



Tesis de Maestría  
Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

*Las representaciones modélicas para aprender síntesis de  
proteínas en la formación de profesores de Biología*

Profesora Susana Beatriz Castronuovo

Dra. Cecilia Acevedo

*Directora de Tesis*

Dra. Ana De Micheli- Dra Cecilia Lascano

*Co-Directoras de Tesis*

**Facultad de Ingeniería**  
**Universidad Nacional del Comahue**

(Septiembre, 2020)

## **Agradecimientos:**

*A mi familia por el aliento, la fuerza y sostén continuo.*

*A mi directora de tesis por su excelencia académica, profesionalismo, paciencia, y generosidad.*

*Al equipo de investigación: Ana Espinoza, Adriana Casamajor, Cecilia Acevedo, Silvina Muzzanti, Patricia Luppi y Facundo Dyszel por su sapiencia, el estímulo, y apoyo incondicional.*

*A los estudiantes del segundo año del 46 que se involucraron con cada una de mis propuestas de enseñanza.*



## **Resumen**

Este trabajo de investigación se propone aportar conocimientos sobre cómo la elaboración de representaciones modélicas a cargo de estudiantes del nivel superior, bajo ciertas condiciones didácticas puede contribuir a la aproximación de las explicaciones científicas sobre un contenido. La investigación a cargo de la docente-investigadora se desplegó en un curso del segundo año de la carrera del Profesorado de Biología que se dicta en un Instituto Superior de Formación Docente de la Provincia de Buenos Aires. Su desarrollo involucra el estudio, elaboración e implementación de una secuencia didáctica que prioriza el trabajo con lo representacional y prestigia la enseñanza de contenidos desde un abordaje explicativo, diferenciándose así de las propuestas de enseñanza usuales. La metodología investigativa propuesta se asume bajo los lineamientos de la Ingeniería Didáctica y sus posteriores revisiones. Se espera contribuir al estudio de los sistemas de representación pictóricos y a los procesos de modelización en contextos de aprendizaje de contenidos disciplinares específicos.

## **Abstract**

This research work aims to provide knowledge on how the elaboration of model representations by students of higher level, under certain didactic conditions can contribute to the approximation of scientific explanations on a content. The research, carried out by the teacher-researcher, was deployed in a course of the second year of the Biology Teachers' Career that is taught in a Higher Institute of Teacher Training in the Province of Buenos Aires. Its development involves the study, elaboration and implementation of a didactic sequence that prioritizes the work with the representational

and prestige the teaching of contents from an explanatory approach, differing from the usual teaching proposals. The proposed research methodology is assumed under the guidelines of Didactic Engineering and its subsequent revisions. It is expected to contribute to the study of pictorial representation systems and to the modeling processes in learning contexts of specific disciplinary contents.

**Palabras claves:**

Representaciones, modelos, formación docente, síntesis de proteínas, enseñanza de las ciencias.

## Índice de contenido

---

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
<b>PRESENTACIÓN</b> .....	<b>1</b>
INTRODUCCIÓN.....	1
FUNDAMENTOS DEL PROBLEMA A ESTUDIAR.....	3
<i>La enseñanza usual de la síntesis de proteínas</i> .....	5
<i>La naturaleza del contenido a enseñar</i> .....	7
<i>Las representaciones pictóricas y modélicas</i> .....	9
LOS OBJETIVOS DE ESTA INVESTIGACIÓN .....	12
<i>Objetivos específicos</i> .....	12
LA ORGANIZACIÓN DE ESTA TESIS.....	13
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>15</b>
<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>15</b>
INTRODUCCIÓN.....	15
<b>LAS REPRESENTACIONES EXTERNAS PICTÓRICAS O NO TEXTUALES</b> .....	15
<i>La relación entre lo representado y la representación</i> .....	16
<i>La función de las representaciones pictóricas en el área de las Ciencias Naturales</i> .....	17
<i>El trabajo con las representaciones en la propuesta escolar</i> .....	20
<b>LOS MODELOS</b> .....	27
<b>LA ENSEÑANZA DE LA SÍNTESIS DE PROTEÍNAS</b> .....	36
LAS PROTEÍNAS COMO EXPRESIÓN DE LOS GENES .....	41
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>48</b>
<b>ORIENTACIONES TEÓRICAS</b> .....	<b>48</b>
INTRODUCCIÓN.....	48
ENFOQUE DIDÁCTICO.....	48
LAS REPRESENTACIONES PICTÓRICAS Y MODÉLICAS.....	52
LA FUNCIÓN DE LAS REPRESENTACIONES EN LA ENSEÑANZA .....	56
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>62</b>
<b>ORIENTACIONES TEÓRICO-METODOLÓGICAS</b> .....	<b>62</b>
INTRODUCCIÓN.....	62
<i>Análisis preliminares</i> .....	64
<i>Concepción y análisis a priori</i> .....	66
<i>Experimentación o puesta en aula</i> .....	69
<i>Análisis a posteriori</i> .....	72
SECUENCIA DIDÁCTICA: LA SÍNTESIS DE PROTEÍNAS COMO EXPRESIÓN GENÉTICA QUE MEDIA ENTRE EL ADN Y LA FISIOLÓGIA ORGÁNICA.....	74
<i>Presentación del tema de estudio</i> .....	74
<i>Lectura de un caso de estudio e información adicional</i> .....	75
<i>Elaboración de representación modélica</i> .....	79
<i>Análisis de lo representado</i> .....	80

<i>Lectura de un texto expositivo y explicación con imágenes convencionales</i> .....	80
<i>Situación de escritura de una producción escrita breve</i> .....	86
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>87</b>
<b>EL CONTEXTO EN EL QUE SE PIDE REPRESENTAR</b> .....	<b>87</b>
INTRODUCCIÓN .....	87
LA CENTRACIÓN CONCEPTUAL EN UN FACTOR .....	89
EL PAPEL DE LAS PROTEÍNAS EN LA FISIOLÓGÍA ORGÁNICA .....	99
EL PROPÓSITO DE REPRESENTAR PARA EXPLICAR UN PROBLEMA .....	105
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>109</b>
<b>LA ELABORACIÓN DE REPRESENTACIONES</b> .....	<b>109</b>
INTRODUCCIÓN .....	109
LOS ESTUDIANTES ANTE EL PEDIDO DE REPRESENTAR .....	110
<i>Seguir un orden en la elaboración de lo representado</i> .....	111
<i>Incluir sólo marcas pictóricas o acompañadas por textuales</i> .....	117
<i>Recurrir a modelos convencionales en la propia representación</i> .....	126
<i>Elaborar representaciones excluyendo algunas ideas</i> .....	127
EL ANÁLISIS DE LO REPRESENTADO .....	130
LAS INTERVENCIONES DOCENTES .....	130
<i>Orientar para recuperar las descripciones anatómicas de los textos</i> .....	131
<i>Brindar explicaciones sobre conceptos que generan dudas</i> .....	134
<i>Sugerir priorizar el tema de estudio</i> .....	136
<i>Impulsar a inscribir marcas pictóricas cuando cuesta imaginar</i> .....	138
<i>Colaborar con la inclusión de ideas que generan dudas</i> .....	140
REPRESENTAR EN CLASE .....	143
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>145</b>
<b>LO REPRESENTADO COMO OBJETO DE ANÁLISIS EN CLASE</b> .....	<b>145</b>
INTRODUCCIÓN .....	145
LOS APORTES DE LO REPRESENTADO .....	146
<i>Identificar cómo una disposición anatómica involucra la comprensión de lo funcional</i> .....	147
<i>Revisar fórmulas representadas para vincularlas con lo funcional</i> .....	154
<i>Repensar ideas que cuesta asimilar</i> .....	157
<i>Evidenciar aquello que no se logró plasmar sobre el papel</i> .....	159
<i>Retomar conceptos ya estudiados que parecen generar dudas en un nuevo contexto</i> .....	161
LA INTERRELACIÓN ENTRE LO REPRESENTADO Y LO CONCEPTUAL .....	163
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>165</b>
<b>LA APROPIACIÓN DE LAS IDEAS CIENTÍFICAS</b> .....	<b>165</b>
INTRODUCCIÓN .....	165
LA REPRESENTACIÓN CONVENCIONAL EN EL CONTEXTO DE UN TEXTO EXPOSITIVO .....	166
<i>Salir y volver al texto con lo representacional</i> .....	169
<i>Volver sobre el problema inicial a partir de la lectura</i> .....	174

LA ESCRITURA EN EL PROCESO DE APROPIACIONES DE SABERES.....	175
EL PAPEL DE LAS REPRESENTACIONES CONVENCIONALES EN LA SECUENCIA DIDÁCTICA.....	181
<b>CAPÍTULO 9.....</b>	<b>184</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>184</b>
INTRODUCCIÓN.....	184
EL PAPEL DE LAS REPRESENTACIONES EN LAS APROXIMACIONES AL CONOCIMIENTO DISCIPLINAR.....	184
<i>Conceptualizar lo que no se sabe a partir de lo que se sabe .....</i>	<i>185</i>
<i>Advertir que el entrelazamiento entre lo figurativo y lo conceptual colabora con la reorganización</i>	
<i>de los conocimientos .....</i>	<i>188</i>
<i>Tomar conciencia que lo descriptivo también es interpretativo .....</i>	<i>189</i>
<i>Volver a revisar lo que ya se sabe .....</i>	<i>190</i>
LAS CONDICIONES DIDÁCTICAS QUE PERMITIERON ELABORAR REPRESENTACIONES MODÉLICAS .....	191
<i>Asumir un problema como propio para explicarlo .....</i>	<i>191</i>
<i>Representar para explicar el problema asumido .....</i>	<i>192</i>
<i>Abordar las representaciones convencionales habiendo participado de instancias de elaboración</i>	<i>193</i>
APORTES Y DISCUSIONES ABIERTAS.....	194
<b>ANEXOS .....</b>	<b>197</b>
ANEXO I: TEXTO DE DIVULGACIÓN.....	198
ANEXO II: INFORMACIÓN ADICIONAL.....	200
ANEXO III: TEXTO EXPOSITIVO .....	201
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>202</b>

