. Los comentarios de diferentes alumnos coincidieron en afirmar que sí, que eran muy parecidas a las ideas que habían elaborado durante el trabajo en las diferentes clases.

De este modo se pudo sintetizar la siguiente idea:



Una pompa de jabón y una membrana celular son estructuras muy diferentes, pero el parecido químico de su conformación junto a la posibilidad que brindan las pompas de formar sistemas estables y de ser manipulados macroscópicamente, la convierte en un modelo analógico que puede dar algunas pistas para comprender la fluidez de la membrana y el autoensamblaje de sus componentes.

Como es posible advertir en el análisis de esta parte de la UD, el itinerario didáctico planificado y la secuencia de actividades propuesta sufrió algunas modificaciones a partir de la identificación de aportes, ideas de los alumnos y/o debates que iban anticipando el contenido de algunas actividades y dejando a otras para su abordaje posterior.

7.5 Actividades de aplicación

Estas actividades, que implicaron a los alumnos en la tarea de aplicar el modelo de fluidez y autoensamblaje a la explicación de nuevas situaciones, fueron propuestas a los alumnos luego de haber transcurrido dos semanas de haber finalizado las actividades de estructuración del conocimiento.

Los alumnos se encontraban organizados en los grupos de trabajo con los que habían desarrollado las actividades anteriores. Ese día, el Grupo 3 no contaba con todos los integrantes y los alumnos presentes se reagruparon en otro grupo que no formaba parte de la muestra, por lo tanto las producciones que se analizan en la actividad de aplicación corresponden a los grupos: 2, 5, 6, 8, 9 y 15.

Antes de presentar la primera consigna, el docente investigador informó al grupo clase sobre el sentido de las actividades de aplicación, las que integrarían a futuro el desarrollo de las diferentes unidades del programa, y que tendrían como propósito aplicar los conocimientos aprendidos a la comprensión de nuevas situaciones, que podrían ser otros contenidos de la materia, situaciones de la vida cotidiana, hechos sociocientíficos de interés, etc.

7.5.1 Fluidez, autoensamblaje, transporte de vesículas y las dificultades para la aplicación de los modelos

Tal cual lo explicitado en el Diseño del Estudio 2, la primera consigna les solicitó a los alumnos que observaran una imagen proyectada en el pizarrón. Se compartió el sentido de la misma, en función de que ilustraba el modo en el que las células pueden transportar moléculas hacia el exterior y que, teniendo en cuenta el modelo analizado de mosaico

fluido trataran de dar una explicación respecto de cómo funcionaba el mecanismo de transporte.

La situación llamó la atención de los alumnos, se mostraron interesados y a la vez desconcertados. Los diferentes grupos leían la consigna (que se encontraba proyectada debajo de la imagen) una y otra vez y los alumnos miraban al docente investigador y a la profesora asistente con gestos que daban cuenta de no comprender qué debían hacer.

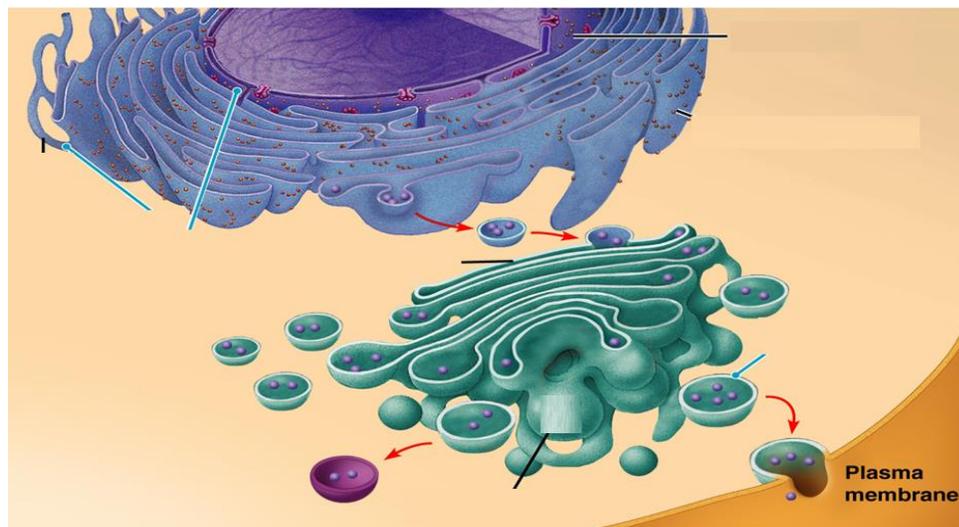


Gráfico 59: Transporte de vesículas (en Campbell, 2009).

El docente investigador, pidió la atención de la clase en general y volvió a explicar que lo que se pretendía era que aplicaran el modelo de mosaico fluido que habían desarrollado en la unidad didáctica de membrana celular, para tratar de explicar cómo funciona, cómo hace una célula para trasladar moléculas, por ejemplo, hacia el exterior. También se aclaró que la imagen mostraba diferentes estructuras del interior de una célula.

Una vez realizada esta segunda aclaración, los grupos se dispusieron a retomar el trabajo con mayor participación de cada uno de los alumnos. Las producciones debían hacerlas de modo gráfico/textos en hojas que se les habían distribuido a cada grupo.

Del análisis de los resultados, se advierte que los Grupos 2, 5, 8 y 9 lograron establecer relaciones con experiencias y analogías utilizadas durante el trabajo en la UD y las explicitaron. Se presentan algunos desarrollos de las discusiones al interior de estos grupos y las producciones escritas.

A la llegada del Profesor (P) al G8, las alumnas están conversando y describiendo lo que ven en la imagen.

- 8 2 *Ah... ese es el exterior de la célula y ese el interior, bien...*
- 8 1 *Para mí, la estructura aquella, va encapsulando las moléculas y las envía a la otra estructura y ahí se van ... cómo se dice... destinando a distintos lugares, a distintas partes de la célula. Algunas van dentro de la célula como aquellas... y otras van fuera...*

Nadie aporta más nada, parece ser que la justificación de 8 2 convence a todas

- P: *¿Han pensado si hay alguna relación con el modelo de mosaico fluido que analizamos hace unas semanas?...*

Se produce otro silencio, mientras todas las integrantes siguen observando la imagen proyectada

- 8.3: *No veo la relación, lo pensamos y no puedo verla...*
- 8.1: *Puede ser... para la parte de la eliminación de esas moléculas puede ser por los canales proteicos, canales iónicos (Hace mención a las proteínas de membrana que estudiaron luego del trabajo centrado en fluidez y autoensamblaje)*
- 8.3 *No, pero eso no es mosaico fluido ... , no?*
- 8.1 *El modelo de los lípidos... eso es lo que yo preguntaba ... (le habla a sus compañeras) ¿los lípidos se abren y se vuelven a cerrar para expulsar las...?*
- 8.4 *Porque con el modelo, la micropipeta entra y sale, se abre y se cierra...*
- 8.2 *La célula debe enviar una señal, un estímulo o algo ...*

Siguen observando la imagen...

- 8.1 *Fijate que hay como desprendimientos*
- 8.4 *como que encapsula*
- 8.3 *no, no, ingresa algo, de una parte de la célula ingresa a otro aparato, esto larga como un alimento suponete, y lo procesa ... lo encapsula y lo va eliminando de adentro de la célula para afuera...*

Siguen discutiendo

- P (indica con el dedo en la imagen proyectada en el pizarrón, el sector de la membrana plasmática en la que está interactuando la vesícula) *¿Cuál es la estructura de esta membrana?*
- 8.2, 8.3 y 8.4 (Al unísono...) *de lípidos...*
- 8.3 *¡ ah... esa cápsula tiene que tener también lípidos... para unirse, para pegarse ¡*
- 8.4 *como que la membrana y la capsulita tendrían que tener lípidos ...*
- 8.1 *para poder expulsarlo*
- 8.4 *ah ¡ todas las membranas de cada uno de esto órganos (señala con el dedo) están hechas de lípidos y sale y se une al otro y después al otro*
- 8.2 *cada estructura ... fíjate el que va entrando (señala una vesícula) está como medio abierto igual que la pipeta*
- 8.4 *me emociona, me emociona entender (se ríen)*
- 8.1 *claro es como la figura del aceite (se refiere al gráfico que realizaron cuando desarrollaban la UD)*

Vemos que al inicio de las discusiones al interior del G 8, el modelo de fluidez y autoensamblaje de membrana no se aplicó automáticamente al analizar la situación planteada. En un momento recurrieron a otra explicación (proteínas de membrana), pero luego se centraron en las propiedades de los lípidos de membrana y aparecieron los conceptos “unirse” y “pegarse”. Es interesante la rápida asociación que hacen con el ingreso de la micropipeta a la célula (situación problemática al inicio de la UD) y luego con la imagen de las gotitas de aceite. En ese momento, el sistema de capsulitas inicialmente despojado de teoría, pasa a constituirse para los alumnos, como un sistema integrado de membranas que se autoensamblan. El texto producido por las alumnas inmediatamente después de las discusiones, da cuenta de esta nueva lectura del proceso al que alude la imagen y lo extienden como mecanismo general de transporte en las células.

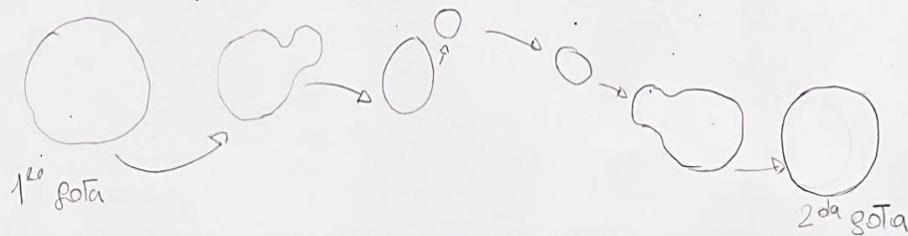
Observen imagen proyectada

La imagen muestra el modo en el que las células pueden transportar moléculas hacia el exterior. Teniendo en cuenta el modelo que hemos analizado en esta unidad

¿Cómo explicarían el mecanismo general que utilizan las células para transportar moléculas?

El mecanismo que utiliza la célula es encapsular las moléculas con una membrana lipídica, igual a la de la membrana plasmática. Deducimos que todas las estructuras de la célula, se componen de membranas lipídicas.

Como modelo analógico para explicar este mecanismo: utilizamos una gota de aceite:



Modelos de aplicación 4: Grupo 8 explica el transporte por vesículas.

Los alumnos del G 2 tomaron como herramienta de análisis el trabajo llevado a cabo con las gotitas de aceite:

- 2.2 (G) (refiriéndose a la imagen) esto es como transportan partículas las células, para ser utilizadas o para deshecho... lo saca al exterior o las deja.
- P. ¿Pensaron si el modelo que analizamos en clases tiene algo que ver en esta situación?
- 2.1 Si... Lo estábamos comparando con lo que hacíamos con las gotas de aceite, como que los envuelve la membrana, pasa a otro aparato, eso forma parte de otra membrana, forma otra... gota digamos... se pega a la otra membrana y lo saca
- 2.3: Sí, sirve la analogía del aceite...
- 2.2: Todo está hecho de membrana, toda la estructura...

Observen imagen proyectada

La imagen muestra el modo en el que las células pueden transportar moléculas hacia el exterior. Teniendo en cuenta el modelo que hemos analizado en esta unidad

¿Cómo explicarían el mecanismo general que utilizan las células para transportar moléculas?

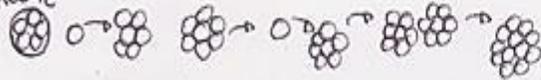
Todos los componentes de la célula, están formados por membrana de mosaico fluido, pero los diferentes componentes tienen diferentes funciones.

Para transportar las moléculas que produce la célula, las encapsula y las distribuye en función de necesidad o libera las cápsulas al exterior si no las necesita.

Todas las cápsulas pasan a formar parte de otras membranas que se encuentran en la célula.

El: GOTAS DE ACEITE EN AGUA

ACEITE



unión y separación.

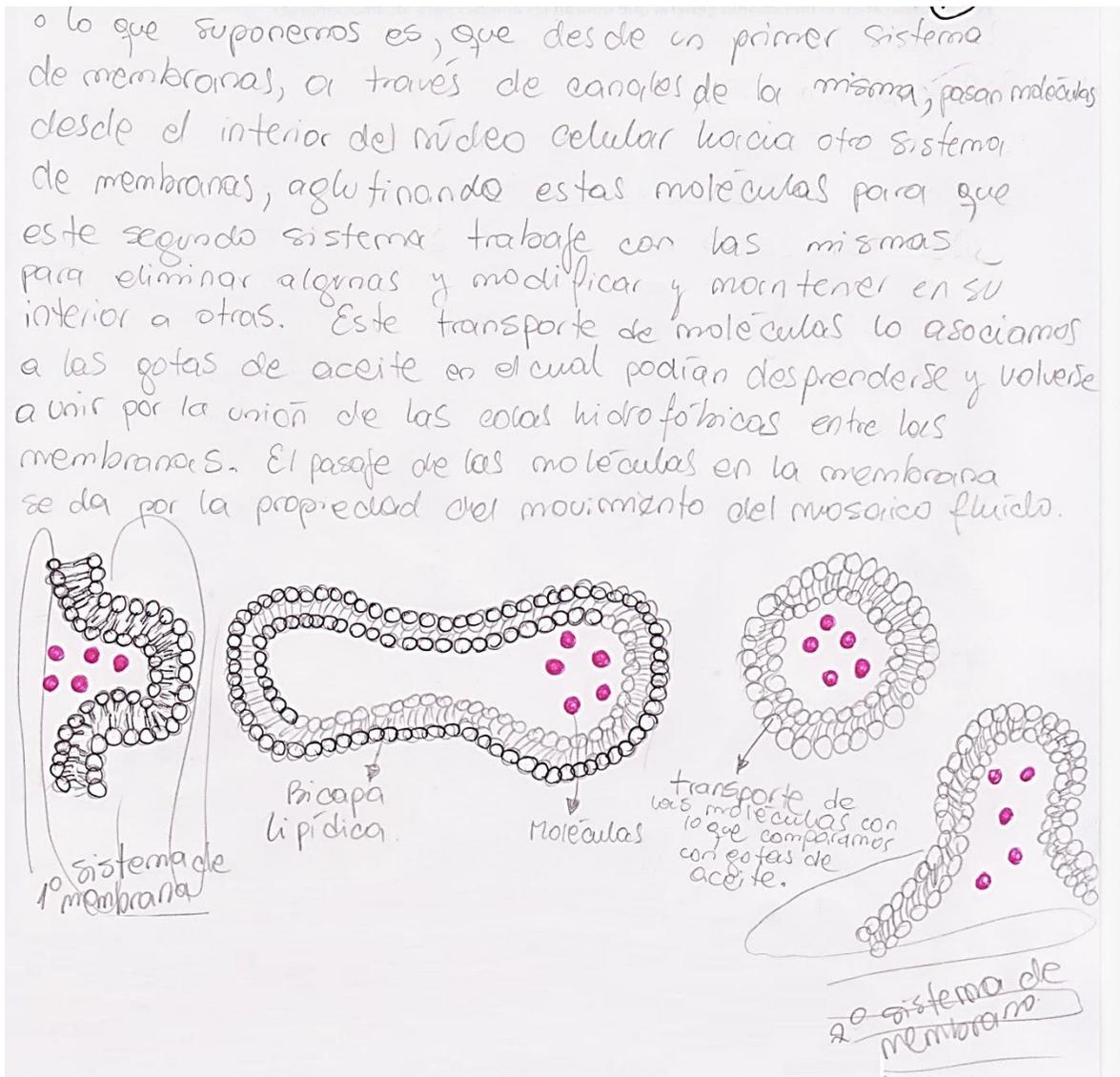
Modelos de aplicación 5: Grupo 2 explica el transporte por vesículas.

Los alumnos del G9 también toman como analogía para abordar la comprensión, el trabajo realizado con las gotitas de aceite:

- 9.1 Lo que estamos viendo en la imagen es como un pasaje de moléculas de un primer sistema de membranas a otro sistema mediante una especie de aglutinación, aglutina sus moléculas y ahí nomás lo asociamos con las gotas de aceite, los trabajos estos que hicimos de laboratorio...
- 9.2 Tenían la capacidad de juntarse, vemos como que se unen a la membrana plasmática porque creemos que están formados de la misma membrana plasmática, de esos complejos que hablaba él, por eso lo asociamos con el aceite
- 9.3 ...claro, porque es como que se desprende en una parte de la membrana ... donde retira las moléculas y las transporta por el medio acuoso de la célula hacia

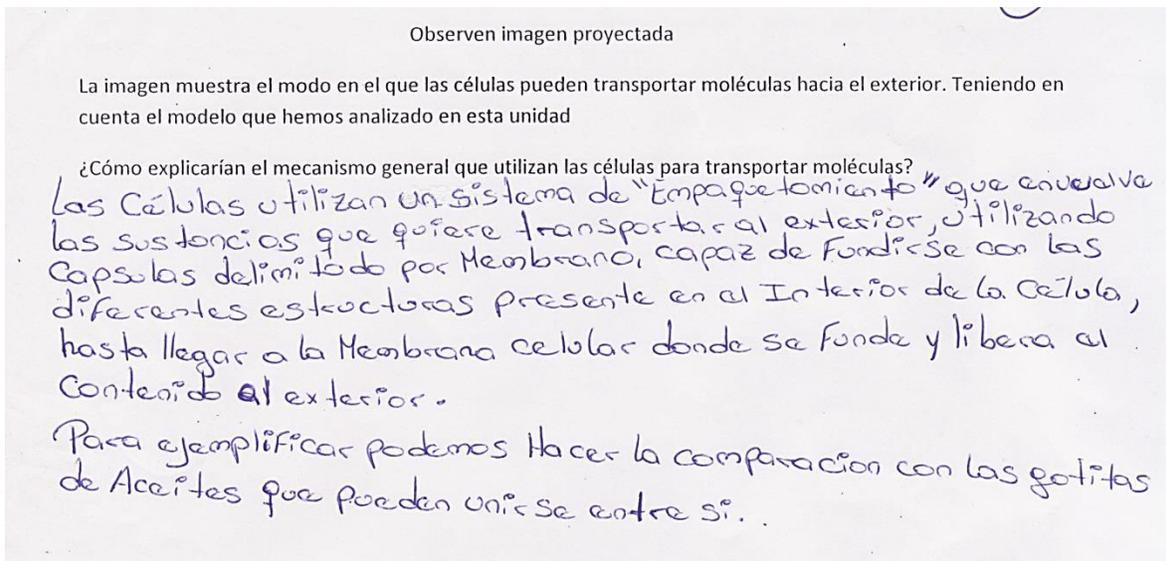
otro sistema y se vuelven a unir porque justamente comparten la misma característica

Luego de las discusiones, el grupo ofrece una densa versión gráfica/textual del proceso que describen mediante la utilización del modelo de mosaico fluido asociado a la experiencia con las gotitas de aceite.



Modelos de aplicación 6: Grupo 9 explica transporte por vesículas.

Los alumnos del Grupo 5 no lo desarrollaron gráficamente y también se referencian en la analogía con las gotitas de aceite.



Modelos de aplicación 7: Grupo 5 explica transporte por vesículas.

Uno de los aspectos que interesa en el análisis, está relacionado con la utilización que espontáneamente hicieron estos grupos del trabajo con las gotitas de aceite y la no referencia, en ningún caso, a las pompas de jabón, modelo analógico que sí fue utilizado en los análisis sobre el ingreso de la micropipeta al óvulo. Probablemente, y si bien el fenómeno se explica por las mismas propiedades de la fluidez y el autoensamblaje, la disposición de las vesículas en el gráfico sea más parecida a la disposición de las gotitas de aceite en el recipiente con agua y de allí, la posibilidad de hacer una vinculación más significativa con estas últimas.