## Índice de figuras

FIGURA 1. LA MODIFICACIÓN DEL DOGMA CENTRAL.....	10
FIGURA 2. LA INTENSA INVESTIGACIÓN.....	42
FIGURA 3. PROPUESTA INICIAL DE CRICK DEL DOGMA CENTRAL .....	44
FIGURA 4. EL DOGMA CENTRAL.....	81
FIGURA 5. MODELO DE ARN DE TRANSFERENCIA.....	83
FIGURA 6. LA TRADUCCIÓN.....	85
FIGURA 7. REPRESENTACIÓN A-12.....	112
FIGURA 8. REPRESENTACIÓN A-13.....	112
FIGURA 9. REPRESENTACIÓN C-06.....	113
FIGURA 10. REPRESENTACIÓN A-16.....	114
FIGURA 11. REPRESENTACIÓN C-08.....	122
FIGURA 12. REPRESENTACIÓN C-03.....	126
FIGURA 13. REPRESENTACIÓN A-16- BORRADOR.....	128
FIGURA 14. REPRESENTACIÓN A-16 FINAL.....	129
FIGURA 15. REPRESENTACIÓN A-12- I Y II.....	132
FIGURA 16. REPRESENTACIÓN A-10.....	137
FIGURA 17. RECORTE DE REPRESENTACIÓN C-07.....	139
FIGURA 18. REPRESENTACIÓN A-15.....	140
FIGURA 19. REPRESENTACIÓN A-09.....	142
FIGURA 20. REPRESENTACIÓN C-01A.....	147
FIGURA 21. REPRESENTACIÓN C-01B.....	150
FIGURA 22. REPRESENTACIÓN C-07.....	152
FIGURA 23. REPRESENTACIÓN C-07 -IMAGEN IDEAL DE LA LACTASA-.....	154
FIGURA 24. REPRESENTACIÓN A-15 -SIN REFERENCIA A PRODUCCIÓN DE ENZIMA-.....	158
FIGURA 25. REPRESENTACIÓN A-13 -LACTASA-LACTOSA.....	160

## Índice de tablas

TABLA 1. ESQUELETO DE SECUENCIA DIDÁCTICA.....	70
TABLA 2. IDEAS TEXTUALES DE LOS ESTUDIANTES SOBRE EL MATERIAL GENÉTICO .....	90
TABLA 3. INTERPRETACIONES DE LOS ESTUDIANTES SOBRE EL PAPEL DE LAS PROTEÍNAS.....	93
TABLA 4. INTERPRETACIONES DE LOS ESTUDIANTES EN RELACIÓN CON EL VÍNCULO PROTEÍNAS - MATERIAL GENÉTICO.....	95
TABLA 5. REPRESENTACIONES ELABORADAS CON MARCAS PICTÓRICAS REFERIDAS AL LUGAR DONDE SE UBICA LA ENZIMA.....	117
TABLA 6. REPRESENTACIONES ELABORADAS CON MARCAS PICTÓRICAS Y TEXTUALES REFERIDAS AL ACCIONAR DE LA ENZIMA .....	119
TABLA 7. REPRESENTACIONES ELABORADAS CON MARCAS EN SU MAYORÍA TEXTUALES QUE REFIEREN A LA PRODUCCIÓN DE LA ENZIMA.....	123
TABLA 8. LAS IDEAS ESCRITAS EN RELACIÓN CON LA LACTASA.....	176
TABLA 9. LAS EXPLICACIONES SOBRE LA SÍNTESIS DE PROTEÍNAS EN RELACIÓN CON EL INTERROGANTE INICIAL.....	178

# *Capítulo 1*

## *Presentación*

---

### **Introducción**

La presente investigación indaga y analiza las condiciones didácticas en las que la elaboración de representaciones no textuales o pictóricas<sup>1</sup> y de carácter modélico puede cumplir una función epistémica en el estudio de síntesis de proteínas con estudiantes de un profesorado de Biología de nivel superior.

La elección de la síntesis de proteínas como contenido de enseñanza en esta investigación, se debe al papel central que ocupa en las Ciencias Biológicas, permite comprender la relación de la información genética con la fisiología celular y sistémica. Por reconocerse como un proceso similar en todos los seres vivos colabora con la interpretación de los procesos evolutivos, y con la aparición de nuevas secuencias génicas -nuevas posibles proteínas- constituyéndose como evidencia de la diversidad de especies.

Se trata de un contenido complejo, abstracto (Diaz Velazquez y Covarrubias Papahiu, 2016; Ocelli y Pomar, 2019; Roni et al., 2013; Roni y Carlino, 2017, 2018) y lejano en la medida que es poco frecuente que los estudiantes reflexionen sobre su implicancia en la fisiología orgánica. Su enseñanza habitual se caracteriza por ser descriptiva y declarativa, y por apoyarse en esquemas, gráficos e imágenes disciplinares

---

<sup>1</sup> Se las denomina así siguiendo la terminología propuesta por Lombardi et al. (2009). A posteriori de la revisión de antecedentes se optará por referirse a ellas como representaciones pictóricas de carácter modélico o simplemente representaciones modélicas a efectos de aligerar la lectura.

convencionales como aquellas presentes en los libros de texto que se leen en clase. Sin embargo, aportes provenientes de las perspectivas constructivistas de la psicología del aprendizaje indican que se aprende a partir del conocimiento con qué se cuenta sobre el tema en estudio. En este sentido, cabe preguntarse por las posibilidades que tienen de comprender estas imágenes quienes se encuentran en situación de aprendizaje. Diferentes investigaciones sobre el uso y la elaboración de producciones en otros sistemas de representación externa como la escritura (Ferreiro, 2005; Kalman, 2003) permite advertir que la sola presentación de estas herramientas culturales en clase resulta insuficiente para la apropiación de los conceptos que son objeto de enseñanza. Se parte de considerar que la reorganización conceptual es inescindible de la actividad cognitiva a la que se expone al sujeto que aprende y del medio en el que se encuentra. Esta investigación se propone revisar y modificar las condiciones didácticas usuales al enseñar síntesis de proteínas a favor de una propuesta que propicie el pensamiento crítico y reflexivo, mediado por la producción de representaciones pictóricas. Se considera que elaborar representaciones provoca la externalización de las ideas de los estudiantes contribuyendo a una reelaboración de sus conocimientos (Espinoza et al., 2010).

La síntesis de proteínas es un proceso metabólico que se realiza a nivel sub-celular, los polipéptidos producidos maduran y pueden cumplir su función tanto dentro de la célula que las fabrican, en órganos, en sistemas a los que pertenecen esas células, o en el organismo. Por lo que en esta propuesta se prioriza que los estudiantes se acerquen al contenido en cuestión relacionándolo conceptualmente con sus consecuencias en los distintos niveles de organización que suelen pasar inadvertidos en la enseñanza usual. Se procura así que los estudiantes alcancen una visión integral u holística del contenido, entendiendo que la misma favorecerá, en años superiores, el estudio en profundidad del contenido en cuestión en otras materias.

Desde este panorama, la propuesta de investigación pretende indagar cómo los estudiantes se puedan apropiarse de esas relaciones conceptuales, elaborando representaciones pictóricas luego de proponer un contexto determinado y revisitando temas estudiados anteriormente. Esto conlleva a que el pedido de elaboración de representaciones pictóricas de carácter modélico se encuentre dentro de una secuencia didáctica en articulación con otras situaciones de enseñanza y bajo ciertas condiciones didácticas que favorezcan su función epistémica.

En la Didáctica específica, el trabajo con representaciones pictóricas, o en términos amplios aquellas ligadas a la imagen y a lo figurativo, se viene desarrollando desde algunas décadas. Se orientó a estudiar tanto la función de las imágenes convencionales que la ciencia ofrece como el lugar que ocupan las representaciones en situación de enseñanza y de aprendizaje. En esta investigación se parte de acordar con aquellos que consideran la potencialidad epistémica de las situaciones donde se propone a los estudiantes elaborar representaciones pictóricas de carácter modélico. Se pretende ir más allá de estos supuestos teóricos e indagar las condiciones didácticas en las que elaborar representaciones modélicas en clase puede propiciar la reorganización de ideas, y analizar cómo se transforma el conocimiento sobre un contenido específico -síntesis de proteínas.

### **Fundamentos del problema a estudiar**

La experiencia docente de la investigadora quien desempeña su cargo de profesora de las asignaturas Integración Areal I, Biología y su Laboratorio II, Perspectiva Pedagógica Didáctica II, Espacio de la Práctica Docente III y Biología del Desarrollo Animal -que forman parte del plan de estudios en la formación de Profesor de Enseñanza Secundaria de Biología de la provincia de Buenos Aires- así como la lectura de estudios relativos a

la enseñanza de esta temática han permitido identificar diferentes aspectos en relación con la enseñanza y el aprendizaje del contenido en cuestión. Desde la práctica docente se puede apreciar que si bien a los estudiantes del segundo año de la carrera Profesorado de Biología se les enseña síntesis de proteínas y la actuación que ellas ejercen en la fisiología de diversos sistemas orgánicos, la relación entre ambos aspectos pareciera estar ausente. Parte del potencial conceptual de la síntesis reside en esta vinculación conceptual, evidente para quien domina el tema y distante para los estudiantes cuando desde la enseñanza se omite contribuir a su interpretación. Se considera que este abordaje durante la formación docente permite realizar una aproximación rigurosa al campo disciplinar que a su vez será insumo para la elaboración de propuestas de enseñanza destinadas a alumnos del nivel secundario.

Desde lo biológico, la síntesis de proteínas es un proceso complejo en sí mismo. Los científicos durante la primera mitad del siglo XX, realizaron un amplio recorrido para entender cómo se vincula el material genético con las proteínas. Las investigaciones de Crick, posteriores a la modelización del ADN (1953), lo llevaron a explicar cómo se forman las proteínas y a describir que se trata de un proceso universal, que la información genética primero se transcribe y luego se traduce en otro lenguaje, y que el polipéptido formado aún debe madurar para ser funcional y convertirse en una proteína, por lo que formuló el dogma central de la Biología. Estudios posteriores ampliaron la interpretación del dogma entendiéndolo como flujo de la información genética. Los avances continuaron sobre el genoma de eucariotas, y posibilitaron comprender que no todos los genes se expresan, que un mismo gen puede formar proteínas diferentes y que la expresión genética se encuentra a cargo de varios factores de transcripción (Mattick, 2010; Seringhaus y Gerstein, 2010). A pesar de lo expuesto, en la enseñanza usual del contenido síntesis de proteínas se enfatizan de manera descriptiva sólo las etapas de transcripción y

traducción, y se evita abordar la relación entre material genético y lo fisiológico, así como de qué manera la ciencia logró comprender este proceso, ni incluir los conocimientos que la ciencia sigue produciendo. Dadas la densidad, complejidad y abstracción de las relaciones conceptuales involucradas en esta temática, algunos de los interrogantes que direccionan esta investigación se encaminan en la línea de indagar sobre su enseñanza y las condiciones didácticas que condicionan su aprendizaje privilegiando conceptualizaciones explicativas por sobre informaciones de orden declarativo.

En la formación inicial de los futuros docentes de Biología es poco probable enseñar todas las relaciones conceptuales al mismo tiempo, dado que requiere años de formación y por consecuencia, excede la enseñanza dentro de una sola asignatura. Ante esta situación se estima la necesidad de problematizar los contenidos abordando todas las relaciones conceptuales posibles y seleccionar algunas de éstas como objeto de enseñanza.