Los grupos 6 y 15 no explicitaron relaciones con materiales y/o analogías realizadas antes. El grupo 6 afirmó que las *"organelas encapsulan con materiales similares a los de la membrana"* y el grupo 15 mencionó que *"el modelo de mosaico fluido, permite que a través del movimiento, dinamismo (sic) pueda realizarse el pasaje de moléculas, ya sea del exterior al interior o viceversa"*

7.5.2 Fluidéz y autoensamblaje para la locomoción y la captura

La segunda consigna para la aplicación del modelo, se dispara a partir de la observación de un video (link) en el cual una ameba captura a un paramecio para alimentarse.

Del mismo modo que en la consigna anterior, se les pidio que explicaran la estrategia de la ameba utilizando el modelo de mosaico fluido.



Gráfico 60: Fagocitosis de paramecio

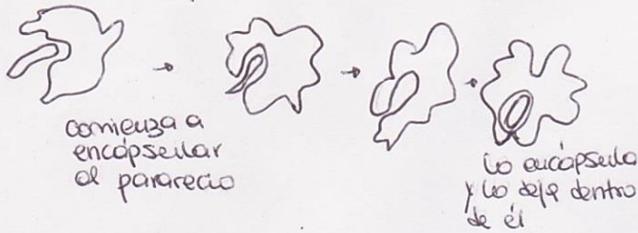
A diferencia de lo acontecido en la consigna anterior, y probablemente por lo trabajado en ella, la totalidad de los grupos de la muestra ya no tardaron en relacionar el fenómeno de fluidéz y autoensamblaje con la estrategia desarrollada por la ameba, para la locomoción y la alimentación, y la resolvieron satisfactoriamente. Algunos ejemplos:

El video muestra el modo en el que una ameba (un organismo unicelular de vida libre en agua dulce) captura un paramecio (otro unicelular del mismo tipo de vida) para alimentarse. Teniendo en cuenta el modelo que hemos analizado en esta unidad ¿Cómo explicarían la estrategia que utiliza la ameba para la captura?

La estrategia que utiliza la ameba para capturar al paramecio es a través de la envaginación de su membrana. Esto es posible gracias a la fluidéz de la membrana, lo que luego permite su unión y la encapsulación del paramecio, o sea la captura de este.

Modelos de aplicación 8: Grupo 6 explica fagocitosis

El video muestra el modo en el que una ameba (un organismo unicelular de vida libre en agua dulce) captura un paramecio (otro unicelular del mismo tipo de vida) para alimentarse. Teniendo en cuenta el modelo que hemos analizado en esta unidad ¿Cómo explicarían la estrategia que utiliza la ameba para la captura?



Podría explicarse como una analogía del proceso de transporte molecular de membrana.

Quedando el paramecio envuelto en una membrana, y a su vez la propia membrana de la ameba.



o Gracias a la fluidez de membrana la ameba puede generar el movimiento.

Modelos de aplicación 9: Grupo 2 explica fagocitosis

El video muestra el modo en el que una ameba (un organismo unicelular de vida libre en agua dulce) captura un paramecio (otro unicelular del mismo tipo de vida) para alimentarse. Teniendo en cuenta el modelo que hemos analizado en esta unidad ¿Cómo explicarían la estrategia que utiliza la ameba para la captura?

Si tomamos en cuenta que es un organismo unicelular, el límite de la Ameba correspondería a la Membrana Celular, que al ser Fluida puede adoptar distintas Formas e Incluso emitir prolongaciones que en este caso van a envolver al paramecio. También podemos suponer que las dos Membranas de los Organismos, se atraen al estar próximos, y al estar compuesto de los mismos elementos (fosfolípidos).

Modelos de aplicación 10: Grupo 5 explica fagocitosis

- la ameba creemos que libera sustancias al medio que atraen al paramecio y en su "desdoblado" es atraído por el movimiento de la membrana que envuelven al organismo.



Modelos de aplicación 11: Grupo 9 explica fagocitosis

Mientras los alumnos trabajaban en la elaboración de las respuestas a la situación, el video se pasaba ininterrumpidamente y a medida que iban finalizando, surgían comentarios y nuevas preguntas, como por ejemplo, ¿Por qué no se autoensamblaban la ameba y el paramecio con solo ponerse en contacto si los dos tienen una membrana de fosfolípidos? Esta pregunta fue considerada por el docente investigador y devuelta al grupo de la clase, lo cual generó un interesante debate sobre ¿Cuán parecidas o no serían las membranas?, ¿Si solo podrían fusionarse membranas de la misma célula?, ¿Si la membrana celular del paramecio luego podría ser utilizada por la ameba para hacer más “membrana de ameba”? etc.

7.5.3 Fluidez y autoensamblaje para comprender la acción de un fármaco

La última consigna de las actividades de aplicación, implicó el análisis de un prospecto médico de un fungicida, el cual es transportado mediante la tecnología de liposomas. A cada uno de los grupos de alumnos, se les repartió un prospecto del medicamento.



AMBISOME®
AMFOTERICINA B
EN LIPOSOMAS

Injectable liofilizado

Venta bajo receta archivada
Industria Norteamericana

COMPOSICION
Cada frasco-ampolla de polvo liofilizado contiene:

Amfotericina B (en liposomas).....	50,00 mg
Sacarosa.....	900,00 mg
Fosfatidilcolina Hidrogenada de soja.....	213,00 mg
Distearoilfosfatidilglicerol.....	84,00 mg
Coolesterol.....	52,00 mg
Succinato disódico 7 H2 O.....	27,00 mg
Alfa tocoferol.....	0,64 mg

Cada ampolla con disolvente contiene:
Agua destilada esterilizada..... 12,00 ml

ACCION TERAPEUTICA
La amfotericina B es un antibiótico antimicótico, **poliénico macrocíclico**, producido por el **Streptomyces nodosus**.

DESCRIPCION
AmBisome® contiene amfotericina B encapsulada en liposomas. Los liposomas son vesículas esféricas cerradas, compuestas por una variedad de sustancias **anfófilas**, como los fosfolípidos. Estos, cuando son colocados en soluciones acuosas, se ordenan por sí mismos en forma de membranas de doble capa. La porción lipófila de la amfotericina B permite que el fármaco se integre entre las dos capas del liposoma. La amfotericina actúa probablemente uniéndose a los esteroides ubicados en la membrana celular de los hongos, donde produce cambios en la permeabilidad que permiten el flujo de moléculas pequeñas al exterior de la célula. Ha sido sugerido que los daños producidos por la amfotericina B en células de mamíferos podrían deberse a un mecanismo similar, dado que éstas también contienen esteroides.

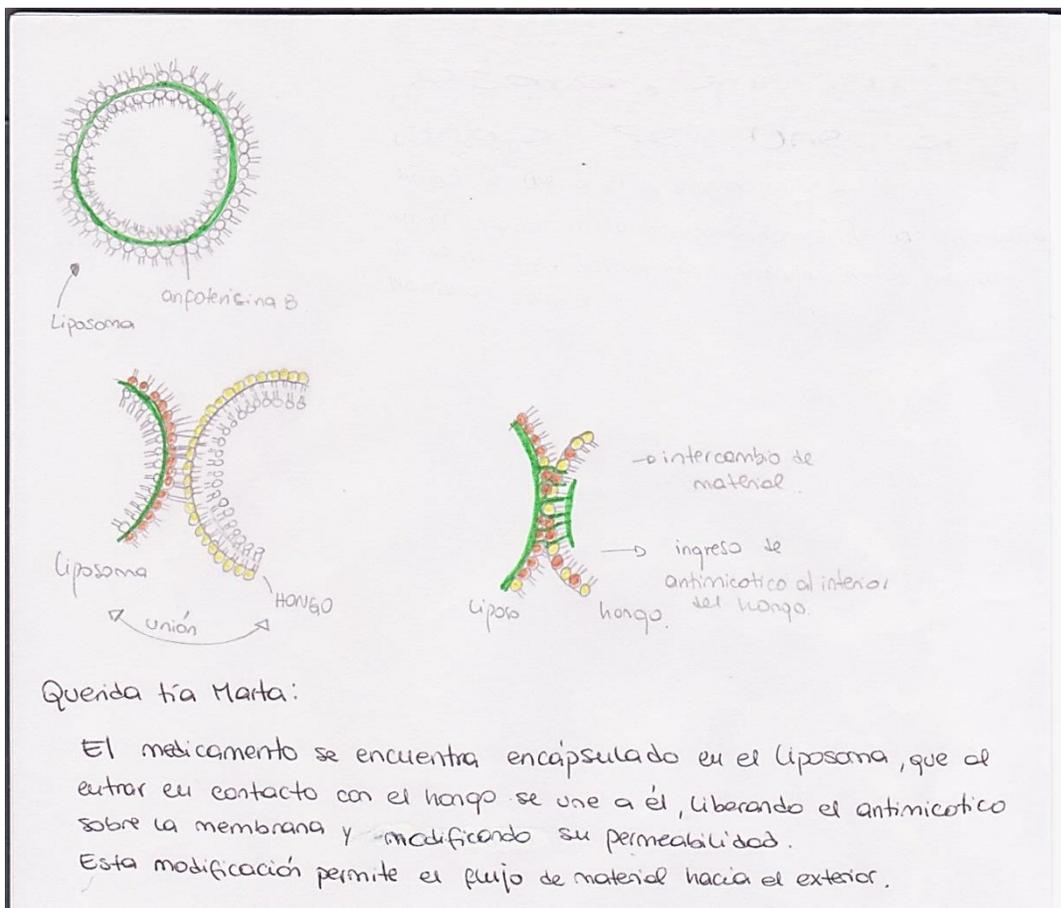
INDICACIONES
- Tratamiento de pacientes con Aspergillus **species**, Candida **species** y Cryptococcus **species** con infecciones refractarias al **desoxicolato de amfotericina B** o en pacientes en quienes el grado de insuficiencia o toxicidad renal resultan inaceptables para el uso de **desoxicolato de amfotericina**.
- Tratamiento empírico de presunta micosis en pacientes febriles **neutropénicos**.
- Tratamiento de la leishmaniasis visceral. En los pacientes inmunocomprometidos con leishmaniasis visceral tratados con AmBisome®, la tasa de recaída es alta después de la eliminación de las leishmanias.

Gráfico 61: Prospecto fármaco que utiliza liposomas

La consigna se centra en la producción de una explicación que ellos deben dar a Marta, una imaginaria tía, a quién le han recetado Ambisome, un remedio para atacar la aparición de hongos en la piel, quien les pide que le expliquen, porque no entiende *qué son los liposomas* que, acaba de leer en el prospecto, están en ese medicamento.

Luego del trabajo sobre la consigna anterior, el clima de clases ya estaba completamente distendido, y se advertía que los alumnos habían comprendidos que este tipo de actividades de aplicación no tenían que ver con una acción de evaluación para la acreditación sino con la posibilidad de utilizar los conocimientos aprendidos para comprender nuevas situaciones. La presentación de los prospectos generó muchos comentarios de interés y agrado por la tarea. Algunos alumnos manifestaron que no los leían porque *“nunca se entiende nada de lo que dicen”*.

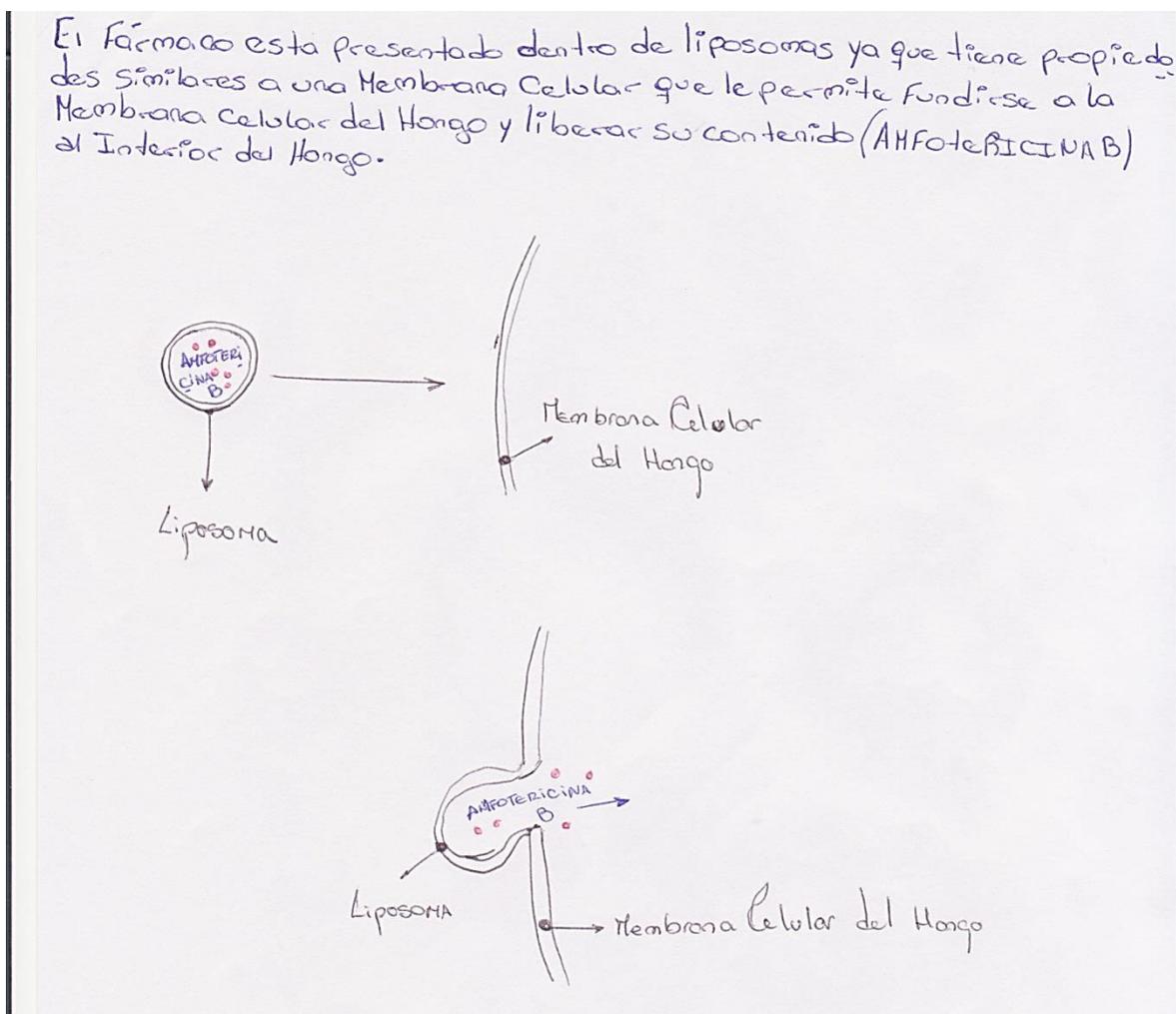
A continuación se presenta algunas de las producciones.



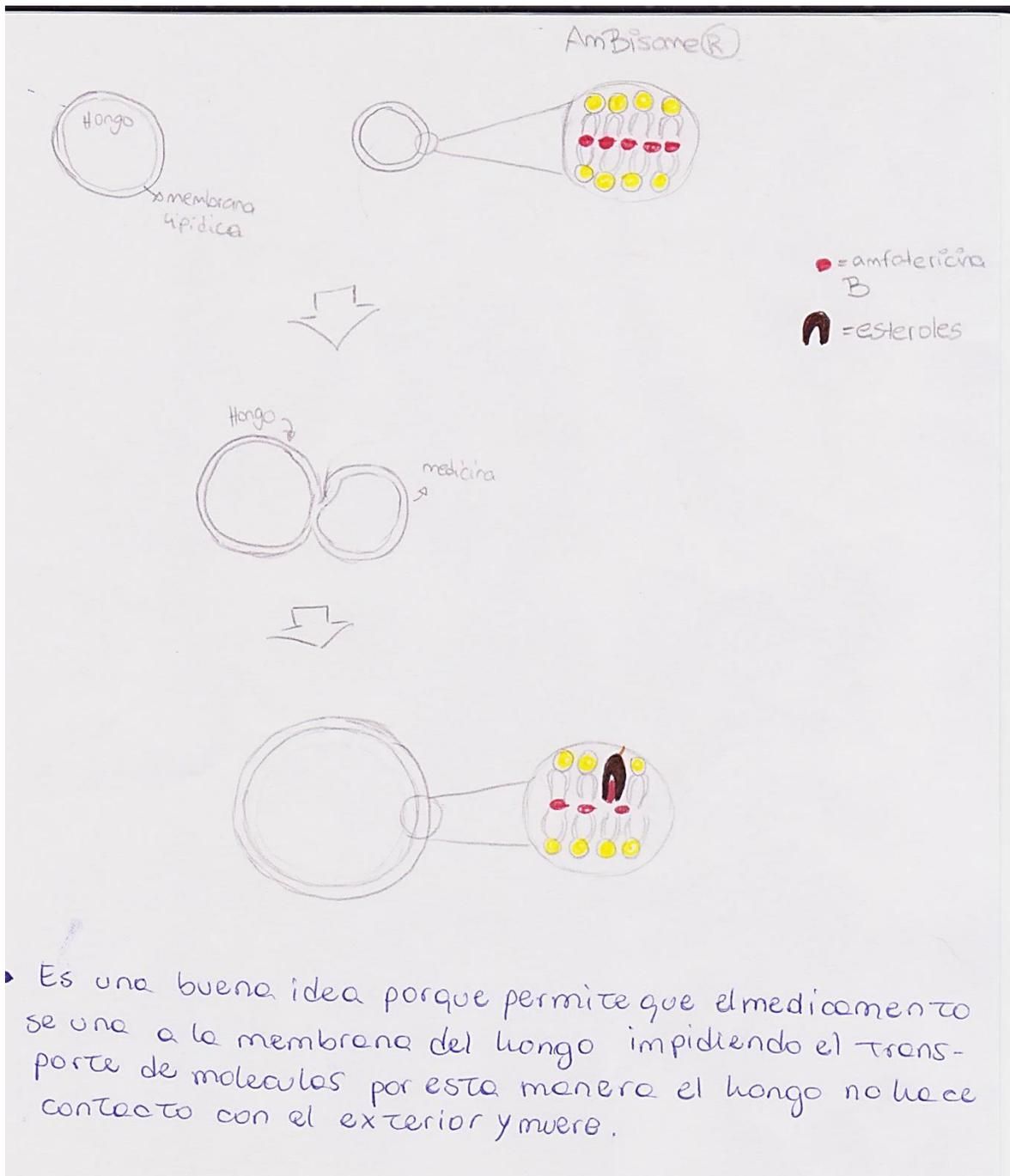
Modelos de aplicación 12: Grupo 2 explica acción de liposomas

Si bien en las producciones se advierte una aplicación razonable del modelo para la comprensión de la acción del fármaco, los textos producidos por los alumnos podrían reelaborarse en función de conseguir una adecuación del modelo y del lenguaje que lo expresa, destinado a quien no posee ningún conocimiento específico, como es el caso de la imaginaria “tía Marta”.

De todas maneras, se lograron definiciones textuales y gráficas muy sintéticas y transparentes como en G5.