A continuación, se presentan los argumentos que sustentan el problema a investigar: la caracterización de la enseñanza habitual del contenido síntesis de proteínas en los niveles secundario y superior, consideraciones sobre la naturaleza de este contenido, y sobre el trabajo con representaciones pictóricas en clase.

#### *La enseñanza usual de la síntesis de proteínas*

En los niveles secundario y superior suele abordarse de una manera declarativa sin extender a explicaciones conceptuales que den cuenta de las relaciones entre el metabolismo celular y el funcionamiento integral del organismo. Se suele enfatizar una suma de descripciones sobre las estructuras y funciones de los ácidos nucleicos, el código genético, los aminoácidos esenciales, el tipo de unión química en la conformación de proteínas, los ribosomas, las etapas propias del proceso -transcripción y traducción-, las diferencias de cada una de ellas y la identificación de la conformación molecular del

producto final. Según van Mil et al. (2013), a pesar que en escuelas de nivel secundario de muchos países se ofrecen explicaciones a nivel molecular, esto no significa que los estudiantes puedan conectar ese conocimiento molecular con fenómenos a nivel de células, órganos y organismos.

Cuando se enseña síntesis proteica de manera descriptiva es común que se pierda de vista: que el proceso depende de factores tanto ambientales como internos (como la disponibilidad de nutrientes, estrés celular, factores de crecimiento; factores de transcripción); que cada célula produce inicialmente distintas cadenas polipeptídicas afuncionales, las cuales deben plegarse y madurar para luego cumplir la función para la cual fueron producidas dentro o fuera de la célula responsable de la síntesis; y que la producción de proteínas depende de aquellos genes activos en condiciones de expresarse.

El abordaje atomizado o fragmentado, característico de la enseñanza tradicional del contenido célula, donde se explica por separado cada una de sus partes sin interrelacionarlas con los procesos que allí se realizan (Roa-Acosta et al. 2008), ni como inciden éstos a nivel orgánico, se replica al enseñar el contenido síntesis de proteínas. Usualmente, por un lado, se enseña la estructura y funciones de las proteínas -estructural, de transporte, enzimática, de defensa, contráctil, hormonal, etc.-, y por otro cómo son sintetizadas. La vinculación entre ambos, suele quedar a cargo de los estudiantes, lo que no asegura que puedan relacionar producción, regulación, y función. En la enseñanza usual del contenido síntesis de proteínas tampoco se relaciona la producción con contenidos propios de otra rama de la Biología como la Genética. Se suele omitir vincular a los rasgos heredados con la fabricación de proteínas.

### *La naturaleza del contenido a enseñar*

La síntesis de proteínas constituye un contenido complejo. Investigaciones realizadas entre profesores de nivel secundario de México señalan que, en gran parte, la dificultad es atribuida a la falta de conocimientos básicos de otras disciplinas como Química y Genética cuando se expone a los estudiantes al aprendizaje de este contenido, al grado de abstracción del mismo, a la complejidad del proceso, y a la falta de motivación (Morales, 2013 en Díaz Velázquez y Covarrubias Papahiu, 2016).

Desde lo disciplinar, el contenido está relacionado con saberes de distintas ramas de las Ciencias Naturales. De la Biología Molecular incluye conceptos de estructura, función y variedad de ácidos nucleicos, complejos para la transcripción del ARN, estructura y función de las proteínas; de la Biología Celular comprende tipos celulares, organelas y sus funciones; de la Genética abarca conceptos de gen, genotipo-fenotipo, herencia; y de la Bioquímica supone uniones químicas, reacciones químicas, moléculas energéticas, reacciones endergónicas y exergónicas. Gagliardi (1988) y Roa-Acosta et al. (2008) sostienen que el desconocimiento de los fenómenos producidos a nivel celular impide entender aspectos fundamentales del funcionamiento de los organismos vivos, razón por la que el aporte de disciplinas variadas permitiría abordar todas esas relaciones.

Por otra parte, autores como van Mil et al. (2013) consideran que para entender la complejidad que encierra el proceso de síntesis primero es necesario entender que las proteínas se sintetizan cuando un gen se expresa, que ese gen solo se expresa cuando otros lo regulan; que la expresión de los genes incluye dos etapas, y que las proteínas sintetizadas participan de procesos celulares, que finalmente repercuten en la fisiología sistémica. Southard et al. (2016), en este mismo sentido señalan que es necesario diseñar una sucesión organizada, dinámica y espacial de los eventos para favorecer y conducir a los estudiantes hacia la comprensión general del fenómeno. Se suma a lo expuesto la

necesidad de explicitar y vincular la participación de los distintos niveles de organización, tal como ha sido subrayado por muchos autores (Duncan y Reiser, 2007; Knippels 2002; y van Mil et al., 2013).

La síntesis de proteínas es un proceso modelizado por la ciencia, se sintetizan a nivel subcelular y es inobservable (Roni y Carlino, 2017, 2018). Concebir las etapas de transcripción y traducción requiere no solo de conocimientos aprendidos anteriormente, sino que el que aprende esté dispuesto a imaginar cómo la información contenida en los genes se expresa en proteínas. ¿Qué significa que los genes se expresen en proteínas?, ¿cómo es posible entender que “algo” se expresa a través de “otro”?, ¿cómo se interpreta que el fenotipo es la manifestación del genotipo, es decir que las proteínas son producto resultante de la expresión de los genes?

El contenido resulta lejano para el estudiante. Es poco habitual y distante cuestionarse por la relación entre la síntesis de una proteína y la función específica de las células que la producen, ni por la relación entre dicha producción y el nivel orgánico. Para los conocedores del tema, los genes solo hacen evidente su información cuando se forma la proteína prevista; sin embargo, para los estudiantes, estas ideas son difíciles y hasta tediosas de asimilar, sobre todo cuando la situación de enseñanza se aleja de un análisis integral del tema (Diaz Velazquez y Covarrubias Papahiu, 2016; Roni et al., 2013; Roni y Carlino, 2018). Se estima que un enfoque donde se relacionen procesos celulares, la responsabilidad de la información genética y las repercusiones sobre la fisiología orgánica, le otorga relevancia y sentido al estudio de la síntesis de proteínas, en cambio, descuidar estas vinculaciones puede favorecer el distanciamiento de los estudiantes con este contenido.

Una de las situaciones de enseñanza valoradas en el aprendizaje en ciencias suele ser la experimentación ya que ofrece a los alumnos la posibilidad de hipotetizar y cuestionarse sobre un fenómeno desplegando dudas genuinas. En la enseñanza de la síntesis proteica la condición de “invisibilidad” e “inaccesibilidad” de los procesos moleculares que se producen a nivel sub-celular, sumado a la escasa posibilidad de realizar experiencias en los laboratorios escolares, constituyen otro cuerpo de dificultades con las se encuentran los profesores al momento de elaborar propuestas de enseñanza (Duncan y Reiser, 2007; Roni y Carlino, 2017, 2018; van Mil et al., 2013). Ello condujo a que en esta investigación se prestigie el trabajo con las representaciones pictóricas para un contenido que, en principio, se presenta como difícil e inaccesible.

#### *Las representaciones pictóricas y modélicas*

La comunicación gráfica ha estado presente de una forma u otra a lo largo de toda la historia humana y fue fundamental para la construcción de las Ciencias Naturales. Así como la ciencia incorporó al dibujo para construir conocimientos Grilli et al. (2015) sostienen que es imposible pensar la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias al margen o por fuera de este recurso comunicativo que complementa y amplía la verbalidad. Dibujar está lejos de ser considerada una tarea cognitivamente neutra, puede colaborar con los alumnos a generar representaciones mentales de conceptos claves. Carlino (2005) afirma que se aprende ciencias leyendo y escribiendo y, de manera análoga, se puede sostener que también se aprende ciencia observando imágenes y realizándolas.

Los docentes suelen apelar a representaciones (tablas, cuadros, gráficos, esquemas, dibujos, imágenes en general) como las que están presentes en los libros de texto, considerándolas apoyaturas visuales de las explicaciones del profesor que colaboran ilustrando un fenómeno. Se presupone que una representación visual dice el conocimiento a quien la examina, sin prever que quien contempla la imagen por primera vez necesita

conocer las convenciones utilizadas en la representación para comprender el modelo del fenómeno ilustrado (Garavaglia, 2015). Si se analiza el ejemplo de la figura 1:

**Figura 1. La modificación del dogma central**



**Fig.1** Imagen convencional presente en los libros del área que da cuenta del dogma central de la Biología y sus posteriores revisiones. *Nota:* La modificación al dogma central. Encina (2013, p. 564). Recuperado de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864013701962>

Si bien se trata de una representación que parece simple por la escasa cantidad de elementos que involucra, encierra ideas complejas e inasibles para quien se encuentra en situación de aprendizaje. Se trata de gráficos de carácter modélico. La modificación del dogma central (figura 1) indica su complejización con el descubrimiento de la transcriptasa inversa que posibilita formar ADN a partir de moléculas molde de ARN. ¿Qué pueden significar las flechas para un estudiante que se encuentra realizando sus primeras aproximaciones al tema?, ¿dónde se produce ese proceso?, ¿es el ARN una molécula permanente o sólo se produce para la síntesis de proteínas?, ¿dónde se lo encuentra?, ¿cómo se vincula la información genética con las proteínas?, ¿qué relación guarda la herencia con las proteínas?, ¿a qué nivel de organización refiere? Esto cuestiona, al menos, que la presentación de imágenes convencionales en clase garantice por sí sola la comprensión de los conceptos.

Las investigaciones en Didáctica de las Ciencias que han asumido el estudio de las representaciones pictóricas en situación de aprendizaje las consideran desde diversas perspectivas. Pueden ser interpretadas como comunicación científica, recurso didáctico

del docente, y también identificar que en los libros de texto ofrecen diferentes funciones. Otros estudios que consideran su elaboración a cargo de los alumnos las proponen con la intención de indagar ideas previas o conocimientos aprendidos, sosteniendo que su producción colabora con la evolución conceptual.

En esta propuesta de investigación, la elaboración de representaciones pictóricas está lejos de constituirse en una instancia de explicitación de las ideas previas al comienzo de una propuesta de enseñanza, o de las alcanzadas al final de la misma, sino que se plantea con el propósito de realizar aproximaciones explicativas al contenido en cuestión. Se aborda la elaboración de representaciones como parte de una secuencia didáctica orientada al aprendizaje de la síntesis de proteínas. Las representaciones pedidas son posibles gracias a lo trabajado en clase, a lo estudiado anteriormente y a la imaginación que ponen en juego durante su elaboración. Cabe destacar que el material didáctico de uso habitual carece de imágenes convencionales que incluyan este enfoque. Dada la perspectiva integral con la que se asume la enseñanza del contenido se espera que en su producción modelicen la relación conceptual entre la síntesis proteica y su papel en el organismo. Se considera que su producción puede constituirse en una potente herramienta interpretativa y epistémica para conceptualizar una relación que en función de las caracterizaciones del contenido antes mencionadas, resulta muy compleja de enseñar y aprender.

Las caracterizaciones descriptas sobre la enseñanza usual, el contenido síntesis de proteínas, las representaciones pictóricas de carácter modélico usadas en la enseñanza, la experiencia docente y lo relevado en los antecedentes, constituyen argumentos sustanciosos para esta investigación. Dichos fundamentos motivan a explorar las condiciones didácticas en las que elaborar representaciones pictóricas puede colaborar con la apropiación del mismo. Y para ello se contempla el diseño de una secuencia

didáctica que genere un escenario convocante, donde se anticipen las posibles intervenciones docentes a fin de gestionar la problematización del contenido, los posibles obstáculos para su comprensión y se brinden variadas oportunidades de transformar el conocimiento (Espinoza et al., 2009; Espinoza et al., 2012).

## **Los objetivos de esta investigación**

A continuación, se proponen el objetivo general y los específicos que conducen el presente trabajo investigativo:

### *Objetivo general*

Diseñar y evaluar críticamente el funcionamiento de las condiciones didácticas en las que la elaboración de representaciones pictóricas de carácter modélico puede cumplir una función epistémica para apropiarse del contenido síntesis de proteínas, estableciendo relaciones entre el material genético, las proteínas y el funcionamiento de esas proteínas a nivel orgánico, en un profesorado de Biología de nivel superior.

### *Objetivos específicos*

- Elaborar, diseñar y desarrollar en el aula una secuencia didáctica que prestigie el trabajo con lo representacional para la enseñanza de la síntesis de proteínas.
- Identificar las ideas que los estudiantes expresan en cada una de las situaciones de enseñanza que integran la secuencia didáctica y reconocer sus movilidades.
- Describir las intervenciones docentes en las distintas situaciones de enseñanza y en particular durante el trabajo con lo representacional.

## **La organización de esta tesis**

Se describe el trabajo desplegado a lo largo de esta investigación organizado en los capítulos que lo integran.

En el capítulo 1, como ya fuera enunciado, se planteó el objeto de estudio y se presentaron los fundamentos que motivaron su investigación vinculados a la enseñanza usual del contenido síntesis de proteínas, al uso de representaciones convencionales de la ciencia, a la naturaleza propia del contenido. Se incluyó, además, los objetivos que guían la investigación en ese sentido.

En el capítulo 2 se explicitan los antecedentes referidos al objeto de investigación que dan cuenta de la variedad de concepciones sobre lo representacional y sobre lo modélico. Se incluye también los antecedentes sobre la enseñanza del contenido síntesis de proteínas, y se completa con la historización de las investigaciones científicas que condujeron a la interpretación del proceso de síntesis y sus actualizaciones.

En el capítulo 3 se incluyen las orientaciones teóricas que dan sustento a los dos pilares de esta propuesta investigativa, las relativas al enfoque didáctico y a las representaciones externas de carácter modélico entendidas desde la perspectiva epistemológica, psicológica y didáctica. En cuanto a lo didáctico se incluyen consideraciones acerca de la interpretación de las representaciones en la enseñanza usual y desde el enfoque de esta investigación.

En el capítulo 4 se describen los lineamientos metodológicos a los que adhiere esta propuesta explicitando los fundamentos de la Ingeniería Didáctica y sus fases, y detallando de qué manera se procedió en cada una de ellas: análisis preliminares, análisis a priori, experimentación y análisis a posteriori. Se incluye la secuencia didáctica completa.

Los capítulos 5, 6, 7 y 8 corresponden a los análisis realizados en esta investigación, referidos a las condiciones didácticas que convocan a elaborar representaciones modélicas, a tomarlas como objeto de reflexión en clase, y a abordar las imágenes convencionales sobre la síntesis de proteínas.

En el capítulo 5 se analizan las condiciones didácticas diseñadas para que los estudiantes arriben en condiciones fértiles a plasmar sobre el papel sus ideas puestas en relación con sus conocimientos sobre el tema, con la presentación de un interrogante inicial planteado y un caso de estudio vinculado al papel de una proteína específica. En el capítulo 6 se examinan la situación de elaboración de representaciones considerando las acciones que los estudiantes realizan, destacándose las discusiones, las marcas al papel, aquellas ideas que se pensaron y no llegaron a plasmarse, y las marcas utilizadas y el orden en el las vuelcan sobre el papel, las ideas que se pensaron y no llegaron a plasmarse y la inclusión de anotaciones escritas. Se hace lo propio con las intervenciones de la docente en dicho proceso. En el capítulo 7 el foco de análisis son las interpretaciones y reflexiones realizadas por los estudiantes y la docente durante la propuesta de revisión como objeto de reflexión en clase. En el capítulo 8 se estudia la forma en que los estudiantes asumen lo consensuado por la ciencia a través de imágenes convencionales en el contexto de la lectura de un texto expositivo, y también las producciones escritas donde vinculan el problema inicial, las ideas representadas y las explicaciones que la ciencia brinda.

En el capítulo 9 se formulan las conclusiones a partir de la interpretación de funciones que cumplen las representaciones en la reorganización de los conocimientos de los estudiantes, y las condiciones didácticas que permitieron esta elaboración. Se incluyen los aportes de esta investigación al campo de la enseñanza de la ciencia y los posibles problemas para seguir indagando.

## *Capítulo 2*

### *Antecedentes*

---

#### **Introducción**

En este capítulo se presentan los antecedentes relativos a las representaciones externas pictóricas o no textuales y su inclusión en la propuesta educativa, a la noción de modelo en el área de las ciencias naturales, y a la enseñanza de la síntesis de proteínas. Por último, se historizan las preguntas y los conceptos estructurantes del campo de la Biología Molecular sobre el proceso síntesis de proteínas.

#### **Las representaciones externas pictóricas o no textuales**

Lo que en esta investigación se designa y conceptualiza como representaciones pictóricas o no textuales siguiendo la denominación propuesta por Lombardi et al. (2009), en otros estudios es referido como imágenes, ilustraciones, dibujo científico, esquemas, dibujo esquemático, dibujos figurativos, gráficos, información gráfica, representaciones didácticas, representaciones externas figurativas, representaciones semióticas, representaciones visuales, representación visual-espacial, modelos científicos, modelos escolares y modelos idiosincráticos.

Además de su polisemia, se puede afirmar que el concepto representación externa se encuentra fuertemente imbricado al de modelo en ciencias. Algunos autores presentan sus investigaciones o estudios privilegiando uno de estos dos conceptos. La revisión que se propone a continuación se organiza respetando la entrada que los autores adoptan para abordar tal relación.

Primero se aborda los antecedentes respecto a la caracterización de la naturaleza de las representaciones externas, su función en el área de las Ciencias Naturales, en los libros de texto y en el contexto de enseñanza. Y luego se plantean los antecedentes referidos al concepto de modelo vinculado a la Didáctica de las Ciencias incluyendo cómo se introduce en este campo y su uso en situación de enseñanza y de aprendizaje.

#### *La relación entre lo representado y la representación*

En cuanto a la naturaleza de las representaciones pictóricas algunos estudios refieren a la relación entre el referente y representación considerando diferentes grados de analogía, mientras que otros destacan la naturaleza del primero.

La naturaleza de la relación objeto a representar y su representación varía en tanto éstas sean consideradas como icónicas -analógicas- o arbitrarias -abstractas- (Ainsworth, 2006; Drouin, 1987; Grilli et al., 2015; Lombardi et al., 2009; Postigo y Pozo, 2000; Salsa y Peralta, 2010). En las icónicas dicha relación es de similitud, por ejemplo, las fotografías, los dibujos figurativos, las imágenes audiovisuales, etc. En las abstractas la relación no puede ser inferida solo a través de la observación y se basa en una convención social, como la escritura, la notación numérica, la notación musical, la notación química, etc. También existen aquellas que se elaboran combinando representaciones icónicas y abstractas como los mapas, los gráficos, los diagramas, etc.

La fotografía y el dibujo científico, según Grilli et al. (2015) constituyen dos técnicas de carácter complementario donde la primera oficia de complemento adicional al dibujo sin sustituirlo. Interpretan que los dibujos científicos que acompañaron el desarrollo de las Ciencias Naturales muestran el resultado de una observación de la realidad y sostienen que pueden originarse como consecuencia o resultado de un experimento científico, o para aclarar conceptos en un texto científico. Según esta perspectiva, entienden que el dibujo científico parece acercarse a una fotografía, condición que le permite poseer un

alto grado de iconicidad y tendería a confundirse con la realidad. Si bien resulta interesante el criterio iconicidad y abstracción, en esta investigación sería poco probable sostener lo referido a la complementariedad entre fotografía y dibujo sostenida por Grilli et al (2015), dado que a los estudiantes se les propone modelizar la relación entre el material genético y la fisiología orgánica, es decir una vinculación conceptual que dista de ser fotografiada, por lo que se conciben a las representaciones pictóricas desde otra perspectiva (Lombardi et al., 2009) donde se las interpretan como imágenes con carga conceptual que denotan abstracción.

Otros, en cambio, como Diaz Barriga y Hernandez Rojas (2004) y Tapia Luzardo et al. (2012), sostienen que la naturaleza del objeto representado ofrece una variedad de funciones de las representaciones, entre ellas las denominadas: descriptivas, que muestran características esenciales de un objeto; funcionales, que describen visualmente las interrelaciones entre las partes de un objeto; construccionales, que explican los componentes de una totalidad; y algorítmicas, que describen procedimiento o rutas posibles. A partir de esta categorización sería posible preguntarse cuáles serían las condiciones didácticas que facilitarían al estudiante asumir la elaboración de una representación con un propósito determinado, que al igual que los científicos, le permitan explicar un fenómeno.

#### *La función de las representaciones pictóricas en el área de las Ciencias Naturales*

Martí (2003); Salsa y Peralta (2010) y Lombardi et al. (2009), señalan que las representaciones externas remiten a una amplia gama de dominios de conocimiento, por ejemplo, la escritura al lenguaje, la notación numérica a las cantidades, los mapas y modelos a escala a objetos que se relacionan espacialmente, los gráficos a las relaciones entre variables.

En la historia de la ciencia, Gould (1996) afirma que las representaciones pictóricas han sido esenciales para explicar lo inobservable y funcionaron como fuente potenciadora de conocimiento. Por ejemplo, los referidos a la anatomía de Da Vinci y de Vesaluis, a la estructura microscópica del corcho de Hooke, a los foraminíferos realizados por d'Orbigny, o los radiolarios de Haeckel, entre muchos otros. Un clásico ejemplo de cómo los dibujos favorecieron la construcción del conocimiento científico son las producciones de Santiago Ramon y Cajal (1852-1934) médico y profesor de Anatomía e Histología en las universidades de Valencia, Barcelona y Madrid, quién describió el sistema nervioso apoyado en la precisión de sus dibujos en microscopía. Sostenía que un buen dibujo y una adecuada preparación microscópica son documentos científicos que conservarán indefinidamente su valor y su revisión será siempre provechosa (Cajal 1899 en de Felipe, 2005). Sus dibujos, considerados “copias fidedignas de preparaciones histológicas que muestran la microorganización del sistema nervioso, como un mapa que contiene las conexiones de las neuronas y las rutas que siguen los impulsos nerviosos a través de las mismas” (de Felipe, 2005, p.241) le permitieron describir y defender los principios de la Teoría neuronal (actualmente vigente) en oposición a la Teoría reticular que sustentaba su contemporáneo Camilo Golgi (1843-1926).