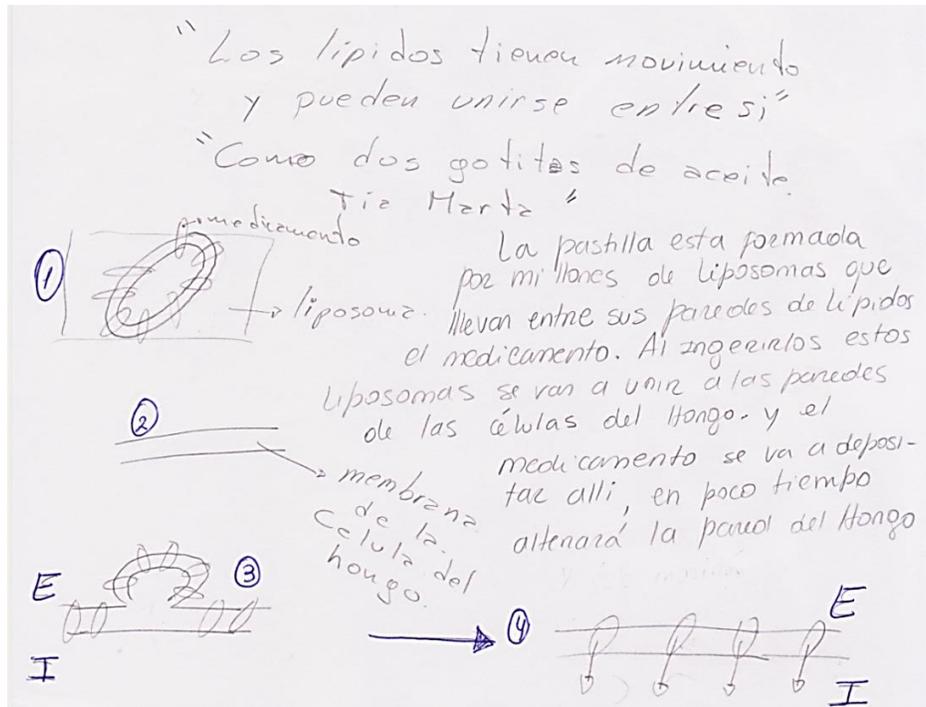
Modelos de aplicación 13: Grupo 5 explica acción de liposomas.



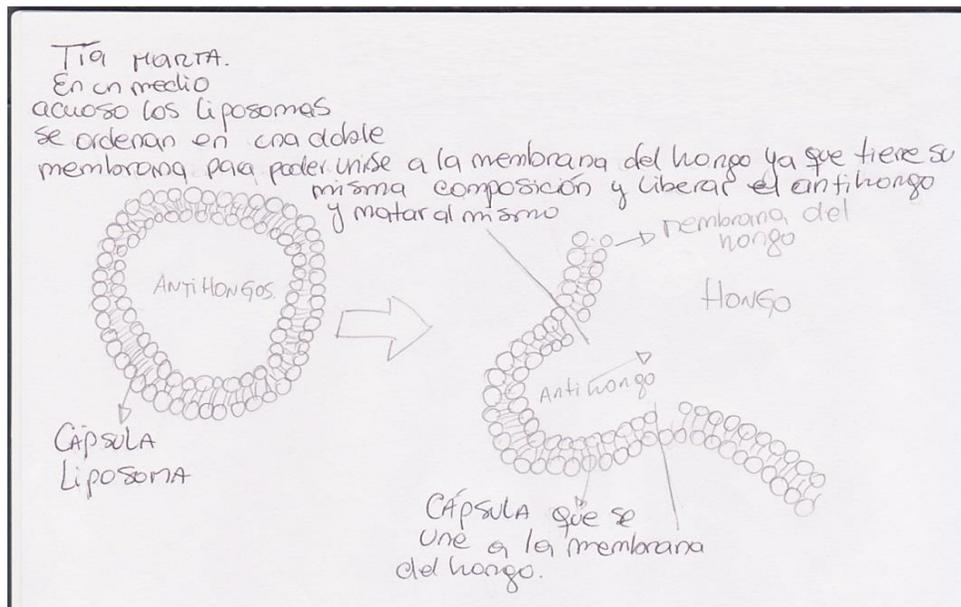
Modelos de aplicación 14: Grupo 6 explica acción liposomas.

G6 se advierte la inclusión de detalles que surgen del análisis del prospecto, como por ejemplo, que la anfotericina es lipófila y se encuentra integrada entre la doble capa de

lípidos. Los alumnos del G 8, recurren para la explicación a la analogía con las gotitas de aceite y logran de alguna manera, hacer más transparente la primer parte de la explicación.



Modelos de aplicación 15: Grupo 8 explica acción de liposomas.



Modelos de aplicación 16: Grupo 9 explica acción de liposomas.

Los alumnos de G 9 dan continuidad al desarrollo de modelos gráficos moleculares que utilizaron en todas las actividades de aplicación.

8 Análisis del Estudio 2. Etapa 2

Tal cual se explicitó en el capítulo de la Metodología, en la descripción del contexto de implementación de la UD, la segunda etapa del Estudio 2 se llevó a cabo en fechas que complicaron el desarrollo normal de las clases. Se optó por hacer de manera presencial a la presentación del tema, de las consignas de trabajo y las puestas en común, y los alumnos organizados en grupos, llevarían a cabo las producciones fuera del horario de clase, reuniéndose personalmente o de manera virtual en el aula que, en la plataforma de la UNRN, tiene a disposición la materia.

8.1 El modelo de unidad de membrana no implicó unidad de modelos para explicar el origen de las organelas formadas por membranas

El desarrollo de esta actividad implicó la presentación de la problemática sobre el origen de las organelas, y se hizo vinculando el modelo de transporte de vesículas utilizado en la actividad de aplicación de la Etapa I del Estudio 2, con el modelo de unidad de membrana que Robertson estableció en la década del '60. (ver Gráfico 15). Para ello se utilizó una presentación ppt (ver diseño del Estudio 2, Parte II). Se contaba con la publicación de Scientific American: "La célula viva", la cual los alumnos iban haciendo transitar por el aula mientras transcurría la introducción, y les interesó conocer aspectos del contexto de producción de esas investigaciones, las que presentaban el resultado de los primeros estudios sistemáticos de la célula en el recientemente inaugurado campo de la microscopía electrónica. Una vez que se asoció el transporte de vesículas con el modelo de unidad de membrana que había propuesto Robertson, y se volvió a poner valor la primera actividad de aplicación de la Etapa 1, se presentó el modelo que el propio Robertson utilizó para explicar el origen de las organelas en el marco de una visión gradualista de la evolución. La imagen de pliegues de membrana que luego se desprenden y constituyen una organela "hecha de fosfolípidos" les pareció coherente a los alumnos con el transporte por vesículas analizado en el retículo endoplásmico y aparato de Golgi. En cambio, la presentación de la hipótesis de Margulis, respecto del origen

endosimbiótico de las mitocondrias, llevó a algunas discusiones y aclaraciones, ya que los alumnos sabían que las células bacterianas tienen una pared celular de peptidoglucano además de la membrana celular, lo cual derivó en suponer que la teoría endosimbiótica daba por supuesto que esa pared luego se había perdido al interior de la célula eucariota, ya que si no fuese así, no se ajustaría a las descripciones de estructura fosfolipídica hechas para esa organela por Robertson.

También algunos manifestaron su interés al visualizar, tal cual se expuso en una de las imágenes de la presentación, a cada una de estas posiciones encontradas como “faros teóricos” que “iluminan” una mitocondria, explicando desde dos visiones diferentes su origen.

La exposición de la introducción, sumada a las intervenciones de los alumnos, duró un poco más de treinta minutos, y al finalizar se planteó la situación que dio inicio a las actividades más enfocadas en el trabajo y la producción de ideas metacientíficas por parte de los alumnos.

8.2 Inicio de las discusiones sobre la construcción de los hechos científicos

Una vez introducidos los antecedentes de la discusión, se les presentó a los alumnos la consigna de trabajo:

Del planteamiento de esa discusión ya han pasado casi cincuenta años. ¿Qué suponen que ocurrió en ese tiempo? ¿Creen que alguna posición teórica pudo haber prevalecido sobre otra? Si fue así, ¿A raíz de qué creen que sucedió? ó ¿Es probable que aún no se haya resuelto? ¿Por qué?

Esta intervención llamó la atención de algunos alumnos, que manifestaron que esperaban que la clase terminara con el desenlace de la historia narrada por parte del profesor.

Las producciones solicitadas debían ser presentadas en un texto escrito, en la clase siguiente, dos días después.

Grupos	Reflexiones sobre el devenir de la discusión científica
G 2	<p><i>Ambos bandos no podemos imaginarlos como dos equipos compitiendo por un trofeo, sino como alternativas a la solución de un problema. La ciencia tiene el fin de producir modelos pero esto no quiere decir que la ciencia sea “LA VERDAD”. Creemos que las dos posiciones son aceptables, porque todos los científicos disponen de una teoría al momento de preparar algún experimento. Hay una que nos gustó más, porque cobra más sentido cuando lo aplicamos en el funcionamiento de la célula: el sistema de endomembranas de Robertson, se asimila más a los fenómenos de nuestra realidad</i></p>
G 3	<p><i>Creemos que prevaleció la teoría de Robertson, hasta que luego de ser publicada y estudiada la de Margullis, se dieron cuenta otros colegas que tenía razón en partes. Para nosotros, no se resolvieron las hipótesis, porque a través del tiempo se fueron estudiando y analizando, pero aún quedan ciertas dudas sobre su origen. Creemos que es un problema sin resolver...</i></p>
G 5	<p><i>Respecto de la discusión sobre las diferentes teorías, suponemos que continúa hasta la actualidad, hasta que pueda observarse una célula primitiva replegándose a sí misma, dando origen al sistema de membrana que posee al interior de la célula; por lo tanto como en la actualidad no es posible encontrar una célula primitiva, dado que las células existentes hoy ya han atravesado una serie de cambios, no podrá saberse con exactitud cómo se dieron origen a los componentes internos de la célula. Ambas teorías tanto en sus inicios como en la actualidad tienen igual validez, sin prevalecer una por sobre otra, hasta que de manera concreta pueda observarse como si fuera la primera vez, la génesis del sistema de endomembranas, entre ellas las mitocondrias</i></p>
G 6	<p><i>Creemos que en este tiempo se han realizado diversos experimentos para poder resolver cuál de las dos teorías es más aceptable. Sí, es probable que aún no se haya resuelto porque la dos teorías tienen ciertos aspectos de validez y todavía no se ha podido resolver la aceptación total de una</i></p>
G 8	<p><i>Con respecto al planteamiento de las dos teorías, nosotras opinamos que el debate que surgió en la comunidad científica debe haber sido muy importante, pero que finalmente prevaleció la endosimbiótica sobre la gradualista. Creemos que es la que mejor expone la explicación de la formación de organelas. La endosimbiosis crea nuevos niveles de organización en la célula para que de esa forma aparezcan nuevos individuos con niveles de organización más amplios. Lo que nos lleva a pensar esto es que hoy en día la tecnología avanzó tanto que suponemos que si se pudiese llegar a explicar la teoría gradualista, o hubiese una mejor teoría ya se hubiese expuesto y dejaría de usarse la teoría endosimbiótica</i></p>
G 9	<p><i>Durante todo este tiempo, suponemos como grupo, que surgieron varios debates y propuestas de muchas hipótesis para avalar estas teorías, por lo que creemos que</i></p>

	<p>prevaleció la teoría endosimbiótica de Lynn Margulis ya que poseía más fundamentos lógicos que apoyen esta teoría; una asociación simbiótica entre distintos organismos como bacterias fotosintetizadoras y también otras, generadoras de oxígeno, que fueron fagocitados por otro organismo para afrontar los medios extremos en los que se vivía en la Tierra. Por último, de manera unánime creemos como grupo que esta teoría endosimbiótica, se encuentra sin resolver completamente, porque como estamos atados a diferentes cambios, puede que surjan nuevas teorías que en un futuro, expliquen diferentes y nuevos cambios que se produzcan a nivel celular.</p>
G 15	<p>Lo que suponemos que ocurrió durante ese tiempo fue que surgieron muchas ideas u hipótesis sobre la constitución de la célula y de sus organelas, a raíz de ello se constituyeron varias teorías sobre la evolución de la célula. Con respecto a la otra pregunta... no, no creemos. Y si, es probable que no se haya resultado porque no se sabe cómo fue la evolución de la célula. Pero se sabe que la estructura interna de la célula está constituida por lípidos</p>

Gráfico 62: Cuadro de reflexiones por grupo sobre la discusión científica planteada.

En el análisis de las producciones, es posible advertir que la consigna planteada generó en los alumnos un ámbito de discusiones, inédito para la mayoría y quizás, de no fácil resolución. Respecto del tratamiento de la idea clave disciplinar, los alumnos dieron pruebas de estar pensando significativamente en función de las dos hipótesis presentadas. Además, y sin que formara parte específica de la consigna, algunos grupos tomaron protagonismo a la hora de evaluarlas y calificarlas. El grupo 2, tomó partido por la hipótesis de Robertson, ya que les facilitaba la conexión con aspectos de la realidad (probablemente se referían al trabajo empírico de la primer parte, que les permitió resolver el problema de aplicación del transporte por vesículas) En cambio, los grupos 8 y 9 explicitaron su adhesión a la hipótesis de Margulis, uno, en función de que reconocieron que sería un buen mecanismo para lograr niveles de complejidad cada vez mayor (lo cual es notablemente convergente con el núcleo duro de la teoría de Margulis, al referirse a la endosimbiosis como mecanismo evolutivo general), el otro, por razones lógicas, de conveniencia de asociarse con organismos productores y respiradores.

Desde las reflexiones sobre el trabajo de pensar qué ocurrió con el devenir de la discusión científica, se advierte también que se dispararon diferentes posicionamientos frente al problema. Los grupos 2, 3, 9 y 15, argumentaron poniendo mayor énfasis en las cuestiones teóricas y, salvo el grupo 2, no hicieron mención a que, el desarrollo de la discusión hubiera implicado aspectos experimentales. El grupo 2 mencionó los experimentos pero los condicionó a la teoría desde la cual se lleven a cabo. En esta perspectiva, que analiza el devenir de la discusión enfocado en las hipótesis, los grupos coincidieron en que quizás no haya tenido resolución aún y que ambas hipótesis tengan valor.

Desde otra posición, los grupos 5 y 6 mencionaron la observación y la experimentación como elementos claves para poder pensar en una resolución de la discusión científica. Es muy interesante el planteo del grupo 5 ya que, centrado en la observación directa de lo que ocurrió como único método para determinar o no la validez de alguna de las hipótesis, concluyó que ante la imposibilidad de observar el hecho, las dos hipótesis tendrían igual validez.

El grupo 6, propuso que a lo largo del tiempo se debieron haber realizado experimentos, pero sin considerarlos concluyentes al respecto y también anticiparon que la discusión aún no habría quedado saldada. En el texto producido por el grupo 8, se mencionó el debate entre teorías y la posibilidad de que una explique mejor que otra, y también el elemento tecnológico (que podría asociarse con la experimentación) como determinante para decidir la suerte de la discusión.

Si se utilizaran como coordenadas a las corrientes epistemológicas a partir de un esquema clasificatorio de escuelas de pensamiento en filosofía (Sanmartí, 2000, adaptado de Nussbaum, 1989), se podrían considerar los argumentos de los grupos 2 y 5 emparentados a visiones constructivistas y empiristas respectivamente, ya que son los que más claramente explicitan los criterios que, entienden, son los fundamentales para determinar las condiciones en la que se dirimiría esta discusión científica: uno, enfatizando la necesidad de observar para conocer la verdad, otro, en la producción de modelos como diferentes alternativas para la solución de un problema.

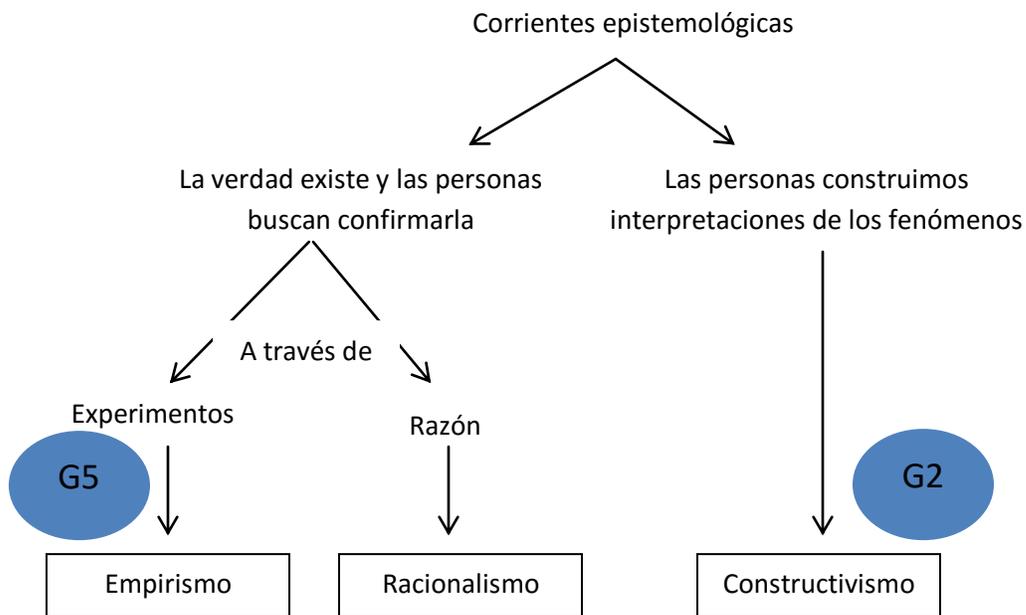
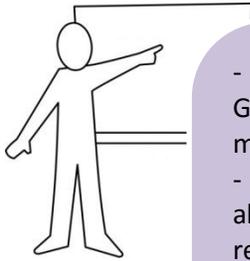


Gráfico 63: Esquema general de corrientes epistemológicas (adaptado de Sanmartí, 2000).

Ahora bien, identificadas estas posiciones más ejemplares, se advierte que la mayoría de los grupos presenta una visión moderada en cuanto a no considerar un elemento (por ejemplo empírico, como en los grupo 5 y 8) como determinante para la discusión, y sostienen que las hipótesis pueden haber continuado y que el problema siga aún sin resolución. Al momento de diseñar y proponer esta actividad, anticipábamos que la mayoría de los alumnos haría referencia a que la suerte de la discusión científica se dirimiría por medio de un experimento. Quizás, el trabajo realizado en la Etapa 1, al discutir el lugar de la observación y los aspectos construidos por los alumnos para caracterizar a los modelos científicos, haya permitido que en los análisis sobre la discusión científica planteada se implicaran más a los aspectos teóricos por sobre los empíricos.

Luego de la presentación que hicieron los alumnos de sus producciones, se generaron interesantes discusiones en el grupo clase, centradas fundamentalmente en el contenido de la intervención de G5, sobre la imposibilidad de “ver cómo fue” y la intervención de G2, respecto a que “ambos bandos” buscarían datos de la realidad actual para justificar sus

hipótesis. A partir de esto se puntualizaron algunos aspectos a modo de cierre problematizador de esta actividad:



- Que la idea de utilizar el concepto de modelo como la que llevó a cabo G2, podía permitirnos vincular esta parte del trabajo con el desarrollo de modelos al abordar la idea clave de fluidez y autoensamblaje
- Que, en referencia a lo expuesto por G5, no existiría entonces chance alguna de considerar a una hipótesis más válida que otra, ya que es imposible reeditar para su observación el fenómeno de evolución de la célula eucariota
- Que, en función de lo que plantea G2 también se vería dificultada la posibilidad de que una prevalezca sobre la otra, ya que los experimentos se adecuarían a las teorías.
- Qué, si en la ciencia es necesario validar las hipótesis que se sostienen, sería necesario comprender de qué manera esto se logra.

8.3 Discusiones sobre el ADN de las mitocondrias

Con el objeto de tensar los problemas construidos en la actividad anterior y comenzar a trabajar las relaciones entre los modelos en discusión que explican el origen de las mitocondrias y los datos empíricos, se les presentó a los alumnos la información relacionada con la descripción que en 1963, Margit y Silvan Nass, hicieron sobre la presencia de ADN mitocondrial.