Otras investigaciones añaden que las imágenes que la ciencia produce cumplen un rol destacable en la comunicación. Ainsworth et al. (2011); Cook (2011); y Márquez y Pratt (2005) sustentados en los aportes de Lemke (1995,1998) entienden que la ciencia no se hace ni se comunica exclusivamente a través del lenguaje verbal. La discriminación visual ofrece mejor posibilidad de tratar las relaciones y variaciones de espacio que el sistema lingüístico. Representaciones fundamentales como la estructura de doble hélice de la molécula de ADN, el átomo o las placas tectónicas permitieron organizar y relacionar distintos fenómenos inobservables a la vista humana.

Algunos trabajos (Perales Palacios, 2006; Postigo y Pozo, 2000; Roldan et al., 2010; Tamayo, 2006; Tytler y Prain, 2007) sostienen que dado el lugar que ocupan las imágenes en la sociedad actual es imposible estudiar fenómenos relacionados con el conocimiento científico sin recurrir a la noción de representación.

### *El papel de las representaciones pictóricas en los libros de texto*

Desde hace varias décadas los didactas de las ciencias reconocen que las imágenes de los libros de texto pueden facilitar el conocimiento, sostienen que las mismas motivan, explican y ayudan a memorizar, sin embargo, también pueden transformarse en un obstáculo cuando la imagen crea un efecto de dispersión, donde lo esencial y lo general queda enmascarado por detalles (Drouin, 1987). Investigaciones variadas sobre las imágenes que ofrecen los libros de textos de ciencias interpretan que algunas de ellas sólo distraen y no guardan relación directa con el texto, por lo que se las interpreta como decorativas y que sólo promueven el interés (Cook, 2011; Ocelli y Valeiras, 2013). Otras son usadas como argumentos visuales para convencer al lector (Jimenez y Perales, 2001), en general se las incluyen con la intención de simplificar conceptos complejos, aunque en ocasiones esta aparente reducción suele generar errores conceptuales (Ocelli y Valeiras, 2013). Cook (2011) sustentado en Lemke (1995) acepta que es más conveniente la discriminación visual que el sistema lingüístico para tratar relaciones y variaciones complejas en el espacio y distingue la potencialidad de ciertas imágenes por sobre otras. Considera que son explicativas cuando ofrecen un desafío cognitivo importante favorecedor de la evolución conceptual en lugar de sólo comunicar conceptos.

Por su parte, Tapia Luzardo et al. (2012) al enseñar el tema célula, consideran que los textos suelen contener ilustraciones inapropiadas que, sumadas a la naturaleza abstracta del concepto y al inadecuado manejo didáctico de las ilustraciones, son responsables de la problemática en su aprendizaje. En cambio, otras investigaciones que también analizan

las representaciones en los libros de texto (Grilli et al., 2015) consideran que la combinación de dibujo y microfotografías que ofrecen al describir estructuras no observables favorecen la comprensión de temas como, por ejemplo, las organelas de una célula eucariota.

Márquez y Prat (2005) acuerdan con Lemke (1997) cuando sostienen que texto e imagen conducen a interpretaciones conjuntas de las que se obtiene nuevos significados: ni se complementan, ni ofrecen un significado final como suma de ambos, dado que la imagen puede ser modificada por el texto y viceversa.

Considerando que las imágenes convencionales presentes en los libros de texto podrían colaborar con la enseñanza de contenidos científicos si los estudiantes se encuentran en condiciones de detenerse y reflexionar sobre ellas, ameritaría preguntarse si para su interpretación bastaría con una buena selección y si sería suficiente con solo observarlas.

#### *El trabajo con las representaciones en la propuesta escolar*

En la Didáctica de las Ciencias Naturales existe un amplio reconocimiento del valor que tiene la presentación y la elaboración de representaciones pictóricas en la enseñanza y el aprendizaje de ciencias. Algunas investigaciones (Diaz Barriga y Hernandez Rojas, 2004; Gomez Llombart y Gavidia Catalán, 2015; Jimenez y Perales, 2001) en relación con el uso de las representaciones caracterizaron las funciones que éstas suelen asumir en la enseñanza. Consideran que las ilustraciones propias de las ciencias constituyen un recurso para reproducir un objeto con el que no se puede contar de manera real. Sostienen también que son recomendables en la comunicación de ideas concretas o de bajo nivel de abstracción, conceptos de tipo visual o espacial, eventos que ocurren de manera simultánea y procedimientos o instrucciones. Entienden, además que las imágenes motivan a los alumnos y facilitan la retención de información, por lo que recomiendan que sean seleccionadas de acuerdo con el nivel cognitivo de los alumnos.

Estudios publicados por Roldan, et al. (2010) en coincidencia con Postigo y Pozo (2000) destacan que el uso de representaciones de tipo figurativas en Biología, cargadas de contenido, permiten explicar procesos químicos o propiedades de órganos, tejidos o células que no son observables. Al mismo tiempo dan cuenta del poco aprovechamiento de ellas por parte de los docentes en las clases universitarias de ciencias. Sostienen que en el trabajo con representaciones figurativas las consignas deben jugar un papel central, pues las consideran como mediadoras de un aprendizaje más significativo y auténtico, y como complemento para la comprensión del objeto biológico.

Mientras que unos sostienen que lo importante es detenerse a observar e interpretar las imágenes o dibujos que la ciencia provee (Garavaglia, 2015), otros consideran que es necesario enseñar a interpretar las reglas o convenciones propias de una representación y para otros lo importante es que los alumnos dibujen para aprender ciencias (Ainsworth et al., 2011; Gómez Llombart y Gavidia Catalán, 2015). Aunque algunas de estas investigaciones sostienen la necesidad de su inclusión en la enseñanza, sus estudios no siempre son acompañados de evidencia empírica acerca de posibles modos de sustanciarla.

En relación con la observación de imágenes de ciencia, Garavaglia (2015) señala que cuando los docentes las proponen mejora la conceptualización, colabora con la interpretación del modelo a estudiar, y sostiene que el docente debe enseñar a mirarlas e interpretarlas ya que los estudiantes deben conocer las convenciones utilizadas para comprender lo ilustrado, en especial para aquellos que desconocen el tema abordado en la misma. Se acuerda con que las representaciones suelen contar, dependiendo de su nivel de especificidad, con códigos, artificios gráficos convencionales que le son propios y que la interpretación depende de conocerlos.

En las investigaciones en la que se da cuenta de las reglas o códigos propios de las representaciones se sostiene que trabajar con ellas en el aula implica exigencia. La elaboración de ciertas representaciones no textuales por parte de los estudiantes, como gráficos de curvas, de barras, histogramas, etc., requieren el uso de signos o símbolos que poseen sus propias reglas. Autores como Diaz Barriga y Hernandez Rojas (2004); Lombardi et al. (2009); Garavaglia (2015); Márquez y Prat (2005); Martí et al., (2010); Perales Palacios (2006); y Postigo y Pozo (1999, 2000) señalan que los gráficos generan dificultades en la interpretación, por lo que requieren de procesos de alfabetización para atribuirles significado en un contexto disciplinar determinado.

Estudios realizados por Martí et al. (2010) sobre la comprensión de gráficos basados en los aportes de Friel et al. (2001); Postigo y Pozo (2000) consideran que la interpretación, construcción y uso de los gráficos encierran mayor complejidad, a pesar de la aparente rapidez con que las informaciones son divulgadas a través de ellos. En su investigación entienden que su comprensión, como un tipo de representación externa, posibilita un trabajo en el aula que conduce a distintos niveles de profundidad. Reconocen que la diferenciación de niveles se debe a que permiten distintos grados de comprensión sobre el tipo de información que ellos aportan: explícita o superficial, cuando sólo se identifica título, número, nombre y tipo de variables; implícita, cuando se interpretan datos, variables, patrones, tendencias en la relación de variables; y conceptual, cuando se logra inferir, explicar o predecir el fenómeno representado. Las experiencias realizadas con alumnos escolarizados de entre 10 y 13 años les permitieron concluir, por un lado, que no es lo mismo comprender las convenciones básicas de un gráfico -nivel más bajo de comprensión- que extraer información del mismo, deducir nuevos datos, interpretarlos o extrapolarlos. Y por otro que no era posible generalizar un grado de dificultad creciente de una manera lógica, puesto que si bien los gráficos ofrecen la ventaja de visualizar datos

con facilidad, podría suceder lo contrario cuando se trata de niveles de mayor profundidad -interpretación o extrapolación- donde alcanzar una interpretación global depende de los propios obstáculos cognitivos del estudiante.

En relación con el diseño de representaciones, estudios realizados por Gómez Llombart y Gavidia Catalán (2015) demuestran que su elaboración influye en la adquisición de información y en su comunicación. Los autores, proponen en primera instancia, a un grupo de futuros docentes representar una hormiga recordándola, luego dibujarla observándola, y más tarde junto a un cuestionario con preguntas orientadoras sobre su anatomía volver sobre sus dibujos para modificarlos o completarlos. En su investigación concluyen que sus propuestas permitieron que los estudiantes expresen sus ideas previas, se potencie su trabajo autónomo, se incremente su motivación y se facilite la elaboración de modelos mentales.

En un estudio (Tapia Luzardo et al., 2012) donde se detienen a observar la enseñanza del contenido célula en un aula de nivel secundario, y en especial la forma de trabajo del docente con representaciones de tipo descriptivas, opinan que las mismas sólo favorecen la memorización de estructuras celulares descuidando la comprensión del contenido. Estas apreciaciones condujeron a las investigadoras a elaborar una propuesta didáctica que permita al docente conocer las representaciones que poseen los estudiantes sobre la célula, exteriorizándolas a través del dibujo o de la escritura, estimando que de esa manera se podría mejorar la intervención docente. Sería oportuno destacar lo valioso de una participación activa del docente orientando y acompañando a los estudiantes en su proceso de aprendizaje tomando en consideración sus ideas sobre el tema.