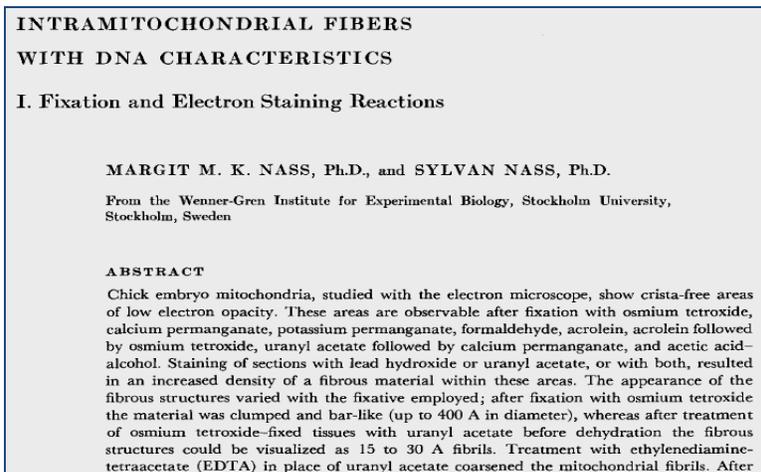


Gráfico 64: Imagen de la portada de la publicación de referencia

- Se les preguntó: *¿Creen que esta descripción tuvo alguna influencia en la discusión sobre el origen de las mitocondrias?*

Esta actividad quedó planteada en el aula virtual para ser elaborada por los alumnos, subir a ese espacio las producciones y luego hacer la puesta en común en la clase presencial.

Las respuestas que elaboraron los grupos 3, 5, 6, 8, 9 y 15, consideran el hallazgo de ADN como una prueba prácticamente decisiva a la hora de validar la hipótesis de Margulis, y en el contexto generado por la consigna de esta actividad, la cuestión empírica aparece ahora con una relevancia mayor que en la actividad anterior. G5: *“Si, seguramente el descubrimiento influyó sobre ambas teorías, ya que apoya el concepto de Margulis que se basa en la introducción de una bacteria dentro de la célula. Por lo tanto, como es una bacteria, posee su propio ADN”.*

Además, algunos grupos desarrollaron argumentos interesantes y pertinentes relacionados con la idea clave disciplinar, sobre el origen de las organelas. El G6, propuso que la descripción favoreció la teoría de Margulis porque *“todas las células eucariotas poseen su ADN encerrado por una membrana, el cual nunca sale del mismo, en base a esto se puede decir que las mitocondrias provienen de bacterias”.* El G8 propuso que *“por invaginación no se puede producir ADN. Sabemos que cada bacteria contiene ADN suelto, entonces es más probable que se haya encontrado ADN en las mitocondrias por endosimbiosis de bacterias que por invaginación de membranas”*

Por su parte, la respuesta del G2, continuó en línea con la idea que expresaron en la actividad 19 respecto de la direccionalidad teórica que tienen la búsqueda datos y el desarrollo de experimentos: *“Buscaron intencionadamente una cadena de ADN fuera del núcleo y dentro de las organelas para darle sustentabilidad a la postura de Lynn Margulis”*

Esta idea se contrastó con la del G3, quienes taxativamente habían afirmado *“Sí, tuvo influencia ya que el ADN encontrado en las mitocondrias era el ADN de las bacterias”.* El debate que se generó en la clase llevó a consensuar que la presencia de ADN en las mitocondrias era un elemento importante a la hora de ponderar la validez de una de las

hipótesis y se acordó que si el ADN de las mitocondrias se lo consideraba bacteriano era solo posible a partir de la teoría endosimbiótica de Margulis. Esto significó de algún modo un acuerdo con las ideas que el G2 venía manifestando desde el inicio de las tareas.

A continuación se presentó la consigna de la Actividad 21, destinada a continuar con la problematización de este tema, ya que ponía en consideración a la hipótesis de la filiación directa, mediante la cual Taylor, un gradualista implicado en la discusión, argumentaba a favor de pensar el ADN de las mitocondrias como un ADN desprendido del que luego quedaría encerrado en el núcleo. Esta información debían buscarla en el capítulo XX del libro *Deconstruyendo a Darwin*, de Javier Sampedro¹⁷

La consigna les pedía a cada grupo que completaran una viñeta con las dos explicaciones sobre el origen del ADN bacteriano.

A la clase siguiente, se socializaron las producciones que habían realizado los diferentes grupos. El completamiento de la viñeta tenía como sentido dejar esquematizado, al modo de los “faros teóricos” utilizados en la presentación de la discusión científica, a las dos hipótesis que explicaban la presencia del ADN en las mitocondrias. Todos los grupos hicieron la producción e identificaron con claridad las hipótesis rivales.

¹⁷ Javier Sampedro es Doctor en Biología, ha escrito libros de divulgación científica y entrevistó a Lynn Margulis

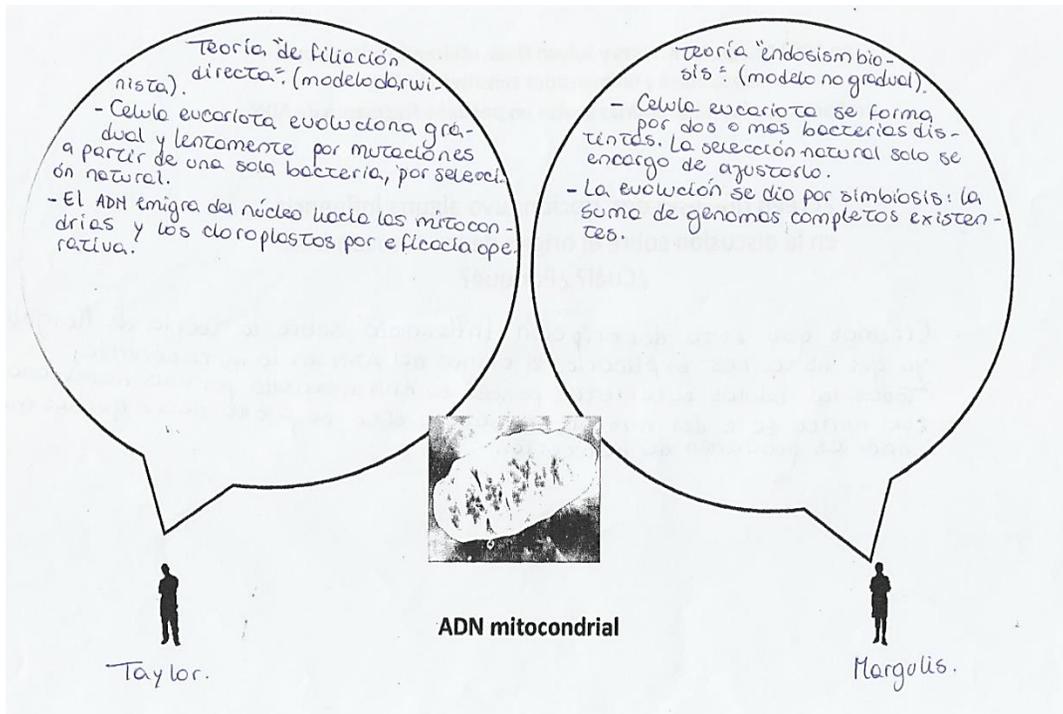
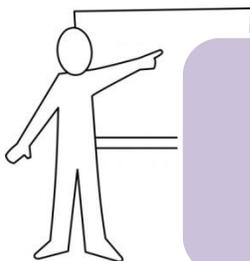


Gráfico 65: Elaboración de las hipótesis rivales. Ejemplo Grupo 6

Al presentar las producciones, algunos alumnos manifestaron que les había sorprendido la aparición de la hipótesis de la filiación directa, el modo en el que “no se daban por vencidos” y seguían defendiendo al gradualismo.

También algunos alumnos plantearon que era más natural, “más fácil” para la hipótesis endosimbótica explica la presencia del ADN (como el ADN de las bacterias) y que para los gradualistas significaba tener que crear una explicación nueva. Así se fue arribando a la producción de una idea que fue consensuada con los alumnos.



- Las observaciones (en este caso, el registro de la presencia de ADN en las mitocondrias) están orientadas desde el contenido de las hipótesis que se sostienen sobre el origen de las organelas, esto es, los datos por sí mismos no parecen tener sentido sino es en función de las hipótesis que los explican razonablemente.

Luego de este avance sobre el desarrollo del tema, y como una inflexión más en la espiral de problematización diseñada en la secuencia didáctica, se les pidió a los alumnos que reflexionaran sobre qué aportes a la discusión habría traído la posterior descripción, citada por Sampedro, que se realizó del ADN mitocondrial, la cual lo colocaba más cercano al ADN de las bacterias que al ADN del núcleo de las células eucariotas. Esta cuestión quedó reformulada en el esquema de los grupos.

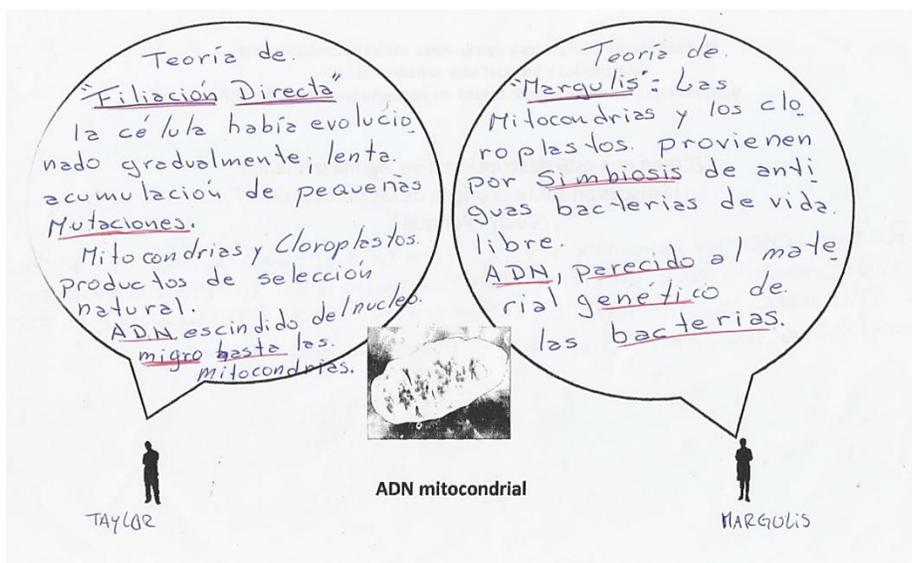


Gráfico 66: Avance en la elaboración de las hipótesis rivales. Ejemplo Grupo 8

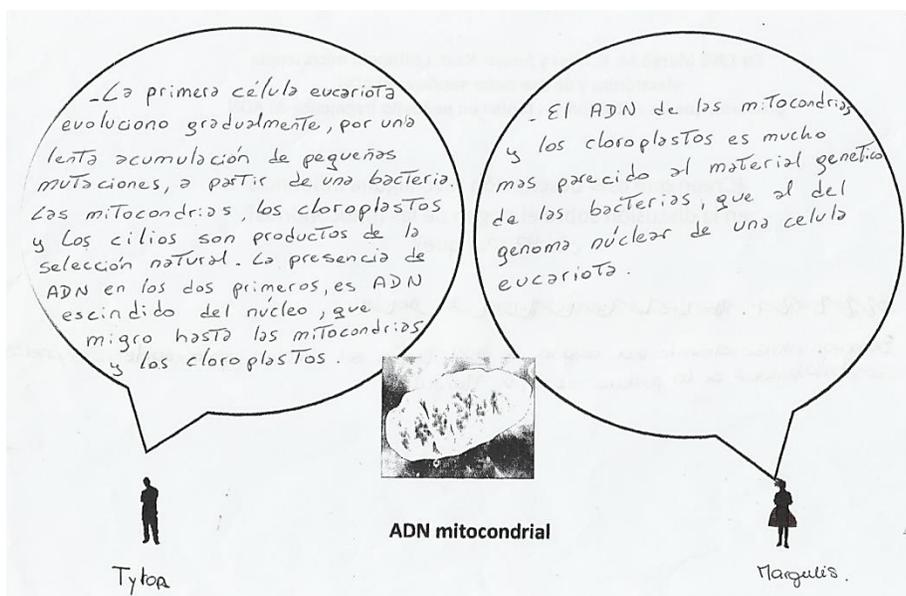


Gráfico 67: Avance en la elaboración de las hipótesis rivales. Ejemplo Grupo 9

Llegado este punto y a partir de las reelaboraciones que llevaron a cabo los alumnos, se retomó la idea de los modelos como mediadores entre la teoría y la realidad, que había sido explicitada en la Etapa I, y se acordó en proponer que el carácter del ADN bacteriano descripto era explicado mejor desde una hipótesis endosimbiótica que desde la teoría de la filiación directa. La idea que se consensuó con los alumnos fue la siguiente:



El modelo de origen bacteriano de las mitocondrias **es mejor** mediador que el de filiación directa para explicar la presencia de ADN mitocondrial

8.4 El estado actual de la discusión ¿Dónde buscarlo?

Con el objeto de poder confrontar ahora las ideas iniciales que los alumnos habían explicitado respecto del devenir de la discusión planteada, se les pregunto: *¿Dónde buscarían información para saber en qué estado, en la actualidad, quedó la discusión generada a mediados del siglo pasado?*

La pregunta no tuvo respuesta inmediata por parte de los integrantes de la clase. Así el profesor para aclarar el sentido de la consigna, retomó la discusión y planteó nuevamente la cuestión de dónde sería posible encontrar información para saber hoy, cuál fue el resultado de aquella disputa sobre el origen de las organelas. Algunos alumnos propusieron a la clase las siguientes fuentes.

- *Preguntarle a científicos que investiguen sobre el tema*
- *Buscar publicaciones en internet*
- *Buscar en los libros de biología que utilizamos en la materia*

Todas fueron consideradas pertinentes y, respecto de la última alternativa, el profesor planteó la consigna planificada orientada a analizar en la bibliografía de referencia de la materia (Alberts, Campbell, Karp, Curtis, Sadava) los apartados que se refieran a las

organelas, en particular mitocondrias, cloroplastos y también otras como el retículo endoplasmático y el aparato de Golgi, que formaban parte de la hipótesis gradualista.

¿Qué lugar ocupan en los textos de hoy, luego de 50 años, los dos modelos que se debatían en aquella época? ¿Qué reflexiones pueden hacer al respecto?

En clase se contaba con diferentes manuales de Biología y los alumnos comenzaron a trabajar en grupos. Luego, para la próxima clase debían traer la producción escrita para socializar con los demás.

A continuación, se presentan fragmentos de algunos de los textos consultados por los alumnos, en los cuales se hacen evidentes las actuales adscripciones a los modelos implicados en la discusión.

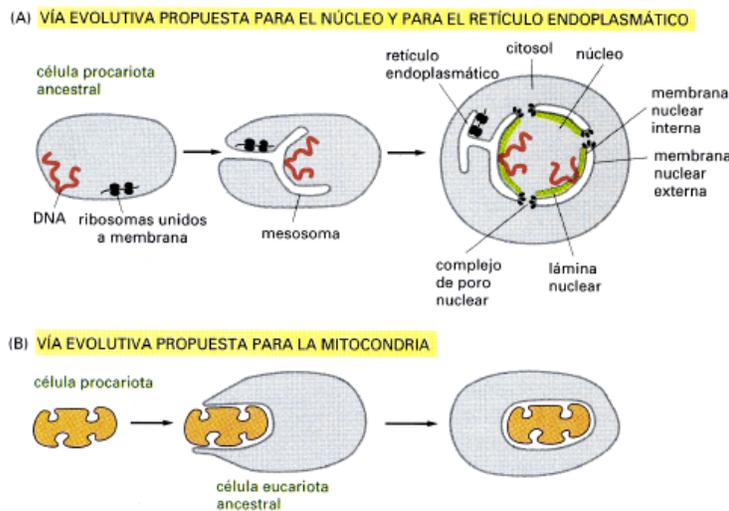


Figura 12-5 Hipótesis sobre el origen evolutivo de algunos orgánulos rodeados de membrana. Los orígenes de las mitocondrias, de los cloroplastos, del ER y del núcleo celular pueden explicar las relaciones topológicas existentes entre estos compartimientos intracelulares en células eucariotas. (A) Posible vía para la evolución del ER y del núcleo. En algunas bacterias el DNA se halla unido a una invaginación de la membrana plasmática llamada *mesosoma*. En células procariotas muy primitivas, una invaginación de este tipo pudo dar lugar a una envoltura alrededor del DNA permitiendo todavía el acceso del DNA al citosol celular (necesaria para permitir que el DNA pueda dirigir la síntesis de proteínas). Probablemente esta envoltura se generó completamente a partir de la membrana plasmática, produciendo un compartimiento limitado por una doble membrana. Tal como se ilustra, la envoltura nuclear está organizada mediante una capa fibrosa denominada *lámina nuclear*, que está atravesada por canales de comunicación denominados *complejos de poro nucleares*. Dado que el núcleo está rodeado por dos

como también predice el esquema de la Figura 12-5A, el espacio entre las dos membranas nucleares es topológicamente equivalente al exterior de la célula y es continuo con el lumen del ER.

Como se discute en el Capítulo 14, las mitocondrias y los cloroplastos difieren de los otros orgánulos rodeados de membrana en que presentan su propio genoma. La naturaleza de estos genomas y la estrecha similitud existente entre las proteínas de estos orgánulos y las de algunas bacterias actuales sugiere claramente que las mitocondrias y los cloroplastos evolucionaron a partir de bacte-

Gráfico 68: Extraído de *Biología Celular Molecular* (Karp, 2009).

De acuerdo con la versión de la teoría endosimbiótica, un gran procarionta heterotrófico y anaerobio ingirió a un pequeño procarionta aerobio (paso 1, fig. 1). El pequeño procarionta resistió la digestión dentro del citoplasma y estableció su residencia como un endosim-

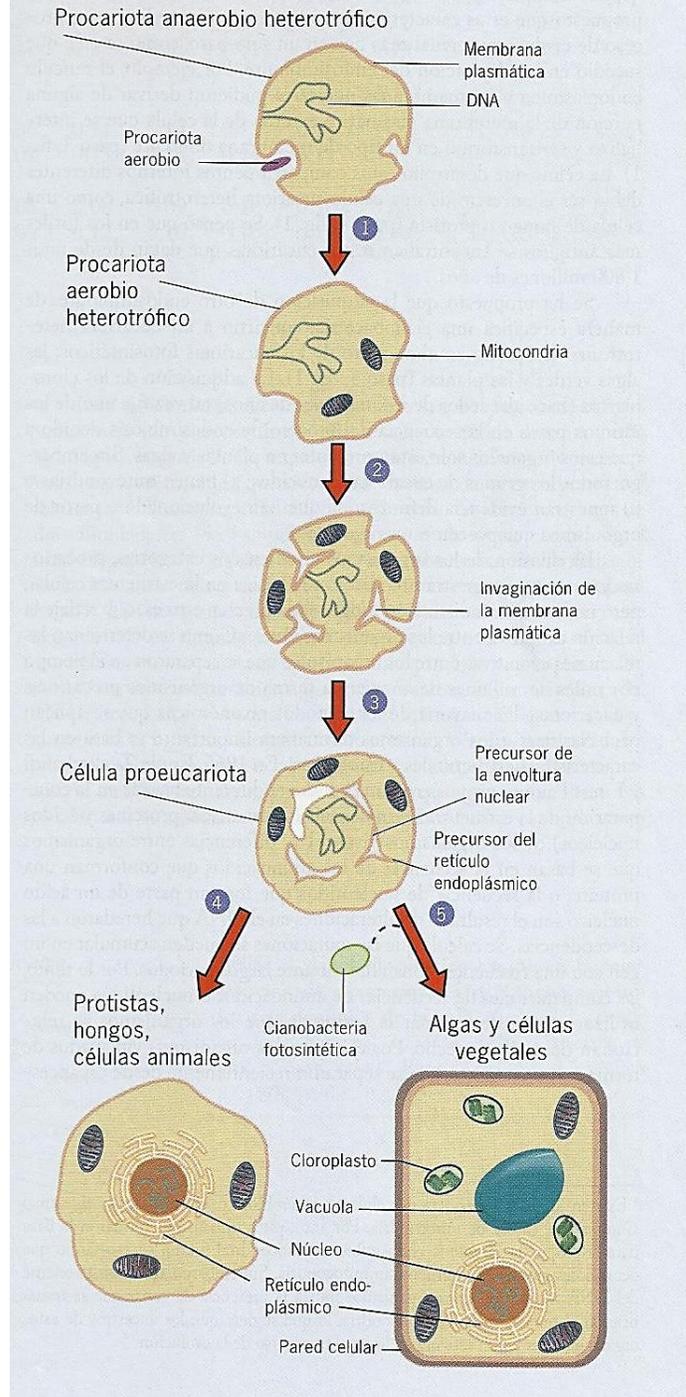


Gráfico 69: Fragmento de *Biología Molecular de la Célula* (Alberts, 2004).