En otra de las investigaciones relevadas se sostiene que dibujar mejora el compromiso con el objeto de estudio, permite razonar en clases de ciencias, y es una estrategia de aprendizaje y de comunicación (Ainsworth et al., 2011). En cambio, para otros realizar

dibujos esquemáticos en clases de Biología acentúan aspectos biológicamente significativos y no la representación fiel de lo que se está observando (Grilli et al., 2015). Algunos estudios valoran la relación entre diferentes sistemas representacionales, ya sea en representaciones elaboradas por los alumnos o complementando imágenes que la ciencia ofrece. Ainsworth (2006), Cook (2008), Gómez (2008), y Gomez Galindo (2014) consideran que el uso coordinado de diversos modos semióticos o comunicativos, es decir representaciones múltiples -texto, imagen y sonido- favorecen el aprendizaje de conceptos complejos dado que integrar la información proveniente de distintos sistemas de representaciones colabora con una comprensión de mayor nivel de profundidad.

En relación con el uso de distintos sistemas representacionales, Maturano et al. (2009) retomando a Pericot (2005) refuerzan la idea sobre la necesidad del proceso de conversión de una imagen a texto escrito. La intencionalidad comunicativa de la imagen ofrece al intérprete la oportunidad de inferir, sacar conclusiones o razonar a partir de la información que ella brinda sumado a las suposiciones o creencias que el intérprete posea acerca de lo representado. En consecuencia, el intérprete enriquece la información ofrecida a través de un proceso de complementación con la información que estima adecuada para ese contexto.

En esta misma orientación, Tamayo (2006) conceptualiza la acción de representar y su articulación con la transformación conceptual destacando el importante papel que cumple la construcción de distintos tipos de representaciones mediante el uso de diferentes lenguajes. Explicita que para lograr aprendizajes en profundidad es necesario desarrollar tres tipos de actividades cognitivas: en primer término, el estudiante construye su representación a partir de un conjunto de caracteres, luego dicha producción se transforma o amplía dentro de un mismo registro y finalmente se convierte en diferentes tipos de registros semióticos diferentes al inicial. Sostiene que se logra progreso en el

conocimiento cuando está acompañado de la transformación o conversión de una representación externa en otra. Considera que es el docente quien debe orientar sus esfuerzos para hacer evidentes los procesos que posibilitan esa conversión, en oposición a la creencia generalizada que el paso de una representación a otra se realiza de manera automática. Y sugiere además que en el ámbito educativo se considera que un concepto está aprendido cuando se lo puede enunciar o representar externamente.

Otros pocos estudios se detienen en la producción de representaciones no textuales dentro del marco de secuencias de enseñanza y analizan su contribución a la reorganización del conocimiento. Las investigaciones relevadas en esta categoría se encuentran dentro de las que la presente tesis le interesa contribuir. Exploraciones realizadas por Tytler y Prain (2007) les permite interpretar cómo alumnos de entre 9 y 11 años son capaces de apropiarse del concepto de evaporación. Proponen una secuencia didáctica donde una representación de partículas de agua realizada por la docente convoca a los alumnos a discutir sobre lo representado para que luego escriban explicaciones sobre ello. A efectos de comprender la evolución del concepto de evaporación realizan entrevistas de seguimiento de algunos alumnos a lo largo de dos ciclos lectivos. En dichas entrevistas indagan cómo avanzan las ideas de los alumnos proponiendo la realización de algunos dibujos para responder una serie de preguntas. Los investigadores afirman que es visible la transformación conceptual sobre el movimiento de partículas y sugieren que sería necesario contar con programas de ciencias en las que se prevea trabajar con representaciones. Sostienen que una negociación, mediada por el profesor, entre lo representado y la construcción de sus relatos sobre el tema a estudiar, contribuye a la reorganización de sus conocimientos.

En esta tesis se comparte la relación entre la evolución conceptual y el diseño de representaciones, para ello se asume el pedido de elaboración de una representación en

relación con otras situaciones de enseñanza pretendiendo favorecer el despliegue y la movilización de ideas que, además, se analizan a lo largo del desarrollo de la secuencia y no solo en el momento de representar.

Una investigación reciente (Flores Camacho et al., 2020) que pondera el trabajo con representaciones para comprender, interpretar, construir e integrar conceptos, señala que cuanto más variados son los formatos representacionales más probable es la construcción de conceptos. Su propuesta consiste en exponer diversos grupos de alumnos cuando trabajan con distintos tipos de representaciones y diversas estrategias didácticas. Cabe destacar que la elaboración de representaciones en dicha investigación, se plantea como instancia de evaluación. Entre sus resultados reconocen que aquellos grupos que son expuestos a una mayor diversidad de representaciones convencionales y sus docentes proponen variadas dinámicas de trabajo alcanzan con éxito un mayor nivel de respuestas de un cuestionario diseñado para evaluar. Se aclara que las representaciones producidas en instancia de evaluación son similares a las imágenes que usaron los docentes a lo largo de la enseñanza. En sus conclusiones sostienen que estos alumnos pueden integrar y comprender mejor todos los aspectos conceptuales abordados y que la diversidad de trabajo didáctico favorece la construcción de nuevas ideas; sin embargo, las dinámicas que proponen los docentes no son objeto de análisis.

Se destaca de esta investigación el valor otorgado al trabajo didáctico que favoreció el despliegue de ideas. No obstante, cabría preguntarse: si dicho trabajo colabora con la enseñanza cuando se muestran imágenes convencionales a los estudiantes para motivarlos a exponer sus ideas, y si omitir del análisis de las intervenciones docentes desmerece lo que para los autores se interpreta como tan significativo.

Los aportes que ofrecen las investigaciones de Espinoza et al. (2010) y Espinoza et al. (2012) permiten sostener que la elaboración de representaciones incluidas en una

secuencia didáctica junto con otras situaciones de enseñanza puede desafiar cognitivamente a los estudiantes, les exige precisión al plasmar sobre el papel sus ideas, y admite revisión de las mismas junto a sus pares colaborando con la reorganización del conocimiento. Las diferentes maneras de representar constituyen una parte insoslayable de la actividad científica hacia la construcción del conocimiento y lo mismo sucede cuando en aula los alumnos aprenden ciencias. Acordando con esta última línea, la investigación que aquí se presenta está orientada a indagar las condiciones didácticas que colaboren con la movilización de ideas de los estudiantes y promuevan un acercamiento al conocimiento disciplinar.

## **Los modelos**

Las representaciones pictóricas se encuentran emparentadas con la noción de modelo en la medida en que tales inscripciones buscan comunicar significados acerca de cómo la ciencia interpreta y explica los fenómenos de la naturaleza. El término modelo también es caracterizado como polisémico, así como en el lenguaje cotidiano ofrece diferentes acepciones -como ejemplo de algo a seguir o como una versión simplificada o replica de aquello que imita incluyendo sus elementos característicos-, también es ambiguo en la actividad científica de distintas disciplinas. Ingresa al campo de la Didáctica de las Ciencias Naturales con aportes provenientes de la Epistemología y la Psicología Cognitiva.

Entre los años 1970-1980 en la Epistemología se constituye un enfoque diferente en el estudio del conocimiento científico: la concepción semántica de la ciencia (análisis de su significado) donde “una teoría se identifica mediante la clase de sus modelos” (Lombardi, 2010, p. 85) desplaza a la concepción sintáctica (análisis de su forma) heredada del positivismo que la entiende a través de sus leyes (Aduriz Bravo y Izquierdo Aymerich,

2009; Aduriz Bravo y Ariza, 2014). Ronald Giere (1992), representante de la epistemología semántica, realiza su aporte definiendo al modelo teórico como una entidad abstracta, no lingüística, que “se comporta” como afirma la teoría a través de sus enunciados. A propósito de este giro, la naturaleza y el papel de los modelos que se instala en las ciencias fácticas atrae la atención de estudios epistemológicos, históricos y sociológicos de la ciencia, y el concepto de modelo adquiere autonomía respecto de las teorías y se concibe como un mediador entre la teoría y la realidad (Lombardi, 2010).

Giere (1992, 2004) sostiene que las teorías científicas se estudian través de familias de modelos, y que estos son representaciones abstractas de objetos, sistemas, fenómenos o procesos que necesariamente simplifican lo que representan y pretenden entender. Los científicos usan modelos para representar y comprender aspectos del mundo con propósitos específicos. Esto permite afirmar que entre el mundo real que se modeliza y el conjunto de recursos simbólicos que definen al modelo se mantiene una relación de similitud.

Hacia la década de 1980, en el campo de la Psicología Cognitiva, Philip Johnson-Laird y Donald Norman, abordan lo referido al cambio conceptual considerando a los modelos como representaciones u análogos estructurales de estados de eventos u objetos del mundo que los sujetos construyen para interpretar la realidad. Los modelos constituyen representaciones internas que pueden ser de tres tipos: proposicionales (expresiones verbales), modelos mentales (análogos estructurantes del mundo) e imágenes (producto de la percepción e imaginación). Todas necesarias para explicar las maneras en que las personas razonan, hacen inferencias, comprenden lo que otros hablan y entienden el mundo (Moreira et al., 2002; Tamayo Alzate, 2013). Los modelos mentales son dinámicos, incompletos, inespecíficos, lentos y evolucionan permanentemente (Johnson-Laird, 1983), suministran poder predictivo y explicativo para la comprensión. Por

ejemplo, entender un sistema físico o un fenómeno natural implica tener un modelo mental del sistema a estudiar que le permite a la persona que lo construye explicarlo y hacer previsiones con respecto a él (Acosta et al., 2012; Gomez Llombart y Gavidia Catalán, 2015; Moreira et al., 2002; Palmero et al., 2001; Tamayo, 2006).

Por otra parte, los aportes de Vosniadou (2013) retomando a Nersessian (2008), dentro de la misma disciplina, sostienen que al modelizar se realiza una abstracción idealizada y esquemática de un sistema real, que hace uso de “objetos y propiedades, relaciones comportamientos, o funciones de éstos que se encuentran en correspondencia con el modelo” (p.20). Razonar a partir de la construcción o recuperación de modelos mentales o mediante el uso y manipulación de un modelo externo provisto por el medio cultural conlleva a la posibilidad de aprender.

Hacia fines del siglo XX la idea de modelo se incorpora a las didácticas específicas. Gilbert y Osborne (1980) sostienen que los modelos permiten elaborar una versión simplificada de un fenómeno, concentran la atención en sus características especiales, apoyan su visualización y por consecuencia su proyección imaginativa estimulando la investigación de dicho fenómeno. Por tales motivos proponen que la enseñanza se centre en parte, en el desarrollo de capacidades y habilidades científicas necesarias para la construcción de modelos. En este país, Agustín Aduriz Bravo, estudioso de la naturaleza de las ciencias, es quien contribuyó a establecer adecuaciones necesarias sobre lo modélico entre el campo epistemológico y el de la Didáctica de las Ciencias. Entre sus numerosas publicaciones sobre el tema se puede destacar las producidas junto a Mercè Izquierdo Aymerich donde consideran que modelo teórico es cualquier representación tanto abstracta como concreta (maqueta, imágenes, tablas, redes analogías, etc.) en cualquier medio simbólico que permita pensar, hablar y actuar con rigor sobre el sistema que se estudia siempre que permita describir, explicar, predecir e intervenir el fenómeno

estudiado. Y en cuanto al proceso de modelización en el contexto de enseñanza, lo consideran una actividad intelectual, donde se vinculan hechos y modelos para reconstruirlos y explicar fenómenos a estudiar o, usar los ya estudiados para nuevas cuestiones de interés (Aduriz Bravo y Izquierdo Aymerich, 2009).