En Biología de Curtis *aparece el siguiente texto:*

“Hace 30 años la investigadora Lynn Margulis propuso la teoría endosimbiótica para explicar el origen de algunas organelas eucariontes, especialmente las mitocondrias y los cloroplastos. Esta interpretación no es extensiva al origen de la membrana nuclear, la cual se habría establecido por una invaginación de la membrana celular” (Curtis, 2008, p. 24)

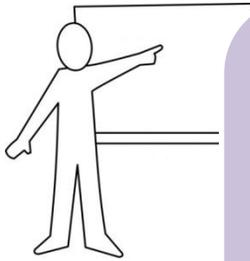
Las producciones que llevaron a cabo los alumnos dan cuenta de estar orientadas hacia la visión del devenir de la discusión como un terreno en el cual los componentes teóricos tienden a mantenerse activos y que los aspectos empíricos no los determinan totalmente sino que los limitan a ciertos aspectos de la realidad que se estudian: G2 *“El origen de organelas, como mitocondria y cloroplastos, se atribuye a Lynn Margulis, la cual propone la teoría endosimbiótica, y por otro lado el origen de la membrana nuclear, y organelas como, aparato de Golgi y RE, se atribuye al gradualismo, el cual propone la teoría de invaginación de membrana. Actualmente las dos teorías conviven, ya que ambas teorías son robustas y sirven para explicar los modelos que estudiamos”*

También se explicitan algunas ideas que apuntan a la consideración de la ciencia como un terreno de consensos: G3 *“Los científicos lo resolvieron aceptando las dos teorías para ciertas partes de la célula. Nuestra reflexión al respecto fue que los científicos fueron complementando la dos teorías para un mejor entender del origen y la evolución de la célula”.*

Al desarrollar la tarea, los alumnos del G9 realizaron por propia iniciativa un ejercicio comparativo entre ediciones diferentes de un mismo texto, que les permitió aproximar ideas muy interesantes relacionadas con el proceso de transformación de una hipótesis, analizadas en nuestro caso como tal al interior de la discusión científica, en una teoría aceptada: G9 *“Realizamos una comparación ya que disponíamos de dos ediciones del manual Biología de Curtis, para conocer las posturas que se presentan en los libros con el paso del tiempo. Encontramos que en la quinta edición, año 1996, presenta a la actual teoría como una hipótesis interesante, transcurrido once años, en la séptima edición (2008), ya es presentada como una teoría. Nos hace pensar que aceptarla fue un largo*

recorrido, y que sin irnos muy lejos, solo a estos once años que separan a las ediciones, nos muestra que en la primera se la consideraba una idea, un intento de explicar dicho fenómeno, y que si bien hoy por hoy es aceptada, tuvo que peregrinar entre teorías y comunidades científicas, hasta poder aparecer en nuestros libros”.

De este modo, se realizó el cierre de esta serie de actividades considerando diferentes ideas y consensos logrados:



- Dos son los modelos que en la actualidad explican la evolución de las organelas en las células eucariotas: el gradualista para organelas que forman vesículas (Retículo endoplásmico, Aparato de Golgi) y el endosimbiótico para organelas que no forman vesículas (mitocondrias y cloroplastos)
- La ciencia entendida como un trabajo orientado por teorías, construye hechos científicos en función de fortalecerlas.
- La visión de los científicos como actores activos e interesados en el desarrollo de determinadas hipótesis y a la vez racionales en el sentido de complementarse para dar cuenta de la realidad con mejores modelos, esto es, la visión de la ciencia como un conjunto de modelos consensuados. (Pujalte et al, 2011)

8.5 Sobre los descubrimientos. Análisis y reescritura del texto de un blog

El desarrollo de esta última actividad estuvo afectado por cuestiones extraacadémicas (antes mencionadas) y se vio dificultada la participación de los alumnos en el transcurso de las clases. De este modo, el análisis se realizó sobre las producciones de los Grupos 8, 9 y 15.

El sentido del trabajo fue poner en un contexto histórico el trabajo de Margulis y comprender aspectos relacionados con la aparición de la hipótesis de la endosimbiosis. El texto de Javier Sampedro presenta detalles a los que accedió a través de diferentes entrevistas que realizó a Lynn Margulis, los que dan cuenta del sustantivo y complejo proceso de desarrollo de la hipótesis endosimbiótica, la que no fue formulada por primera vez por Margulis, sino por otros investigadores como Merezhkovsky, a fines del siglo XIX y Wallin a principios del siglo XX, no reconocidos en el ambiente académico estadounidense. Este aspecto es prácticamente ignorado por la bibliografía que trata la

teoría endosimbiótica, básicamente por el tratamiento descontextualizado que dan a la presentación de los modelos.

La formación académica que recibía Margulis era “nucleocentrista”, en consonancia con el apogeo de la visión gradualista, ya en el contexto de la genética, y expresada en Genética y el origen de las especies (Dobzhansky, 1937, en Sampedro 2002) y no atendía a otras visiones alternativas.

La situación disparadora inicial fue la presentación de un blog en la web, en la cual atribuyen a Margulis haber descubierto que los cloroplastos y mitocondrias son en realidad bacterias endosimbióticas.

“Y es que Lynn Margulis, la gran científica, efectivamente descubrió que los cloroplastos, los orgánulos celulares de las algas (y por tanto, de las plantas terrestres) responsables de realizar la fotosíntesis son en realidad cianobacterias atrapadas en una relación simbiótica, como si de granjas intracelulares se tratase. También descubrió que las mitocondrias, ese otro orgánulo con forma de judía, siempre referido como la central energética de la célula eucariota, también tuvo su origen como una bacteria engullida por otro organismo unicelular. ...”

(<http://evolucionarios.blogalia.com/historias/70820>)

Así, y del mismo modo que al inicio del trabajo tuvieron que discutir sobre el sentido otorgado al concepto modelo, se les propuso discutir en los grupos si estaban de acuerdo, como lo hace el blog, de utilizar la palabra “descubrimiento” en el trabajo que llevó a cabo Margulis. ¿Por qué? ¿Qué sentido le dan?

En esta primera aproximación, los alumnos de los grupos 8, 9 y 15 consideran apropiado hacer ciertas salvedades a lo que implica el concepto de descubrimiento:

G8 *“No estamos de acuerdo, ya que Margulis no descubrió las organelas, sino que formuló una teoría en base a sus conocimientos, justificando la formación de estas organelas...”*

G9 *“Sí, estamos de acuerdo con la palabra “descubrir” (el entrecomillado es de la producción de los alumnos) ya que el descubrimiento lleva un estudio previo y análisis sobre un tema y se da el mismo porque se llega a la realidad que se estuvo investigando”*

G15 “Margulis presenta un modelo teórico acerca de la evolución de las organelas y lo que hizo durante años no fue “descubrir” (sic) sino sostener su propia teoría”

Con sus matices, en todos los casos es posible advertir que el descubrimiento se encuentra desde la visión de los alumnos, ligado a marcos teóricos, lo cual es coherente con las producciones realizadas antes.

La continuidad de las actividades implicó la lectura de una parte importante del capítulo del libro de Sampedro destinado a la producción de Margulis.

Las consignas que se ofrecieron para organizar la lectura fueron las siguientes:

¿Por qué Sampedro dice que el “primer descubrimiento” de Margulis fue bibliográfico?

¿Con qué ideas ya contaba Margulis al inicio de su trabajo previo a la formulación de la Teoría de la endosimbiosis?

A partir de este trabajo de lectura y análisis, al cual algunos alumnos definieron como muy interesante, se pudo comenzar a hacer visible el complejo entramado que generalmente se encuentra detrás de la connotación de descubrimiento que suele darse a la producción de un modelo teórico, por ejemplo, al situar en Margulis y su trabajo, el origen único y verdadero de la teoría.

La producción del G 15 da cuenta del trabajo realizado a partir de la lectura del texto seleccionado.

G15 Margulis buceó en la literatura, volvió a los libros olvidados de autores que en su época habían sido tratados como “locos”. Sostuvo que ellos tenían razón en lo esencial: que los cloroplastos y mitocondrias provenían de antiguas bacteria cobijadas en otras. Las ideas con las que contaba Margulis, previo a la formulación de la teoría de la endosimbiosis, eran: el rechazo combinado a las abstracciones matemáticas del neodarwinismo y al nucleocentrismo de la genética de Morgan, fueron las ideas que llevaron a Margulis a interesarse por los orgánulos celulares, como los cloroplastos y mitocondrias.

El ejercicio de pensar sobre la existencia de ideas previas al trabajo de Margulis, llevó a algunos alumnos a afirmar que los precursores, Ivan Wallin y Merehkovsky, también probablemente abrían considerado algunas ideas que les precedieron. Esto configuró un

interesante tema de discusión en la clase respecto de las dificultades de encontrar el origen de ciertas ideas y también la inconveniencia de asignar el mote de “descubridor” a quienes han sido elegidos por los historiógrafos, por ejemplo, como los “padres” de una teoría.

Como última actividad, se les solicitó a los alumnos que hicieran reescrituras del texto que se les había presentado en el blog, reelaborando el concepto de descubrimiento. El objetivo de la producción fue publicarlos en la página Facebook del profesorado el 8 de junio, ya que ese día de hace 48 años atrás, esto es en 1966, el *Journal of Theoretical Biology* recibió para publicar el primer trabajo de Lynn Margulis, "Origin of mitosing cells", en el cual daba cuenta de su teoría, trabajo que había sido rechazado quince veces por las revistas científicas más importantes de EEUU y Europa.

Las tres producciones fueron satisfactorias, en cuanto a contextualizar históricamente la producción de Margulis. Un ejemplo de las publicadas:

“Lynn Margulis, bióloga estadounidense, gran pensadora e innovadora que con sus propuestas y pensamientos, pudo hacernos comprender de que se trata la Teoría Endosimbiótica. Teoría que fue cuestionada y criticada por los científicos de los años 60 – 70, y que solo años más tarde, tras un largo camino recorrido fue aceptada. Y es que ella propuso, que los orgánulos que brindan energía a la célula, como las mitocondrias y cloroplastos provienen de células procariotas primitivas, una bacteria antigua que fue fagocitada por una célula huésped, dando así origen a la actual célula eucariota.

Como dijo alguna vez Borges: Todo genio crea a sus antecesores, y Margulis no fue la excepción, fue capaz de proponer sus ideas, basándose en estudios de científicos que habían sido olvidados y rechazados como Merezhkovsky y E. Ivan Wallin.

Ella luchó contra los escépticos de la época y contra teorías arraigadas y así el mundo conoció a una de las mujeres que revoluciono con sus ideas el mundo de la Biología”

El cierre del trabajo implicó la presentación por parte del docente investigador, de la idea clave metacientífica que había sido elaborada al diseñar la UD.



Las observaciones están cargadas de teoría y los hechos científicos se construyen. Las intervenciones sobre el mundo natural están orientadas por modelos teóricos que guían en la búsqueda y además proveen los instrumentos para hacerlas. Los denominados habitualmente “descubrimientos científicos” son en realidad construcciones que relacionan teorías con hechos del mundo, así, los hechos científicos son fenómenos de la realidad controlados e intervenidos teóricamente.

Del mismo modo que lo realizado con las ideas claves disciplinares y metacientíficas de la Etapa 1, la idea clave se proyectó en el pizarrón, se destinó un tiempo para que los alumnos la leyeran y luego se les preguntó si consideraban que el trabajo realizado les había permitido aproximarse al contenido de la idea clave. Los alumnos manifestaron que sí y que la tarea les había resultado muy interesante. Algunos hicieron referencia a los “dibujos de un científico” que habían realizado en la tarea diagnóstica al inicio del cursado y plantaron que consideraban que contaban con ideas nuevas para pensar qué hace un científico y cómo funciona la ciencia.

9. Conclusiones de la investigación

El objetivo general del trabajo fue orientado a la interpretación de procesos de modelización científica y metacientífica en estudiantes de la materia Biología celular del profesorado en Biología. El material que se interpretó fue el resultado del diseño e implementación de una UD, en el contexto natural de clases y sostenida desde visiones teóricas sobre la ciencia y su enseñanza. Así, nuestra intención fue la de poner a prueba un conocimiento didáctico fundamentado, mediante hipótesis que se sustanciaron en cada una de las actividades diseñadas, dando cuenta de las expectativas que poseíamos sobre aquello que acontecería en cada una de las clases.

De este modo, construimos un hecho científico de naturaleza didáctica, el cual, en cada uno de los capítulos de esta investigación destinados al análisis, fue objeto de diferentes descripciones y caracterizaciones y ahora, en las conclusiones y para el cierre, lo será de vinculaciones con las ideas teóricas principales del modelo didáctico de actividad científica escolar.

Las producciones obtenidas en el Estudio 1, que fueron básicas y particularmente destinadas a la validación de situaciones claves para cada uno de los momentos de la tipología didáctica de referencia (Sanmartí, 2002), y las producciones obtenidas en la implementación del Estudio 2, más denso, orientado a fortalecer los procesos de modelización intermedia de la membrana y la modelización sobre las ideas claves metacientíficas, han puesto sobre relieve una serie de experiencias de enseñanza, más cercanas o más alejadas de las prescripciones teóricas, y que constituyen ahora una nueva dimensión del conocimiento didáctico, que podríamos complementar, denominándolo conocimiento didáctico “fundamentado y práctico”.

9.1 Conclusiones para cada uno de los objetivos específicos

9.1.1 Respecto de los objetivos vinculados a los estudios sobre el saber de referencia

9.1.1.1 Sobre el encuadre histórico–epistemológico

El desarrollo del encuadre histórico–epistemológico, como parte de los estudios sobre el saber de referencia llevado a cabo, implicó una revisión profunda de diferentes fuentes bibliográficas que, como aspecto central o complementario de sus desarrollos, abordaron modelos de membrana celular en la historia. Esas fuentes fueron refrendadas por diferentes especialistas del campo de la biología y de la filosofía de la biología a quienes consultamos, y las consideraron como rigurosas y significativas para el sentido del trabajo a llevar a cabo en la investigación. La progresión de los diferentes modelos sobre el límite celular, presentados en un desarrollo diacrónico, fue analizada desde un encuadre semanticista de las teorías científicas (Giere, 1992) y desde esa perspectiva se llevaron a cabo las diferentes reflexiones epistemológicas incluidas en el capítulo. Así, lejos de proponer un relato a modo de “serie de descubrimientos”, en nuestro estudio, la membrana celular fue caracterizada como un modelo teórico que fue construido para especificar, para constreñir una diversidad de fenómenos que de alguna manera “se iluminaron” al momento del consenso, de la aceptación del gran modelo teórico de la célula como unidad constitutiva de los seres vivos.

Tal cual propone Adúriz-Bravo (2010) al describir los sentidos principales del encuadre histórico-epistemológico, creemos que el análisis llevado a cabo permitió recuperar la complejidad del proceso de construcción del objeto estudiado y también nos proveyó de insumos sustanciales para pensar diversos aspectos centrales de la UD. El trabajo realizado posibilitó que ciertos episodios históricos sirvieran como escenario para ambientar la discusión sobre determinados modelos que propusimos a los alumnos y también posibilitó la identificación y utilización de un “utillaje epistemológico específico para pensar aspectos concretos de la ciencia como actividad epistémica” (Adúriz, 2010, p 4): analogías, discusiones científicas, la descripción de una familia creciente de modelos de membrana que se ajustaron con más o menos éxitos a determinados tipos de fenómenos, entre otros. Así y tal cual propuso Matthews (1994), el enfoque contextualista es una herramienta significativa para mejorar la enseñanza de las ciencias y, en nuestro trabajo, creemos que esta visión se especificó en el contexto de la formación del profesorado en ciencias y cobró una importante dimensión, al constituirse como registro

de reflexiones metacientíficas que serán significativas para la formación didáctica de los futuros profesores.

Otro aspecto a destacar es que el desarrollo del encuadre histórico–epistemológico ha dejado a disposición una serie de descripciones y análisis epistemológicos sobre episodios históricos que pueden ser utilizados como insumos para el diseño de otras UD's relacionadas con la enseñanza de la célula y en particular de la membrana celular.

9.1.1.2 Sobre el análisis y crítica del estado del saber de referencia en libros de texto

El desarrollo del trabajo implicó la construcción de una serie de temas de membrana (Estructura básica. Fluidez y autoensamblaje - Intercambios - Sistemas de endomembranas -Formación de gradientes - Comunicación celular - Evolución de la membrana y de los sistemas de endomembranas - Historia de los modelos de membrana) los cuales, a modo de analizadores del capítulo que cada libro destina a la membrana celular, permitieron hacer una caracterización de los aspectos más destacados del modelo y de los fenómenos a los cuáles se extiende, y también de aquellos aspectos y fenómenos que prácticamente no son abordados pero que potencialmente serían significativos para la enseñanza.

En líneas generales se puede afirmar que los diferentes aspectos de los modelos desarrollados, algunos con más énfasis que otros, prácticamente no están contextualizados en una perspectiva evolutiva del desarrollo de la membrana celular y de los sistemas de endomembranas y, como fue planteado en el desarrollo del capítulo de referencia, la fluidez y el autoensamblaje es uno de los temas que, al ser advertido desde un análisis evolutivo, cobra un significado y una potencialidad explicativa de diversos fenómenos que difícilmente puedan abordarse desde el enunciado “mosaico fluido” presente en los textos, el cual solo tiene valor nominal ya que el contenido básicamente se centra en los fenómenos de intercambios a través de proteínas de membrana, para lo cual la fluidez no es un aspecto central, ya que para esa función la definición del modelo las considera estáticas.

Creemos que el análisis llevado a cabo permitió realizar una crítica, redefinir y determinar nuevos hechos significativos a investigar en la UD y los aspectos del modelo con el que se articularían, sentidos afines de alguna manera a los que Kuhn planteó como centrales en la actividad normalizadora de los libros de texto en el contexto educativo de la actividad científica (Kuhn, 2006).

También, lo producido en el capítulo de referencia según el objetivo planteado, ha dejado a disposición una serie introductoria de análisis sobre otros temas de membrana que podrían ser insumos de nuevos estudios didácticos.