La implicancia en la didáctica varía dependiendo de la noción del concepto que privilegie quien asuma su uso. Las investigaciones relevadas permiten identificar que lo modélico se lo vincula a representaciones internas, o se lo puede considerar como recurso didáctico, modelo teórico, o representaciones externas.

Algunas investigaciones (Palmero et al., 2001; Moreira et al., 2002; Tamayo Alzate, 2006, 2013) refieren que el aprendizaje se alcanza construyendo modelos mentales. Interpretan que el docente enseña sus propios modelos conceptuales y que los alumnos construyen sus modelos mentales entendidos como representaciones internas, para representar sistemas físicos. Dichos modelos se encuentran limitados por el conocimiento y la experiencia previa de los sujetos, son inestables y están lejos del saber científico, pero aun así son funcionales. Se materializan en formulaciones matemáticas, verbales o pictóricas, de analogías o de artefactos materiales. En cambio, los modelos conceptuales, interpretados como representaciones externas inventadas y diseñadas por investigadores, científicos, o profesores se producen para facilitar la comprensión o enseñanza de sistemas físicos. Son representaciones bien definidas, precisas, completas, compartidas por una misma comunidad y consistentes con el conocimiento científico que esa comunidad posee. En síntesis, los modelos conceptuales son instrumento de enseñanza, pero el instrumento para el aprendizaje significativo es la construcción de modelos mentales que le permite a su constructor dar significado al modelo conceptual que se le enseña.

Otros estudios consideran a los modelos como recursos para la enseñanza. Estudios relevados de la Didáctica de las Ciencias (Díaz Barriga y Hernández Rojas, 2004; Perales Palacios y Jiménez, 2002; y Postigo y Pozo, 2012) interpretan que los modelos utilizados por el profesor son similares a las ilustraciones o a las representaciones visual-espaciales (modelos a escala, 3D) pero tridimensionales. El docente puede a través de ellos representar artificialmente una porción de la realidad, simbolizando cómo son o cómo funcionan ciertos objetos, procesos o situaciones. Esta acepción del término, desde esta tesis podría concebirse como sinónimo de una representación externa no textual. En este mismo sentido, Rotbain et al. (2008) interpretan a los modelos como recursos que les permiten a los profesores representar en 3D estructuras de moléculas que consideran complejas o abstractas y de esta manera son traducidas a formas más simples y concretas. Su investigación les posibilita inferir que cuando los alumnos participan del armado de modelos tridimensionales o interactúan con un modelo diseñado en un ordenador pueden comprender mejor el tema estudiado.

En esta misma línea, otros trabajos (Gutiérrez y Pinto, 2005, en Oliva, 2019), consideran que los modelos son útiles en la construcción del conocimiento científico, y que en las clases de ciencias se modeliza recurriendo a herramientas útiles como simulaciones y animaciones digitales quienes proporcionan una dimensión dinámica a la modelización que permite ir más allá de la mera representación estática de los fenómenos. Es decir, que se interpretan como una manera de colaborar con la construcción de modelos mentales entendiendo que son clave para imaginar, reflexionar, visualizar, representar, etc.

Investigaciones sustentadas en la Epistemología Semántica y en la Psicología Cognitiva (Aduriz Bravo, Garófalo, Greco y Galagovsky, 2005; Aduriz Bravo, Gómez, Márquez, Sanmartí, 2005) parten de considerar al modelo mental como equivalente a representación interna y considera al modelo conceptual como la concretización de un

modelo mental. Asumen que todo sujeto construye sus propios modelos que le permiten trabajar en su ámbito de desempeño. Diferencian a los modelos según quien sea el responsable de su producción: distinguen a los modelos científicos como los producidos al interior de la comunidad científica; a los modelos de la ciencia escolar como a los elaborados por los docentes e interpretados como simplificaciones de los modelos científicos que permiten explicar fenómenos; y a los modelos idiosincráticos o mentales como aquellos que construyen los estudiantes para aprender a partir de la información que reciben de sus docentes y de los textos.

Posteriores estudios (Aduriz Bravo y Izquierdo Aymerich, 2009; Aduriz, 2010; Izquierdo, 1999), desde la perspectiva didáctica, revisan los aportes de Giere por su versatilidad y el rigor para entender el mundo natural, y en búsqueda de una concepción metateórica de los modelos científicos que posibilite diseñar la actividad científica escolar. Otros, desde la perspectiva epistemológica semanticista (Aduriz Bravo y Ariza, 2014) y retomando discusiones sobre la naturaleza de la ciencia y la actualización metacientífica de la didáctica de las ciencias, revisan la caracterización epistemológica de los modelos teóricos. Este análisis permitió considerar la posibilidad de conciliar dos enfoques de enseñanza distantes y tradicionales como el experimental y el teórico, entendiendo que la producción de modelos científicos escolares promovería la unión entre la teoría y las propiedades del sistema real. Ulteriores investigaciones (Díaz Guevara et al., 2019; Lozano, 2020) en la enseñanza de contenidos específicos de la formación docente en el nivel universitario se orientaron a indagar cómo el trabajo con lo modélico permitió la reconstrucción teórica de modelos iniciales de los estudiantes, y destacan la importancia de la inclusión de un fuerte componente metacientífico acompañando dicha reconstrucción.

Dichas investigaciones refuerzan el sentido otorgado al trabajo que en esta tesis se presenta esperando contribuir a seguir pensando en la inclusión de lo modélico en la formación docente indagando cómo condiciona el estudio del contenido síntesis de proteínas. Se prioriza que los estudiantes elaboren sus propias representaciones modélicas con el propósito de explicar un proceso biológico y que lo modélico medie entre un sistema real y un conjunto de ideas (como sistema teórico) que los estudiantes despliegan. Justi (2006), que también adhiere a los aportes de la epistemología semanticista de Giere, propone como requisito para la construcción de modelos, la experiencia previa y la información existente en la estructura cognitiva del individuo. La organización de ambas (experiencia e información) permite seleccionar los aspectos de la realidad que serán usados para describir el objeto a modelar, creando un tipo de estructura representativa que permita aprender sobre la situación representada.

La propuesta de Justi (2006) parte de entender que “la construcción de modelos es una actividad con mucho potencial para implicar a los estudiantes en hacer ciencia, pensar sobre ciencias y desarrollar pensamiento científico y crítico” (p.178). Se constituye en etapas donde los alumnos discuten qué es un modelo, representan los propios, reflexionan sobre ellos, y el docente los enfrenta a situaciones contrastantes con la intención que se aproximen al modelo curricular. En caso de que esto no suceda, el docente lo presenta como una alternativa más a analizar formulando preguntas que permitan a los alumnos evaluar los modelos por todos consensuados.

Si bien se valora la participación de la docente orientando a los alumnos hacia una elaboración comprometida del modelo, ameritaría preguntarse de qué manera es posible orientar el trabajo en clase cuando no se cuenta con imágenes convencionales que vinculen un proceso realizado a nivel sub-celular y sus repercusiones a nivel sistémico. En este sentido las representaciones producidas por los estudiantes se consideran únicas

y novedosas en relación con lo solicitado por el docente, dado que se carece de imágenes convencionales que los estudiantes puedan imitar. La ausencia de imágenes que incluya dichas relaciones, refiere a que las explicaciones científicas se ofrecen como compartimientos fragmentados, suelen abordarse en diferentes capítulos de los libros de Biología General, quedando a cargo del lector poder integrarlas.

El trabajo de investigación realizado por Gomez Galindo (2013), que también se sustenta en el marco epistemológico semántico de Giere, parte de identificar a los modelos como constructos abstractos y a las representaciones como constructos concretos, entendiendo a estas últimas (lenguaje natural, imagen, dibujos, ecuaciones, maqueta, etc.) como expresiones concretas de los modelos. Sostiene que la relación modelo-representación es compleja y no causal directa, que cada modelo puede ser identificado por varias representaciones diferentes. Entiende que el proceso de modelización y la colaboración docente permiten construir ideas sobre el fenómeno de la visión humana facilitando la construcción de un pensamiento teórico y crítico. En su investigación propone, en distintos momentos de la propuesta de enseñanza, que los alumnos elaboren representaciones y que las mismas se produzcan siempre a partir de experiencias que sucesivamente modifican el grado de complejidad sobre el contenido a estudiar: la visión humana. La producción de modelos se complementa con la elaboración de otras actividades como la elaboración de narraciones argumentativas. Los primeros dibujos son producidos entre docente y alumnos, y en los siguientes la docente tiene menor injerencia, siempre se dibuja mediante negociación con ella o con pares. Se representa aquello que no se ve y lo modelizado evidencia una progresión. Se describe también el papel de la docente, identificando el momento de ayuda a los estudiantes interviniendo en las actividades y colaborando con la construcción de dibujos y maquetas. Destaca

especialmente su capacidad negociadora para que los alumnos representen luego de establecer consensos sobre aquello que deberían incluir en sus producciones.

Otra de las investigaciones que parten del concepto de modelo de Giere, es la realizada por Acher (2014) quien sostiene que la propuesta de modelización cambia el posicionamiento de los alumnos frente al conocimiento científico. Además, considera que genera una progresión en el conocimiento, y procura que los alumnos reflexionen sobre lo representado conduciéndolos a una verdadera práctica de modelización. Su desafío consiste en promover normas destinadas a que alumnos generen criterios epistemológicos sobre la producción de modelos, mientras los desarrollan, analizando cuál de ellos es más representativo del fenómeno que estudian. Investiga de qué manera los niños de 5 años generan respuestas a una pregunta formulada por ellos mismos sobre el desarrollo de un ser vivo que nace de un huevo (huevos de gallina), quieren saber si el pollito ya está dentro del huevo o se está formando. La propuesta consiste en elaborar modelos a partir de dos ideas denominadas como productivas: “la distinción entre crecimiento (como aumento de masa) y diferenciación (como la aparición de formas diferentes con funciones específicas)” (p.66). Los modelos elaborados muestran aquello que no se observa y se representan como una cadena de eventos. Destaca como importante que los niños expliciten y reflexionen sobre sus experiencias a manera de mecanismos explicativos y propone que este tipo de prácticas sean incorporadas como una “cultura de aula” donde se creen hábitos de reflexión crítica entre pares al momento de evaluar y revisar sus modelos sin que se sigan rutinas o pasos preestablecidos. Además, sostiene la necesidad que los docentes de ciencias comprendan que la construcción, uso, evaluación y revisión de modelos constituye una herramienta que fortalece el razonamiento.