9.1.1.3 Sobre la elaboración de las ideas claves disciplinares biológicas y metacientíficas

La formulación de las ideas claves disciplinares y metacientíficas fue el corolario de un complejo proceso que implicó diversos aspectos, como los estudios sobre el saber de referencia y también la consideración crítica de aspectos vinculados a las prácticas usuales de enseñanza de estos contenidos en la universidad (ver Gráfico 11). En ese contexto de análisis y producción, fue posible elaborar las ideas claves con la intención de seleccionar y plasmar en ellas una mirada particular sobre un saber de referencia, de la biología o de la epistemología, y transformarlo en un saber a enseñar, expresado mediante una proposición sencilla (Adúriz-Bravo, 2007). Otro aspecto a destacar luego de la implementación de la UD, es que las ideas claves no sólo fueron utilizadas como orientadoras del trabajo de diseño de la UD, sino también como proposiciones explícitas en el aula, al momento de que los alumnos pudieran confrontar las construcciones que llevaron a cabo con esas ideas de referencia. Esas instancias de clase, de explicitación de las intenciones educativas iniciales del profesor, al proyectar las ideas en una placa de .ppt para que los alumnos pudieran expresar si las consideraban inteligibles y significativas luego de todo el trabajo realizado, constituyeron momentos muy significativos de encuentro entre el docente investigador y los alumnos, al dar un cierre a un trabajo conjunto y expresar que tuvo un sentido y que fue fecundo y constructivo.

9.1.2 Respetto del objetivo vinculados al diseño de la UD

El diseño de la UDs implementadas en los Estudios 1 y 2, estuvo orientado por el modelo de ACE y, el pormenorizado detalle con el que se explicitó el trabajo de planificación en cada uno ellos, fue directamente proporcional a la importancia asignada a esta actividad, ya que es el modo de concretar las ideas, las intenciones educativas orientadas teóricamente y proyectarlas al aula de clase (Sanmartí, 2002). La planificación de cada una de las actividades, en función de la tipología de referencia (Sanmartí, 2002), implicó una ardua tarea y una parte sustancial del tiempo de desarrollo de la investigación, y las decisiones sobre el contenido final de cada una de ellas se tomó - luego de intensas sesiones de discusión y análisis con el Director y la Codirectora - sobre la base de los estudios vinculados al saber de referencia llevados a cabo, y sobre una numerosa serie de alternativas que se fueron construyendo para encontrar aquellas más significativas respecto de los momentos de iniciación, modelización intermedia, estructuración y aplicación, en relación con las ideas claves disciplinares biológicas y metacientíficas.

Creemos que, en función del marco metodológico que orienta a los estudios de diseño (Rinaudo et al, 2010a) se pudo lograr un significativo ciclo de implementación, análisis, rediseño del estudio 2 y vuelta al aula.

9.1.3 Respetto de los objetivos vinculados al análisis de los procesos de modelización de la membrana

9.1.3.1 Sobre el sentido y el desarrollo de las actividades de modelización inicial del modelo de “mosaico fluido”. El inicio de la construcción de un “hecho paradigmático” y un “hecho retórico”

En el marco de la actividad científica escolar, las actividades de iniciación deben ofrecer oportunidades a los alumnos para pensar un aspecto de interés de la realidad, mediante representaciones simbólicas y modelos mentales, y también para comunicarlo, utilizando convergentemente diferentes lenguajes o sistemas semióticos (Paz et al., 2008). En este marco, la situación problemática de naturaleza socio-científica, vinculada a la manipulación de células en la fertilización in vitro, dio lugar a una expresión de interés por

el tema por parte de los alumnos. Es una cuestión que consideraron relevante y cercana en algunos casos, por familiares que requerían de prácticas similares.

Respecto de la producción de modelos iniciales, es posible advertir que en la mayoría de ellos, 29 de 33 alumnos, se logró otorgar un sentido al fenómeno analizado, que esa representación mental, expresada mediante gráficos y textos, se convirtiera en un símil del fenómeno. Así, en el seno de la UD que desarrollamos, el problema presentado referido a la manipulación de un óvulo con una micropipeta, se convirtió en el inicio del desarrollo de un “hecho paradigmático”, esto es, el inicio del proceso que llevará a la transformación teórica del fenómeno por parte de los alumnos, en el transcurso de la UD (Paz et al., 2008).

En cuanto a los lenguajes utilizados, la actividad de iniciación dio lugar al desarrollo de habilidades cognitivolingüísticas, cuyo sentido principal es permitir que el lenguaje comience a integrarse significativamente con los hechos estudiados. En las producciones, los alumnos describieron el fenómeno con textos y gráficos y lo hicieron de diferentes maneras, en dos y en tres dimensiones; lo expusieron utilizando diferentes perspectivas, a nivel celular, a nivel molecular y argumentaron razonablemente por qué, en función de los atributos que le confirieron, la micropipeta no dañaría la célula al ingresar y salir de ella. Estos elementos son indicadores del inicio de la construcción del hecho retórico (Paz et al., 2008) que de algún modo es la dimensión lingüística de la construcción del hecho paradigmático, del hecho científico escolar.

Por otra parte, creemos que además de permitir a los alumnos aproximarse al modelo biológico en cuestión, las actividades de iniciación crearon un espacio significativo para debatir -por supuesto, de manera absolutamente preliminar- ideas sobre el lugar de la observación en la producción de conocimientos científicos. Ese también fue un episodio en el cual los alumnos fueron interpelados desde la producción de argumentos respecto del rol de la observación en la producción de conocimientos sobre el fenómeno. Aquí es necesario destacar el nivel de participación de los alumnos y el interés que manifestaron por debatir en las discusiones, lo que en realidad implicó la activación de análisis de segundo orden, recursivos, sobre “lo pensado que pensaban que iba a ocurrir” si

observaban el fenómeno, análisis que, para la mayoría de los alumnos, posiblemente hayan sido inéditos en el ámbito de su formación científica escolar.

9.1.3.2 Sobre las actividades de modelización intermedia para la idea clave de fluidez y autoensamblaje

Luego de explicitados los modelos iniciales, la actividad científica escolar presupone que los estudiantes además de pensar y comunicar, comiencen a actuar, esto es a accionar y adquirir experiencias significativas sobre sus intervenciones en la realidad, tensando los modelos y además introduciendo en el análisis nuevos puntos de vista, lo que implicará, de acuerdo a lo propuesto en el marco teórico, *“nuevas formas de mirar, de razonar, de sentir y de hablar acerca de los fenómenos objeto de estudio...”* (Sanmartí, 2002, p 188).

En el pasaje de las producciones individuales de las actividades de iniciación a las grupales de esta etapa, el desarrollo de estrategias cognitivolingüísticas se advirtió en la justificación del modelo inicial que debió hacer cada uno de los alumnos, en la discusión conjunta sobre los resultados de la confrontación con los materiales y en la justificación de la elección de un sistema material elegido por el grupo, que diera cuenta del fenómeno. Luego, y a partir de la introducción de un nuevo punto de vista para analizar el problema, en este caso el de Quincke, al caracterizar como lipídica a la naturaleza química de las pompas y de la membrana, se dio lugar a un proceso de modelización que permitió el pasaje entre las propiedades macroscópicas (advertidas en la manipulación de las pompas y las gotitas de aceite) y las definiciones gráficas del comportamiento de esos sistemas a nivel molecular, cargando a la misma analogía de nuevos significados y dando lugar al desarrollo de producciones gráficas y de texto densas y exhaustivas, con buenas argumentaciones, robustas a la hora de explicar la unión de gotas de aceite y de pompas de jabón.

Una de las instancias que posiblemente mayor peso tuvo en la activación de estrategias para lograr una definición gráfica de un fenómeno, fue la situación en la que tuvieron que pensar qué disposición adquirirían moléculas de lípidos puestas en agua, para luego poder explicar la unión de las mismas. Imaginar, discutir, graficar, justificar, identificar

inconsistencias, corregir, modificar, volver a graficar y luego argumentar por qué la estructura de micelas permitía explicar el comportamiento de la unión de gotas de aceite, y luego de las pompas, fueron actividades efectuadas por la mayoría de los alumnos en los grupos. Las habilidades para resolver la situación implicaban el manejo de símbolos (lípidos) que permitieran una buena “conexión textual” (Paz, et al, 2008) entre las ideas y los hechos.

Por otra parte, en el desarrollo del Estudio 2 es posible identificar aspectos que no fueron previstos en su diseño ya que, desde la explicitación de las ideas iniciales y la posterior confrontación con los materiales, el trabajo de los alumnos dio lugar a producciones que, de algún modo, fueron anticipando etapas y rompiendo la linealidad que se preveía al diseñar. Esto se vio en el caso de las pompas que aparecieron tempranamente por la propia interacción con los materiales. La identificación inicial de sustancias como el aceite, también tuvo una continuidad en la producción de las maquetas, ya que es la sustancia sobre la que descansan las pelotitas de telgopor y la que “las mueve” para autosellarse luego de la entrada de la pipeta. Esto fue advertido por los alumnos que lo utilizaron.

A partir del análisis de las producciones es posible afirmar que por medio de las actividades de modelización intermedia, se avanzó significativamente en la reconsideración teórica del fenómeno, en su construcción como hecho científico escolar y también en el desarrollo de la retórica que implicó interacciones dialógicas significativas y la comunicación de las ideas reformuladas. En el marco de la construcción de las teorías científicas escolares, la consideración del problema de la manipulación de células con micropipetas para la fertilización in vitro, se constituyó como un caso que fue bien resuelto y por lo tanto pasó a constituirse como ejemplar (Izquierdo Aymerich 2007 en Paz, 2008), esto es como un hecho paradigmático que permitiría conectar significativamente, mediante una representación, el modelo de fluidez y autoensamblaje de la membrana con un fenómeno de la realidad.

9.1.3.3 Sobre las actividades de estructuración/síntesis

La estructuración de un modelo científico escolar “ya no se relaciona con la explicación de un determinado fenómeno, sino con la explicación del modelo utilizado para explicarlo” (Sanmartí, 2002, p. 190). Una parte de este trabajo se llevó a cabo en las actividades de modelización intermedia, a partir de la construcción de las maquetas, las cuales daban cuenta de la definición de diferentes modelos analógicos que permitían explicar el fenómeno del ingreso de la micropipeta al óvulo, pero que a la vez podían ser explicadas (las maquetas) por los alumnos, desde las hipótesis teóricas que habían construido sobre la estructura y propiedades de la membrana celular.

La otra etapa que consideramos como parte de la estructuración del modelo, fue la de establecer un diálogo entre las producciones de los alumnos y las definiciones presentes en los libros de texto. Respecto de esto, creemos que con el trabajo de modelización desarrollado hasta aquí, se generaron las condiciones para sortear, quizás, el problema más importante del estudio de las definiciones en los textos que se les solicita a los alumnos, que es la no comprensión del tipo textual académico en función de no poseer un modelo robusto del fenómeno de referencia (Paz et al., 2008).

Así, el sentido de utilizar manuales de biología para confrontar los modelos científicos presentes en ellos, con los modelos ya construidos por los alumnos en el trabajo previo, fue explicitado a los estudiantes como un objetivo específico de la tarea, en función de diferenciarla de la utilización más común que se hace de los mismos, básicamente como fuente inicial de consulta o como “profundización” de las definiciones usualmente presentadas en clase por los profesores.

Respecto del desarrollo de habilidades cognitivas lingüísticas, una de las tareas que posiblemente más comprometió a los alumnos en las actividades de estructuración, fue el análisis del experimento de Goertel y Grendel. En el recorrido que los profesores hacían a los diferentes grupos, se advirtió el desarrollo de algunas estrategias que ponían en juego para la comprensión, como por ejemplo, hacer esquemas gráficos “de los pasos” del relato. Al finalizar el análisis, los alumnos pudieron explicar de manera sencilla en qué consistió el trabajo de los investigadores y cómo llegaron a los resultados.

Otro aspecto implicado en la estructuración del modelo, fue el análisis que los alumnos llevaron a cabo de la denominación “mosaico fluido” asignada por Singer y Nicholson, pero ese aspecto se encuentra incluido en el apartado relacionado con la idea clave epistemológica sobre los modelos analógicos.

9.1.4.4 Sobre las actividades de aplicación del modelo biológico construido

El itinerario en esta UD se inició centrado en el análisis de una situación particular y la intención con este grupo de actividades de aplicación fue ampliar el campo de situaciones y fenómenos con el objeto de extender el modelo científico escolar de fluidez y autoensamblaje y también generar instancias para su evolución. Pero justamente, uno de los problemas que afrontan los profesores en sus tareas habituales de enseñanza es la dificultad que tienen los estudiantes para transferir a nuevos núcleos de experiencias, los aprendizajes previamente construidos (Sanmartí, 2002).

Esto, que había sido advertido previamente por los directores de la tesis al momento de diseñar las actividades, apareció al inicio, cuando los alumnos tuvieron que dar sentido a la primera consigna. Allí fue necesario establecer algunos puentes que favorecieran la construcción de los significados que los alumnos debían darle a la situación, para luego poder aplicar el modelo en cuestión. Cuando se comprendió de qué se trataba la tarea y cuál era el nuevo problema a resolver (el transporte intracelular utilizando vesículas), los alumnos pudieron activar el contenido de la experiencia de modelización que habían llevado a cabo y, en ese caso, apareció con fuerza la analogía con la unión de las gotitas de aceite llevada a cabo en las actividades de modelización intermedia.

A partir de allí el fenómeno en cuestión ya pudo analizarse desde el modelo teórico y la totalidad de los grupos pudo comenzar a construir explicaciones sobre una idea que además es de una potencial connotación evolutiva, como es la de pensar un sistema económico de transportes de sustancias mediante bolsitas de lípidos y también pensar de qué manera se habría logrado esa propiedad en las células eucariotas, a partir de las primeras bacterias que no poseían esos sistemas. (De esta última cuestión, y del contexto evolutivo de pensamiento que dispara, se trata el desarrollo de la segunda etapa del

Estudio 2, orientada hacia el análisis de una discusión científica que tuvo como centro, a mediados del siglo XX, a teorías rivales que explicaban el origen de las organelas). La aplicación del modelo en la situación de la captura que la ameba hace de un paramecio y para la explicación de la acción de los liposomas en la administración de un fármaco, puso a los alumnos ante situaciones que convocaron su interés en alto grado e hicieron de la tarea uno de los momentos de mayor y masiva adhesión al trabajo (si bien esto se había registrado en otras instancias de la modelización intermedia).

Así, superadas las dificultades del inicio, la tarea de extender los modelos a nuevas situaciones fue muy gratificante para los alumnos y los profesores. La idea de un conocimiento que “sirve” se vio reflejado en la exclamación de 84, quién al poder armar teóricamente la situación del transporte de vesículas, manifestó a viva voz, “me emociona, me emociona entender”.

La aplicación de los modelos aprendidos, no solo permite extenderlos a nuevas situaciones, ajustarlos, complejizarlos sino que además otorga a los alumnos un sentido de empoderamiento, a partir de las oportunidades de intervenir con ellos en el mundo, ya sea para “iluminar evolutivamente” un fenómeno usualmente presentado de manera estática y fragmentada en la enseñanza, o para activar un sentido de protagonismo frente a situaciones cotidianas de la vida como la interacción con los prospectos farmacológicos (Lozano, et al. 2014 b). Por último, creemos que las actividades de aplicación han constituido uno de los puntos más altos en lo que refiere al desarrollo de habilidades cognitivolingüísticas y que las producciones de los alumnos, en general, dan cuenta de elaboraciones de textos con una clara intencionalidad comunicativa de los sentidos construidos antes y aplicados ahora a la explicación de diferentes situaciones.

9.1.4 Respecto de los objetivos vinculados al análisis de los procesos de modelización de ideas metacientíficas

9.1.4.1 Sobre el trabajo de modelizar la idea clave de modelo analógico, tomando como problema disciplinar el modelo de membrana de mosaico fluido

Las elaboraciones que llevaron a cabo los alumnos en esta parte de la UD fueron fundamentalmente de tipo epistemológico, al reflexionar sobre la naturaleza de los modelos, su elaboración, su utilidad y, en particular, la idea de modelo analógico se elaboró a partir de una ambientación en un episodio de la historia de las ciencias. Además, las actividades colaboraron en fijar coordenadas desde un realismo moderado para dar inicio a la reelaboración de ideas sobre la ciencia por parte de los alumnos (*“los modelos son representaciones”, “no son copias”*) y, por último, estas acciones sintonizaron con los contenidos disciplinares (fluidez y autoensamblaje de membrana) que se estaban abordando simultáneamente en la UD. Todos estos aspectos, que de una u otra manera pudieron sincronizarse en el trabajo, son los que Adúriz-Bravo (2006) considera adecuados y relevantes para una buena formación inicial en naturaleza de la ciencia de los futuros profesores en ciencias.

El desarrollo de habilidades cognitivo lingüísticas de los alumnos en este apartado fue estimulado desde las diferentes actividades propuestas, pero un punto clave creemos que estuvo dado por las tareas metacognitivas, de pensar sobre sus propias elaboraciones, esto es, los alumnos pudieron construir reflexiones y conceptualizaciones metacientíficas, de segundo orden, pensando sobre sus propias producciones de primer orden, llevadas a cabo sobre el fenómeno biológico estudiado.

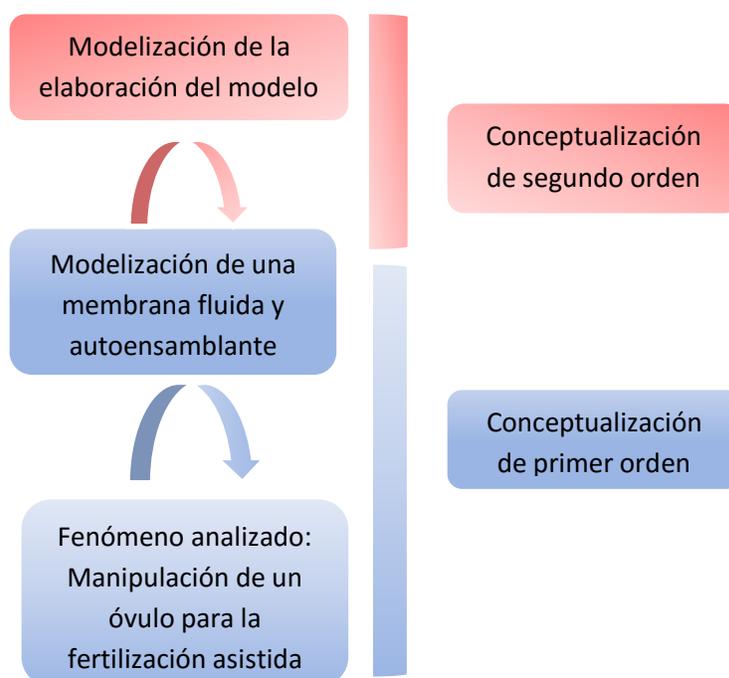


Gráfico 70: Niveles de conceptualización disciplinar y metacientífica.

A la densidad que se logró en el análisis metacientífico sobre la propia tarea, se suman las producciones orientadas por otras actividades cognitivas lingüísticas, como fue la evaluación que hicieron los alumnos de los modelos de mosaico fluido, definidos en diferentes formatos y de sus potencialidades para la comprensión de sus propiedades, y también, la explicación/justificación que tuvieron que llevar a cabo sobre los motivos de designación de “mosaico fluido” al modelo científico abordado. Las producciones de los diferentes grupos respecto de estas tareas, dan cuenta de una activa implicación en la elaboración de sentidos y además de un elevado interés manifestado por los alumnos por abordar este tipo de análisis de segundo orden.

9.1.4.2 Sobre el trabajo de modelización de la idea “los hechos científicos se construyen” tomando como problema disciplinar el origen de las organelas

9.1.4.2.1 Sobre la idea clave disciplinar “origen de las organelas”

Uno de los objetivos de aprendizaje disciplinar de la UD, se orientó al desarrollo de modelos relacionados con el origen de las organelas en la célula eucariota, y que este núcleo, contextualizado en una discusión científica de la década del '60, permitiera también estructurar la enseñanza de contenidos metacientíficos.

Las elaboraciones que realizaron los alumnos respecto de la idea clave disciplinar sobre el origen de las organelas, no se originaron sobre sus modelos explicativos iniciales (o sea, no se partió de una situación problemática del tipo ¿De qué manera creen que se originaron las organelas en la célula eucariota?) ya que la opción didáctica, en este caso, propuso la discusión por parte de los alumnos de hipótesis en pugna, ya establecidas.

El análisis que los alumnos hicieron de los transportes por vesículas al interior de la célula en la actividad de aplicación del modelo de mosaico fluido, sirvió de conexión entre la Etapa 1 y la Etapa 2 del Estudio, y fue retomado para la idea sobre el origen de las organelas, pero esta vez en clave evolutiva, a partir de la hipótesis gradualista que propuso Robertson - desde su modelo de Unidad de membrana- , luego confrontada por

Margulis. Desde esa perspectiva, y al ir desentrañando los argumentos de la discusión científica, los alumnos fueron complejizando sus modelos respecto del origen de las organelas en célula eucariota con nuevos elementos. Por una parte, pudieron extender la presencia de ADN más allá del núcleo celular, al dar cuenta de la presencia de ADN en las mitocondrias, y pudieron analizar y expresar mediante párrafos sencillos en una viñeta, las hipótesis sobre el origen de ese material genético: la de la filiación directa de los gradualistas y la del origen bacteriano desde la teoría de la endosimbiosis. Luego advirtieron que es posible diferenciar un ADN eucariota de uno bacteriano, y esto les permitió comprender la refutación de la teoría de la filiación directa. Luego, y al analizar los textos, también extendieron la condición de organela endosimbiótica a los cloroplastos, por la presencia en ellos de ADN bacteriano. Otro aspecto que permitió complejizar el modelo y además enfatizar la perspectiva evolutiva, fue el análisis propuesto a los alumnos por el docente respecto de las diferencias entre organelas que producen vesículas (RE, Golgi) y las que no (mitocondrias, cloroplastos) y la correspondencia, en cada caso, con las visiones gradualistas o endosimbióticas sobre su origen. Al finalizar el trabajo disciplinar, todos los grupos de alumnos pudieron argumentar sobre el alcance de los modelos en cuestión y su coexistencia en la actualidad. De este modo creemos que fue posible orientar desde una perspectiva evolutiva, el desarrollo de un contenido que suele ser abordado en la mayoría de los textos y en las clases, sólo de manera descriptiva y despojado de un análisis diacrónico.

Simultáneamente a la elaboración de los modelos biológicos sobre el origen de las organelas, también se logró trabajar en otra modelización, de naturaleza metacientífica, que puso a los hechos científicos en calidad de construcciones y no de descubrimientos.

9.1.4.2.2 Sobre el trabajo de modelización de la idea “los hechos científicos se construyen”

El trabajo llevado a cabo en la Etapa 1 del Estudio 2, referido a la construcción de la idea de modelo analógico, tuvo un fuerte componente metacognitivo, de reflexión sobre el proceso de modelización que los alumnos habían llevado a cabo, en cambio, en la Etapa

2, el desarrollo de la idea clave epistemológica referida a la construcción de los hechos científicos, no implicó directamente la reflexión sobre actividades previas producidas por los propios alumnos, pero sí tuvo un fuerte componente de ambientación en la historia de la ciencia, desde dónde se estructuraron los textos sobre los cuales los alumnos debieron llevar a cabo los análisis referidos a la discusión científica, de mediados del siglo XX, sobre dos modelos diferentes que explicaban el origen de las organelas.

Luego de la presentación de la problemática, y tal cual fue reseñado en el capítulo de análisis de esta etapa, los alumnos demostraron de manera risueña y por supuesto en muy buenos términos, el “desencanto” que les produjo que el docente, en vez de contarles como había finalizado la discusión científica y quién había “ganado”, les preguntara a ellos qué pensaban respecto de cómo habría sido el devenir de la confrontación entre esas hipótesis rivales y por qué.

Ese fue el inicio de un proceso denso de reflexión y de negociación de ideas entre los alumnos, entre los alumnos y los textos que tenían para la leer y entre los alumnos y el docente. Las claves que habían impulsado el diseño de esta Etapa 2 de la UD, se basaban en la presunción de que los alumnos apostarían fuertemente a reconocer a los aspectos empíricos y experimentales como los centrales en el debate, y si bien estos tuvieron su espacio en las reflexiones de los alumnos, sus modelos iniciales daban cuenta también de concepciones de la actividad científica más orientadas por el valor de las teorías y de los modelos para explicar la realidad. Esto nos hace pensar que quizás los “modelos iniciales metacientíficos”, ya estaban intervenidos por el trabajo llevado a cabo en la etapa anterior, vinculada a la idea de modelo y modelo analógico.

El análisis de los libros de texto para indagar sobre el estado actual de la discusión, generó otro nuevo posicionamiento respecto de su utilización, sumado al desarrollado en la Etapa 1, por el cual debían comparar las producciones modélicas propias sobre la fluidez de la membrana, con las presentes en los manuales de biología.

Si los libros de formación disciplinar básica en ciencias, de elaboración reciente, son los depositarios de los modelos que conforman el cuerpo de un período de ciencia normal (Kuhn, 2006), es allí donde puede constatarse el status que poseen hipótesis anteriores en

disputa. De este modo, retomar una discusión pretérita, modelizarla desde la perspectiva disciplinar y también desde las imágenes que los alumnos tienen sobre el devenir de la ciencia y sus principales elementos, reelaborarlos en función de visiones actualizadas y luego, acudir a los manuales para constatar el estado actual y confrontarlo con las presunciones y los avances desarrollados, se configura como una estrategia didáctica de interés para la formación disciplinar y metacientífica de los alumnos.

La posibilidad de intervenir un texto ya publicado en un blog y formular una nueva versión en atención a las ideas elaboradas sobre la naturaleza teórica de la producción de Margulis, fue una actividad que interesó a los alumnos y les permitió difundirla.

9.2 Síntesis de las conclusiones

Como síntesis, y respecto del contexto de problematización desarrollado al inicio del trabajo y del sentido general de la investigación, sostenemos que:

- Fue posible avanzar en el problema inicialmente planteado en la investigación, esto es, se pudo estructurar un grupo de contenidos para la formación disciplinar y metadisciplinar en la materia biología celular, advertidos desde modelos teóricos del campo de la formación en didáctica. En ese marco, se diseñó una UD y se implementaron actividades que permitieron abordar los contenidos desde una perspectiva innovadora, frente a los modelos tradicionales de enseñanza.
- Se pudo constatar que los alumnos aprendieron contenidos de membrana celular mediante procesos de modelización en el ámbito de la ACE, y también contenidos metacientíficos del eje *naturaleza de la ciencia* y pudieron aplicarlos ante nuevas situaciones.
- El modelo de transposición didáctica utilizado fue holístico, esto es, permitió que los modelos iniciales de los alumnos evolucionaran a modelos más emparentados con los que hoy sostiene la comunidad científica, y establecieron diálogos con ellos. De este modo se pudo trabajar en una visión alternativa al modelo de transposición didáctica analítica, de fuerte raigambre en la enseñanza de las

disciplinas científicas en el ámbito de la universidad, y dotar de nuevos sentidos a la formación del profesorado.

- El desarrollo de las ideas claves disciplinares y metacientíficas se llevó a cabo de manera simultánea durante la implementación de la UD, y fue posible constatar que este desarrollo conjunto facilitó al aprendizaje en cada uno de los ámbitos, esto es, la modelización disciplinar impulsó el desarrollo de la modelización metacientífica y también a la inversa.

9.3 Consideraciones finales e implicancias didácticas

En la implementación de la UD, los alumnos manifestaron una actitud muy favorable para implicarse en el análisis de las propuestas de cada una de las actividades, participaron activamente en las discusiones y en las producciones grupales y en los espacios que implicaban al conjunto de la clase, y también conformaron un cúmulo de experiencias de aprendizaje que podrían recuperarlas luego, en espacios de formación en didáctica, desde enfoques metacognitivos, y retratarlas y formalizarlas desde los modelos teóricos que se sostienen en ese campo. En este sentido, las experiencias de trabajo construidas también podrían ser referenciadas en tareas de capacitación docente como conocimiento didáctico probado en el marco del modelo cognitivo de ciencia escolar.

Es importante mencionar que la implementación de la UD, en el contexto natural de las clases, implicó una ardua tarea por parte del docente investigador y la docente auxiliar, especialmente en el seguimiento de los procesos de modelización inicial e intermedia que llevaron a cabo los alumnos, debido al elevado número que asistían a las clases. Esto pudo identificarse como un obstáculo e implica pensar a futuro en el desarrollo de estrategias y de un plan de organización de la clase orientado a fortalecer las condiciones que requieren la modelización científica y metacientífica en el contexto educativo.

Pensamos que la implementación de UD's desde la perspectiva propuesta en esta investigación, propone también una discusión respecto de la exhaustividad con la que pueden abordarse los contenidos del programa de la materia, en este caso de una biología celular para la formación del profesorado. El tipo de propuesta que implementamos

apunta a la enseñanza de determinados modelos, pero también a la elaboración de un registro significativo por parte de los alumnos de un proceso de construcción de un hecho científico en el ámbito educativo. Es probable que en el transcurrir de la práctica cotidiana de la enseñanza, no todas las unidades que aborda el programa puedan desarrollarse con este nivel de profundidad, pero sí deberían estar signadas por las directrices básicas que implica la ACE desde el modelo cognitivo de ciencia, esto es, trabajar sobre problemas significativos para los alumnos, pensarlos teóricamente, modelizarlos, hacer dialogar las modelizaciones producidas en la clase con los modelos eruditos, luego aplicar los modelos para extenderlos a nuevas parcelas de la realidad.

Desde la biología celular para la formación del profesorado, es necesario continuar investigando sobre estas cuestiones con el objeto de avanzar en la construcción de otros hechos paradigmáticos en el contexto educativo, que permitan a los alumnos desde otros modelos biológicos celulares, pensar teóricamente diferentes fenómenos del mundo. Si esta propuesta se extendiera a la formación biológica en general, se robustecería la construcción de una identidad para la formación del profesorado en Biología y, en función del tipo de problemas que se aborden y se reconstruyan y de su utilidad para la toma de decisiones informadas para intervenir en el mundo, los profesores podrían incidir más significativamente respecto de las necesidades que la sociedad tiene en cuanto a mejorar los niveles de alfabetización científica de los ciudadanos.

10 Bibliografía

- Adúriz Bravo, A. (2001). Integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias. Tesis. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
<http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/4695/aab1de3.pdf?sequence=1>
- Adúriz Bravo, A.; Izquierdo, M.; Estany, A. (2002). Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación. *Enseñanza de las ciencias*, 2002, 20 (3), 465-476
- Adúriz Bravo, A. (2005) *Una introducción a la naturaleza de la ciencia. La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Buenos Aires: Fondo Editorial Económico
- Adúriz Bravo, A. (2006) La epistemología en la formación de profesores de ciencias. *Revista Educación y Pedagogía*, vol. vxiii, núm. 45
- Adúriz Bravo, A. (2007). ¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores de ciencias? Una cuestión actual de la investigación didáctica:
<http://www.educared.pe/modulo/upload/130077622.pdf>.
- Adúriz Bravo, A.; Izquierdo, M. (2009) Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *REIEC Año 4 Nro. Especial 1*
- Adúriz Bravo, A. (2010). Aproximaciones histórico - epistemológicas para la enseñanza de conceptos disciplinares. *EDUCyT*, 1 N° 1.
- Adúriz-Bravo, A. (2011). Concepto de modelo científico: Una mirada epistemológica de su evolución. In L. Galagovsky (Ed.), *Didáctica de las ciencias naturales* (pp. 141-161). Buenos Aires: Lugar Ed.
- Adúriz-Bravo, A. (2012) A semantic View of Scientific Models for Science Education. *Science & Education. Published online: 15 januari 2012. Springer*.
- Albarracín Teulón, A. (1983). *La teoría celular*. Madrid: Alianza Editorial.
- Alberts, B.; Johnson, A.; Lewis, J.; Raff, M.; Roberts, K.; Walter, P. (2004). *Biología molecular de la célula*. (4° Ed.) Barcelona: Omega.
- Arca, M.; Guidoni, P.; y Mazoli, P. (1990) *Enseñar ciencia. Cómo empezar: reflexiones para una educación científica de base*. Barcelona: Paidós
- Ariza, Y.; Lorenzano, P.; Adúriz Bravo, A. (2010) *Dificultades para la introducción de la "familia semanticista" en la didáctica de las ciencias naturales*. *latinoam.estud.educ.* 6 (1): 59 - 74

- Bahamonde, N. (2007). Los modelos de conocimiento científico escolar de un grupo de maestras de educación infantil: un punto de partida para la construcción de “islotos interdisciplinarios de racionalidad” y “razonabilidad” sobre la alimentación humana. Tesis. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
<http://www.tesisenred.net/handle/10803/4720>
- Bahamonde, N.; Pujol, R. (2009). Un enfoque teórico para el abordaje de temas complejos en el aula: el caso de la alimentación humana. Enseñanza de las Ciencias, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona, pp. 2315-2319 <http://ensciencias.uab.es/congreso09/numeroextra/art-2315-2319.pdf>
- Bahamonde, N.; Lozano, E.; Diaco, P. (2014) Una comunidad de aprendizaje para pensar la enseñanza de las ciencias en el ámbito de la universidad. Argentina. Libro. Congreso. XI Jornadas Nacionales y VI Congreso Internacional de enseñanza de la Biología. Asociación de Docentes de Biología de la Argentina y Universidad Nacional de Río Negro
- Barab, S. & Squire, K. (2004). Design-Based Research: Putting a Stake in the Ground. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(1): 1-14.
- Baker, J. R. (1952). The cell-theory: A restatement, history, and critique. *Quarterly Journal of Microscopical Science*, 93, part. 2, 157-190.
- Bardin, L. (1986). *Análisis de contenido*. Madrid: Akal
- Bechtel, W. (2006) *Discovering cell mechanisms. The creation of modern cell Biology*. Cambridge University Press.
- Bechtel, W. (2010) The cell: locus or object of inquiry? *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 41 (2010) 172–182
- Camacho González, J.; Colicoy, N.; Morales Orellana, C.; Rubio García, N.; Muñoz Guerrero, T.; Rodríguez Tirado, G. (2012) Los modelos explicativos del estudiantado acerca de la célula eucarionte animal *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 9(2), 196-212
- Campbell, N. R. (2007). *Biología*. (7° Ed.) Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Castorina, J. A. (2000) Las versiones del constructivismo ante los conocimientos instituidos y las prácticas sociales. *Conferencia en la apertura de las X Jornadas de Producción y Reflexión sobre Educación. UNRC, 1/11/2000* <http://www.unrc.edu.ar/publicar/cde/05/indice5.htm>
- CIN (2012) Lineamientos generales de la formación docente comunes a los profesorados universitarios. Consejo Interuniversitario Nacional. Resolución CE, N° 754/12. Buenos Aires.

- CFE (2012) Núcleos de Aprendizaje Prioritarios, Ciencias Naturales, Campo de Formación General, Ciclo Orientado. Consejo Federal de Educación.
- Clement, J. (2000) Model based learning as a key research area for science education. IINT. J. SCI. EDUC.,VOL. 22, NO. 9, 1041- 1053
- Curtis, H. (2008) *Biología* (7° Ed) Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana
- De Robertis (h) Hib – Ponzio (2008) *Biología celular y molecular*. (15° Ed. 6ta reimp.) Buenos Aires: El Ateneo
- Díaz de Bustamante, J. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2008) El desarrollo de competencias para usar la noción de célula en secundaria. En P. Calvo, J. Fonfría, (eds.) Recursos Didácticos en Ciencias Naturales (pp 169–186), Madrid: Real Sociedad Española de Historia Natural.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. y Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Buckingham: Open University Press.
- Echeverría, J. 1998. *Filosofía de la ciencia*. Madrid: Akal Ediciones
- Estany, A. (1993) *Introducción a la filosofía de la ciencia*. Barcelona: Crítica
- Estany, A.; Izquierdo, M. (2001) Didactología: una ciencia de diseño. *Éndoxa: Series Filosóficas, n. 14, pp. 13-33. UNED, Madrid*
- Erickson, F. (1989) Métodos cualitativos de investigación sobre la enseñanza, en Wittrock, M. *La investigación de la enseñanza, II*, (pp. 195-301) Barcelona: Paidós.
- Felipe, A. ; Gallareta, S.; Merino, G. (2005) La modelización en la enseñanza de la biología del Desarrollo. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Vol. 4 Nº 3*
- Franklin, B.; Brownrigg, W.; Farish Mr. (1774) Of the filling of waves by mean of oil. *Phil. Trans. 1774 64, 445-460, published 1 January*
- Fricke, H. (1925) The electric capacity of suspensions whit special reference to blood. *The journal of General Physiology, Vol 9 N° 2, 137-152*
- Gagnon, M. (1989). Étude critique. Sur françois duchesneau, genèse de la théorie cellulaire, montréal - paris, bellarmin-vrin, collection analytiques, 1987, 388p. *Philosophiques, 16 Nº2*.
- Galagovsky, L.; Adúriz-Bravo, A. (2001) Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las ciencias, 2001, 19 (2), 231-242*
- García Rovira, M. P. (2005) Los modelos como organizadores del currículo en Biología. *Enseñanza de las ciencias, Número Extra, VII Congreso*.

- Giere, R. (1992). *La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Original en inglés de 1988.
- Giere, R. (1999). Del realismo constructivo al realismo perspectivo. *Enseñanza de las Ciencias, Número extra*, 9-13
- Gilbert, J. K. (1993). *Models and Modelling in Science Education*. Hatfield, Herts, Association for Science Education
- Gilbert, J. K. (2004) Models and modelling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education (2004) 2: 115–130*
- Gilbert J. K. (2010) The role of visual representations in the learning and teaching of science: An introduction. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching, Volume 11, Issue 1, Foreword, p.2*
- Gómez, A. (2005) La construcción de un modelo de ser vivo en la escuela primaria: una visión escalar. Tesis. Facultat de Ciències de la Educació Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals Tesis Doctoral
- Gorter, E.; Grendel, F (1925) On bimolecular layers of lipoids on the chromocites of the blood. *J Exp Med. 1925 Mar 31; 41(4): 439–443.*
- Harris, H. (2000). *The birth of the cell*. Gran Bretaña: Yale University Press New Haven and London.
- Izquierdo, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. In F. J. y. C. Perales, P. (Ed.), *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias* (pp. 35-64). Madrid: Alcoy Marfil.
- Jackson, P. (1991) *La vida en las aulas*. Madrid: Morata
- Jiménez Aleixandre, M. P.; Sanmartí, N. (1997) ¿Qué ciencia enseñar? Objetivos y contenidos en la Educación Secundaria. En Del Carmen L. et al. (Eds.) *La enseñanza y el aprendizaje de las Ciencias de la Naturaleza en la Educación Secundaria*. (pp. 17-45) Barcelona: Orsori
- Karp, G. (2009) *Biología celular y molecular. Conceptos y experimentos*. (5° Ed.) México: Mc Graw Hill
- Kemmis, S. y McTaggart, R. (1988). *Cómo planificar la investigación-acción*. Barcelona: Alertes.
- Knorr-Cetina, K. (1995) *La fabricación del conocimiento. Un ensayo sobre el carácter constructivista y contextual de la ciencia*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes Editorial. Original en inglés de 1981.
- Kotsias., B. (2010) La mancha de petróleo y la membrana celular. *Medicina- Buenos Aires 70: 386-388.*

- Kuhn, T. S. (2006) *La estructura de las revoluciones científicas*. (3° Ed.) México: Fondo de Cultura Económica. Original en inglés de 1962.
- Langlebert, J. (1928). *Historia natural*. París / México: Librería de la Vda de CH. Bouret.
- Langmuir, I. (1917). The shapes of group molecules forming the surfaces of liquids. *Research Laboratory of The General Electric Company*, 3 N°4, 251-257.
- Latorre, R. L.; Bezanilla, F.; Llinás, R. (1996). *Biofísica y fisiología celular*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Latour, B., Woolgar, S. (1995). *La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos*. Madrid: Alianza Universidad. Original en inglés de 1979
- Learning theories.com (2014) Knowledge based in webliography <http://www.learning-theories.com/design-based-research-methods.html>
- Lederman, N. G. (1992) Students' and Teachers' Conceptions of the Nature of Science: A Review of the Research. *Journal of research in science teaching* Vol. 29, N°. 4, pp. 331-359
- Lederman, N. G. (2002) Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science *Journal of research in science teaching* Vol. 39, N°. 6, pp. 497-521
- Lederman, N. G. (2006) Reflections on the past. Anticipation of the future. *Asia-Pacific Forum on Science learning and teaching. Volume 7, Issue 1*
- Lorenzano, P. (2002) La concepción estructuralista en el contexto de la filosofía de la ciencia del siglo XX. En Diez, J. A. y Lorenzano, P. (Eds). *Desarrollos actuales de la metateoría estructuralista: problemas y discusiones* (pp. 13-78) Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes
- Lozano, E. (2003) Maestros y materiales curriculares. Estilos de utilización y sus significados en la enseñanza de las Ciencias Naturales en el Nivel Primario. Tesis de Maestría. Universidad Nacional del Comahue.
http://www.mediafire.com/view/efq6omhacuu84ak/Lozano_Tesis_Maestría.pdf
- Lozano, E.; Adúriz Bravo, A.; Bahamonde, N. (2012) Diseño de una unidad didáctica para la enseñanza de modelos de membrana celular en la formación biológica del profesorado. Avances sobre el encuadre histórico epistemológico (Aceptado para publicación en memorias) 2° Conferencia Latinoamericana del International History, Philosophy, and Science Teaching Group. Mendoza. Argentina

- Lozano, E.; Zanón, V. (2013 a) *Savoir enseigner à l'université: un enjeu à caractère pédagogique*. Canadá. Montreal. 2012. Libro de Actas. Artículo Completo. Congreso. 27° Congrès de l'Association Internationale de Pédagogie Universitaire. Association Internationale de Pédagogie Universitaire
- Lozano, E.; Bahamonde, N.; Adúriz, B. (2013 b) Diseño de una unidad didáctica sobre el modelo de membrana celular en la formación biológica del profesorado, con aportes del eje naturaleza de la ciencia. Avances sobre el análisis de pruebas preliminares de implementación. Sexto Congreso Nacional y Cuarto Internacional de Investigación Educativa. Universidad Nacional del Comahue - Facultad de Ciencias de la Educación. Publicado en Actas.
- Lozano, E.; Ruíz, M. E.; Carranza, P. (2013 c) Trayectorias personales e identidades profesionales "Ingenieros y Licenciados copan el nivel medio". *Cuadernos de Educación*. Año XI – Nº 11 – septiembre 2013
- Lozano, E.; Zanón, V. (2014 a) Experiencias formativas en ideas metacientíficas en el contexto del Profesorado en Biología. La entrevista a un científico. *Vol. 17 Nº 2 Revista de Educación en Biología*
- Lozano, E.; García G.; Pérez, L.; Brezina, S. (2014 b) El uso de prospectos médicos para la aplicación de modelos biológicos en la formación del profesorado. Congreso. XI Jornadas Nacionales y VI Congreso Internacional de enseñanza de la Biología. Asociación de Docentes de Biología de la Argentina y Universidad Nacional de Río Negro. Publicado en Actas
- Margulis, L.; Sagan, D. (2003) *Captando genomas. Una teoría sobre el origen de las especies*. Barcelona: Editorial Kairós. Original en inglés de 2002.
- Matthews, M. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: La aproximación actual. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 12 Nº2, 255-278.
- McComas, W. F. (1998) The principal elements of the nature of science. Dispelling the myths. in W. F. McComas (ed.) *The Nature of Science in Science Education*, 53-70. © Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- Mesa, U.; Romero, A.; Licón, Y.; Sánchez, S. (2010) La membrana plasmática: Modelos, balsas y señalización. *Revista de Educación Bioquímica*. Vol. 29, Nº 4, 125-134
- Mouritsen, O. G. (2011). Model answers to lipid membrane questions. *Cold Spring Harbor Laboratory Press*, 1-15.

- Moreira, M.; Greca, M; Rodríguez Palmero, M. (2002) Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las ciencias *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, Porto Alegre, v. 2, n. 3, p. 37-57*
- Neutra, M.; Leblond, C. P.; (1970) El aparato de golgi. En Villanueva, J. R (Ed.) *La célula viva*. (pp. 124-132). Selecciones de Scientific American. Madrid: Blume. Original en inglés de 1965.
- Paz, V.; Márquez, C.; Adúriz Bravo, A. (2008) Análisis de una actividad científica escolar diseñada para enseñar qué hacen los científicos y la función de nutrición en el modelo de ser vivo. *latinoam.estud.educ. Manizales (Colombia), 4 (2): 11–27*
- Pozo, J. I., (1999) Más allá del cambio conceptual. El aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de las ciencias, 17 (3), 513-520*
- Pujalte, A.; Porro, S.; Adúriz Bravo, A. (2011) Las imágenes de ciencia del profesorado: Su relación con una educación científica de calidad para todas y todos. *Tecné, Episteme y Didaxis: TEΔ. Año 2011, número extraordinario, 410-415*
- Rauchfuss, H. (2008) *Chemical Evolution and the Origin of Life*. Berlín. Springer
- Ravanal Moreno E.; Quintanilla Gatica M. (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 Vol. 9, Nº 1, 111-124*
- Recio, G. (1990). Elementos dinámicos de la teoría celular. *Revista de Filosofía, Vol 4, 83-109*
- Revel Chion, A.; Meinardi E.; Adúriz-Bravo, A. (2013) Elementos para un análisis histórico-epistemológico del concepto de salud con implicaciones para la enseñanza de la Biología. *Filosofía e História da Biologia, v. 8, n. 1, p. 1-19, 2013.*
- Rinaudo, C. (1997) Paradigmas en Investigación Educativa. Material del Seminario Metodología de la Investigación Educativa. Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional del Comahue.
- Rinaudo, M. y Donolo, D. (2010 a) *Estudios de diseño. Una perspectiva promisorio en la investigación educativa*. RED – Revista de Educación a Distancia. Publicación en línea. Murcia (España). Año X. Número 22 . <http://www.um.es/ead/red/>
- Rinaudo, C.; Chiecher, A.; Donolo, D. (2010 b) *La investigación basada en diseños en el estudio de los contextos virtuales de aprendizaje*. Simposio internacional para la socialización de buenas prácticas e investigación en Red. Proyecto Alfa-MIFORCAL & Proyecto REDES (CIAFIC-CIRDFA) Buenos Aires

- Robertson, D. (1970) La membrana de la célula viva. En Villanueva, J. R (Ed.) *La célula viva*. (pp. 75-83). Selecciones de Scientific American. Madrid: Blume. Original en inglés de 1965.
- Sadava, D.; Heller, H.; Orians, G.; Purves, W.; Hillis, D. (2009) *Vida. La ciencia de la Biología*. (8° Ed.) Buenos Aires: Médica Panamericana
- Salkind, N. (1998) *Métodos de investigación*. México: Pearson Prentice Hall
- Sanmartí, N. (2000) El diseño de unidades didácticas. En Perales, P. y Cañal de León, P. (Coord) *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. (pp. 239-266) Madrid: Marfil
- Sanmartí, N. (2002) *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Madrid: Síntesis Educación
- Sampedro, J. (2002) *Deconstruyendo a Darwin. Los enigmas de la evolución a la luz de la nueva genética*. Barcelona: Crítica
- Simons, K.; Sampaio, J. (2011) Membrane organization and lipid rafts. *Cold Spring Harb Perspect Biol*; 3:a004697
- Sapp, J. (2003). *Genesis: The evolution of biology*. New York: Oxford University Press
- Vildósola Tibaud, X. (2009) Las actitudes de profesores y estudiantes, y la influencia de factores de aula en la transmisión de la naturaleza de la ciencia en la enseñanza secundaria. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona. Facultad de formación del Profesorado. Departamento de las ciencias experimentales y la matemática

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Planteo general del problema. Relaciones entre campos de la formación.	6
Gráfico 2: Delimitación de la intervención mediante una UD, en el ámbito de la materia Biología Celular del Profesorado.	9
Gráfico 3: Esquema de la actual concepción de modelo teórico (Adúriz-Bravo, 2011, adaptado de Giere, 1988).	18
Gráfico 4: Esquema de modelo teórico adaptado a formas de definición del modelo y fenómenos de interés en el desarrollo de la UD.	20
Gráfico 5: Ejemplo de formulación de hipótesis teórica en un caso de fluidez de membrana.	21
Gráfico 6: Proceso de construcción de un modelo escolar implicado en la UD. Adaptado de Clement (2000) reformulado por Gómez (2005).	30
Gráfico 7: Actividad científica escolar y construcción de hechos científicos escolares y retóricos.	31
Gráfico 8: Modelo de elaboración de contenidos metacientíficos para la UD.	37
Gráfico 9: Ciclo de implementación de la UD. El estudio 1 y el Estudio 2.	45
Gráfico 10: Vista parcial del aula de clases de Biología Celular el día de inicio de la UD.	47
Gráfico 11: Proceso de estructuración del saber a enseñar en el diseño de la UD.	54
Gráfico 12: Gráfico del modelo de transposición didáctica holística (Sanmartí, 2002).	55
Gráfico 13: Esquema propuesto por Overton, en Baker (1952).	62
Gráfico 14: Foto mediante microscopía electrónica de la membrana celular en glóbulos rojos (Robertson, 1970, p. 81).	67
Gráfico 15: Esquema de unidades de membrana “en sándwich” en vainas de mielina en células de Schwann (Robertson, 1970, p. 77).	68
Gráfico 16: Origen de organelas por invaginación gradual de membranas (Robertson, 1970, pp. 80-83).	69
Gráfico 17: Esquema Endosimbiosis. Adaptado de Margulis (en Sampedro, 2002, p. 45).	71
Gráfico 18: “Un montón de Golgi” (Neutra et al., 1970, p. 127).	72
Gráfico 19: Cuadro sobre temas de membrana en manuales de biología de uso universitario.	77

Gráfico 20: Imagen presentada en clase que vincula fenómenos y modelos en el Estudio I.....	92
Gráfico 21: Prospecto utilizado en la actividad de aplicación en Estudio 1.....	94
Gráfico 22: Análisis del desarrollo de la modelización en el Estudio 1.....	98
Gráfico 23: Transporte por vesículas (en Campbell, 2009).....	110
Gráfico 24: Fagocitosis de paramecio (en https://www.youtube.com/watch?v=aWltglvTiLc).	110
Gráfico 25: Prospecto de medicamento que utiliza liposomas.	111
Gráfico 26: Relaciones entre líneas de trabajo disciplinar y metacientífico	124
Gráfico 27: Tipos de explicaciones para la situación problemática inicial en el estudio 2.....	126
Gráfico 28: Tipos de sustancias implicadas en las explicaciones.	126
Gráfico 29: El lugar de la observación en las representaciones de los alumnos ingresantes al profesorado sobre la actividad científica.	135
Gráfico 30: Relaciones entre la modelización disciplinar y metacientífica.	136
Gráfico 31: Foto del inicio del trabajo de los alumnos con los materiales concretos.	138
Gráfico 32: Foto de alumna del Grupo 2, manipulando una pompa de jabón	140
Gráfico 33: Foto de alumna del Grupo 3 representando el ingreso de la micropipeta en un sistema aceite agua.	141
Gráfico 34: Foto alumna del Grupo 5 manipulando una pompa de jabón.	142
Gráfico 35: Foto de alumna del Grupo 8, utiliza pelotitas de telgopor.....	144
Gráfico 36: Foto de alumnas del grupo 15 que exploran posibilidades de representar el fenómeno con pelotitas de telgopor.	146
Gráfico 37: Comparaciones entre los materiales seleccionados y el tipo de estructura logrado. ...	148
Gráfico 38: Cuadro descripciones por grupo del comportamiento de las pompas.	149
Gráfico 39: Foto de alumna del grupo 5 que trabaja en la modelización gráfica de gotitas de aceite	150
Gráfico 40: Foto de alumno que ensambla gotitas de aceite en agua.....	154
Gráfico 41: Foto de alumna del Grupo 8 modelizando gotitas de aceite en agua.	155
Gráfico 42: Foto de alumna del Grupo 8 continua modelización de la unión de gotitas	155

Gráfico 43: Foto de alumna del Grupo 8 mientras discuten la modelización gráfica y observan el fenómeno.....	156
Gráfico 44: Foto alumna del Grupo 8 continua con la modelización de unión de gotitas de aceite	156
Gráfico 45: Foto de alumna del Grupo 8 resuelven la modelización gráfica de la unión de gotitas de aceite.....	157
Gráfico 46: Alumnas del grupo 8 trabajan sobre la unión de pompas de jabón.....	157
Gráfico 47: Cuadro descripciones por grupo del fenómeno de autoensamblaje de lípidos	162
Gráfico 48: Foto de alumna que explica una maqueta en el Grupo 8	162
Gráfico 49: Foto maqueta del Grupo 5.....	163
Gráfico 50: Maqueta producida por el Grupo 9	164
Gráfico 51: Representación de ingreso de una micropipeta en la maqueta del Grupo 9.	164
Gráfico 52: Progresión del trabajo de modelización intermedia en los grupos del estudio.	165
Gráfico 53: Cuadro de definiciones de modelo por grupos, al pensar sobre el trabajo realizado en la dimensión disciplinar.....	170
Gráfico 54: Esquema que organiza las ideas de los alumnos en las que se advierte una visión actualizada de modelo.	171
Gráfico 55: Cuadro de análisis por grupos al pensar la estrategia de Quincke.....	173
Gráfico 56: Ejemplos de análisis de los Grupos 2, 5 y 6 sobre la modelización desarrollada.	174
Gráfico 57: Ejemplos de análisis de los Grupos 2, 5 y 9 sobre la pertinencia de modelos.....	176
Gráfico 58: Ideas claves compartidas con los alumnos como cierre del trabajo en la Etapa 1 del Estudio 2.	179
Gráfico 59: Transporte de vesículas (en Campbell, 2009).	181
Gráfico 60: Fagocitosis de paramecio.....	188
Gráfico 61: Prospecto fármaco que utiliza liposomas	190
Gráfico 62: Cuadro de reflexiones por grupo sobre la discusión científica planteada.....	199
Gráfico 63: Esquema general de corrientes epistemológicas (adaptado de Sanmartí, 2000).	201
Gráfico 64: Imagen de la portada de la publicación de referencia	202

Gráfico 65: Elaboración de las hipótesis rivales. Ejemplo Grupo 6.....	205
Gráfico 66: Avance en la elaboración de las hipótesis rivales. Ejemplo Grupo 8.....	206
Gráfico 67: Avance en la elaboración de las hipótesis rivales. Ejemplo Grupo 9.....	206
Gráfico 68: Extraído de <i>Biología Celulary Molecular</i> (Karp, 2009).....	208
Gráfico 69: Fragmento de <i>Biología Molecular de la Célula</i> (Alberts, 2004).....	209
Gráfico 70: Niveles de conceptualización disciplinar y metacientífica.	21027

Índice de Tablas

Tabla 1: Etapa 1. Secuencia de actividades. Idea clave disciplinar: Fluidez y autoensamblaje. Idea clave epistemológica: La observación y los modelos analógicos.....	116
Tabla 2: Etapa 2. Idea clave disciplinar: Origen de las organelas. Idea clave epistemológica: La construcción de los hechos científicos	122

Índice de Modelizaciones

Modelos Iniciales 1: Grupo A. Sobre el ingreso de la micropipeta.	87
Modelos Iniciales 2: Grupo B. Sobre el ingreso de la micropipeta.	88
Modelos Iniciales 3: Grupo C. Sobre el ingreso de la micropipeta.	88
Modelos Iniciales 4: Grupo D. Sobre el ingreso de la micropipeta.	89
Modelos Iniciales 5: Referencia a la gelatina.....	127
Modelos Iniciales 6: Referencia el agua.	127
Modelos Iniciales 7: Referencia el aceite.	128
Modelos Iniciales 8: Referencia una bicapa lipídica y también una estructura porosa.	129
Modelos Iniciales 9: Referencia una estructura porosa y también un gel viscoso.	129
Modelos Iniciales 10: Referencia espacios en la membrana para el ingreso de la micropipeta.	130
Modelos Iniciales 11: Referencia una sustancia en la pipeta que permite el ingreso.	130

Modelos Iniciales 12: Referencia al tamaño de la micropipeta y a una sustancia gelatinosa.....	131
Modelos Iniciales 13: Modelo que sostiene varias hipótesis.....	131
Modelos intermedios 1: De los modelos iniciales a la confrontación con materiales. Grupo 2	139
Modelos intermedios 2: De los modelos iniciales a la confrontación con materiales. Grupo 3.	140
Modelos intermedios 3: De los modelos iniciales a la confrontación con materiales. Grupo 5.	141
Modelos intermedios 4: De los modelos iniciales a la confrontación con materiales. Grupo 6.	143
Modelos intermedios 5: De los modelos iniciales a la confrontación con materiales. Grupo 8.	143
Modelos intermedios 6: De los modelos iniciales a la confrontación con materiales. Grupo 9.	144
Modelos intermedios 7: De los modelos iniciales a la confrontación con materiales. Grupo 15. ...	145
Modelos intermedios 8: Disposición de lípidos en agua. Grupo 6.....	152
Modelos intermedios 9: Disposición de lípidos en agua. Grupo 6.....	152
Modelos intermedios 10: Disposición de lípidos en agua. Grupo 6.....	153
Modelos intermedios 11: Producción de gráficos y textos del Grupo 8, que explican ensamblaje de gotitas de aceite y pompas de jabón.....	158
Modelos intermedios 12: Producción de gráficos y textos del Grupo 2, que explican ensamblaje de gotitas de aceite y pompas de jabón.....	159
Modelos intermedios 13: Producción de gráficos y textos del Grupo 3, que explican ensamblaje de gotitas de aceite y pompas de jabón.....	160
Modelos intermedios 14: Producción de gráficos y textos del Grupo 15, que explican ensamblaje de gotitas de aceite y pompas de jabón.	160
Modelos de aplicación 1: Grupo A. Sobre la acción de los liposomas.	95
Modelos de aplicación 2: Grupo C. Sobre la acción de los liposomas.	96
Modelos de aplicación 3: Grupo D. Sobre la acción de los liposomas.	96
Modelos de aplicación 4: Grupo 8 explica el transporte por vesículas.....	184
Modelos de aplicación 5: Grupo 2 explica el transporte por vesículas.....	185

Modelos de aplicación 6: Grupo 9 explica transporte por vesículas.	186
Modelos de aplicación 7: Grupo 5 explica transporte por vesículas.	187
Modelos de aplicación 8: Grupo 6 explica fagocitosis	188
Modelos de aplicación 9: Grupo 2 explica fagocitosis	189
Modelos de aplicación 10: Grupo 5 explica fagocitosis	189
Modelos de aplicación 11: Grupo 9 explica fagocitosis	189
Modelos de aplicación 12: Grupo 2 explica acción de liposomas.....	191
Modelos de aplicación 13: Grupo 5 explica acción de liposomas.....	192
Modelos de aplicación 14: Grupo 6 explica acción liposomas.....	193
Modelos de aplicación 15: Grupo 8 explica acción de liposomas.....	194
Modelos de aplicación 16: Grupo 9 explica acción de liposomas.....	194