En el presente trabajo de investigación, se comparte con las investigaciones de Gomez Galindo (2013) y Acher (2014) la necesidad de diseñar propuestas donde los estudiantes

discuten sus ideas y elaboran representaciones o modelos entendiendo que se favorece la evolución conceptual. Se valora también la identificación de las intervenciones docentes en la primera de ellas como facilitadoras de la transformación conceptual. Y que en la segunda la producción de modelos además de alejarse de perseguir un protocolo o identificando pasos a seguir, los mismos se discutan en clase. Las apreciaciones mencionadas permiten valorar como novedoso en esta tesis, que los estudiantes deban explicar en sus representaciones un contenido aún no estudiado y que las mismas se realicen a posteriori de un trabajo didáctico dedicado a la movilización de ideas con la intención de comprender un problema y su posterior discusión.

De la totalidad de los antecedentes relevados, tal como se anticipó, se observa que los conceptos de representación y modelo se encuentran muy imbricados. Algunos autores prestigian un concepto por sobre otro y en cambio otros los interpretan como sinónimos. En esta investigación se concibe que elaborar representaciones pictóricas de carácter modélico puede involucrar una reorganización de ideas cuando se intenta explicar aspectos no observables que podrían imaginarse a partir lo trabajado en clase y de lo estudiado con anterioridad. Se considera que las marcas que en ellas se plasmen permitirán inferir explicaciones sobre como la síntesis de proteínas guarda absoluta relación con la fisiología de los sistemas y la información genética. Por ello, en este trabajo de ahora en adelante se denomina representaciones modélicas a las elaboraciones pictóricas que realizan los estudiantes en clase.

## **La enseñanza de la síntesis de proteínas**

Las investigaciones relevadas que abordan la enseñanza y el aprendizaje de la síntesis de proteínas en los niveles secundario se muestran coincidentes en que se trata de un contenido complejo, abstracto y lejano a los estudiantes (Cafferata, 2010; Diaz Velazquez

y Covarrubias Papahiu, 2016; Ocelli y Pomar, 2019; Roni y Carlino, 2017; 2018; y Rotbain et al., 2008; Roni et al., 2013). Las propuestas de enseñanza que se identifican como no tradicionales, incluyen actividades de armado de maquetas, trabajo con simuladores, diseño de modelos, observación de video acompañados de lectura y escritura. Se identifican investigaciones donde sus propuestas prestigan diversas cuestiones: elaborar modelos como una destreza práctica que prioriza la descripción, reflexionar especialmente sobre lo conceptual y relacionar lo aprendido con la gestión de la clase.

Uno de los estudios (Rotbain et al., 2008) en los que se prioriza la descripción, se parte de considerar que la complejidad del tema radica en que los conceptos ADN, ARN y proteínas se vinculan a conceptos de genética, no observables. Con la intención de simplificar la comprensión, proponen a los estudiantes usar modelos y simuladores para representar moléculas, sostienen que trabajar con ellos facilita recordar y transferir su aprendizaje a nuevas situaciones. Se prestigia como contenidos a enseñar la estructura del ADN y ARN, la replicación del ADN y la síntesis de proteínas. En dicha investigación de tipo experimental organiza cuatro grupos, uno considerado de control donde los alumnos reciben una enseñanza de tipo tradicional, y el docente trasmite conocimientos. En los otros tres grupos, cada docente propone modelizar y los estudiantes arman los propios siguiendo las instrucciones del docente. Trabajan modelizando las moléculas con cuentas y fichas, con simulaciones por computadora, o a través de ilustraciones. La elaboración de modelos se complementa con actividades del tipo completar frases o figuras, dibujar, responder preguntas, encontrar regularidades, predecir el siguiente paso y dibujar conclusiones basadas en las propuestas desarrolladas. Al finalizar se evalúan los cuatro grupos y los resultados permiten considerar que aquellos estudiantes que participaron de las actividades no tradicionales se sintieron atraídos por una propuesta

lúdica y que les facilitó comprender mucho más que en una enseñanza de tipo tradicional. En este mismo sentido, la investigación realizada por Ocelli y Pomar (2019) proponen al enseñar síntesis de proteínas, que durante sus primeras clases los alumnos elaboren maquetas para identificar los componentes y sustancias involucradas en la síntesis. Si bien los alumnos se involucraron en la propuesta, las autoras reconocen que los estudiantes no lograron la construcción conceptual ni su integración como parte del funcionamiento de un sistema.

Otra propuesta (Gómez Díaz, 2018) en la que los alumnos trabajan orientados a destacar lo descriptivo, se propone la modalidad conocida como aprendizaje basado en problemas (ABP) mediado por TIC. La investigadora parte de reconocer que esta modalidad despierta la curiosidad de los alumnos, alienta la interacción entre pares y orienta a los alumnos hacia una construcción social del conocimiento desde lo pragmático y no únicamente desde lo teórico. La propuesta consiste en el diseño y construcción de videojuegos que, según la autora, promueve el desarrollo de habilidades cognitivas de los estudiantes, enfrentándolos a complejas situaciones que les permiten aprender síntesis de proteínas. Dicho proceso es considerado como un mecanismo realizado en etapas, que permite el auto sostenimiento celular, la mantención de tejidos, órganos y sistemas en buen funcionamiento, a cargo del ADN y con la participación del ARN. Los resultados publicados refieren a la apropiación adecuada del vocabulario específico y del proceso de síntesis, además de aprender a utilizar las TIC de manera significativa.

Desde la enseñanza de un enfoque holístico como el propuesto en esta tesis, sería posible preguntarse de qué manera los estudiantes interpretarían la complejidad y abstracción de la síntesis de proteínas sin vincularlo a un proceso fisiológico que los desafíe a pensar en el papel que cumplen esas proteínas. En cuanto al carácter lúdico en algunas de las propuestas, se coincide con quienes lo proponen (Ocelli y Pomar, 2019) entendiendo que

no alcanza para que los estudiantes puedan modificar sus conceptualizaciones iniciales en dirección al saber disciplinar.

Dentro de las propuestas donde se interpreta que la elaboración de modelos contribuye a la reorganización conceptual (Cafferata, 2010) se identifica cómo la docente interviene colaborando con ello. En un principio los alumnos estudian el proceso de síntesis y luego se les propone trabajar una analogía entre el código genético y el alfabeto, para que de una manera lúdica construyan distintas proteínas. La investigación comunica que los alumnos, gracias a las actividades propuestas, pudieron revisar sus errores conceptuales sobre cómo se produce la síntesis de una proteína, comprenderla mejor y hasta poder imaginarla, y que la docente pudo ofrecer explicaciones adicionales con un mayor grado de profundidad. Así mismo se sostiene que la propuesta permitió reflexionar sobre las limitaciones del juego. Luego de este intercambio propone una nueva tarea donde se reconstruye el concepto de síntesis de proteínas y se analizan nuevos problemas conceptuales a través de un recurso informático. La idea de brindar instancias de discusión posteriores a la modelización, tal como propone Cafferata (2010), es retomada en esta tesis con la intención de explicitar significados y expandir lo representado.

Otra investigación realizada por Roni y Carlino (2017; 2018) proponen entender de qué modos integrar prácticas de lectura, escritura e interpretación de animaciones puede ser fecundo para el aprendizaje del contenido síntesis de proteínas, y también analizan cómo incide la gestión de la clase. En ella, diseñaron una secuencia didáctica implementada en cuatro aulas del nivel secundario donde proponían la observación de una animación sobre síntesis de proteínas, discutir y tomar notas de los intercambios producidos durante la misma, leer para comprender lo observado y escribir epígrafes explicativos de algunas imágenes de la animación teniendo permitido, para ello, consultar sus notas y los textos. En los resultados destacan que los escritos dan cuenta del aprendizaje tanto de conceptos

como de las formas discursivas del contenido en aquellas aulas en que el docente retrasó la institucionalización de los saberes. En cambio, en las que el profesor ofreció explicaciones tempranamente, los alumnos produjeron escritos basados en esas aclaraciones sin acceder a la lectura esperada. Investigaciones anteriores de Roni et al. (2012, 2013) en esta misma línea y sobre el aprendizaje del mismo contenido destacan que la propuesta de interpretación de imágenes, la lectura de los textos especialmente seleccionados, la situación de escritura y las orientaciones que ofrece la docente sin anticiparse a explicar, cobran un sentido vital en la construcción de conocimientos.

Se comparte con estas investigaciones la preocupación por la apropiación genuina de este contenido, por ello se propone en esta tesis, una revisión de la selección conceptual, entendiendo que un enfoque integral orientado a vincular el proceso de síntesis de proteínas con la fisiología de los sistemas y la información genética puede contribuir a su apropiación. Y se propone, además, compartiendo algunas orientaciones teóricas de la didáctica específica, analizar el papel de la elaboración de representaciones modélicas en el aprendizaje de la síntesis proteica.

En otra de las investigaciones (Ageitos Prego y Puig, 2016) donde la elaboración de modelo se asume como una práctica científica que explica fenómenos naturales, proponen la enseñanza de enfermedades genéticas, para el nivel secundario, mediante la modelización de la expresión de los genes (síntesis de proteínas). La propuesta que se sostiene en las investigaciones de Justi (2006) involucra cuatro etapas: expresar el modelo mental, construir el modelo, comunicar el modelo y evaluarlo. En primer lugar, se propone un pre-test donde los estudiantes deben reconocer y escribir diferencias y semejanzas de imágenes entre eritrocitos normales y otros con anemia falciforme. Luego diseñan modelos con materiales (cartulina que representan células, núcleo, ribosomas, fragmentos de proteínas, y varias copias de secuencia de ADN y ARN, un cromosoma y

un código genético y elementos para recortar y pegar) entregados por la docente que los alumnos deben reconocer y ensamblar para explicar cómo se expresan los genes. La docente orienta sobre el armado del modelo y participa en su comunicación. Los resultados enunciados muestran como tarea primordial reconocer las estructuras para luego ensamblarlas.

Cabe destacar que se comparte con esta investigación que la elaboración de modelos permite explicar fenómenos, y que su producción en clase colabora con la reorganización conceptual. Se valora que para aprender el contenido síntesis de proteínas se parta del estudio de un caso real y se destaca la forma en que el docente interviene y acompaña toda la propuesta. No obstante, merecería preguntarse si siguiendo los lineamientos propuestos por la investigación descripta se podría favorecer una comprensión holística del tema donde la sola modelización de las etapas de la síntesis proteica resultaría insuficiente.

Las investigaciones dedicadas a la enseñanza de la síntesis de proteínas que fueron relevadas formaron parte del insumo, junto con las orientaciones teóricas, las entrevistas clínico didácticas y la experiencia docente, que colaboraron con el diseño de la propuesta de enseñanza de la presente investigación.

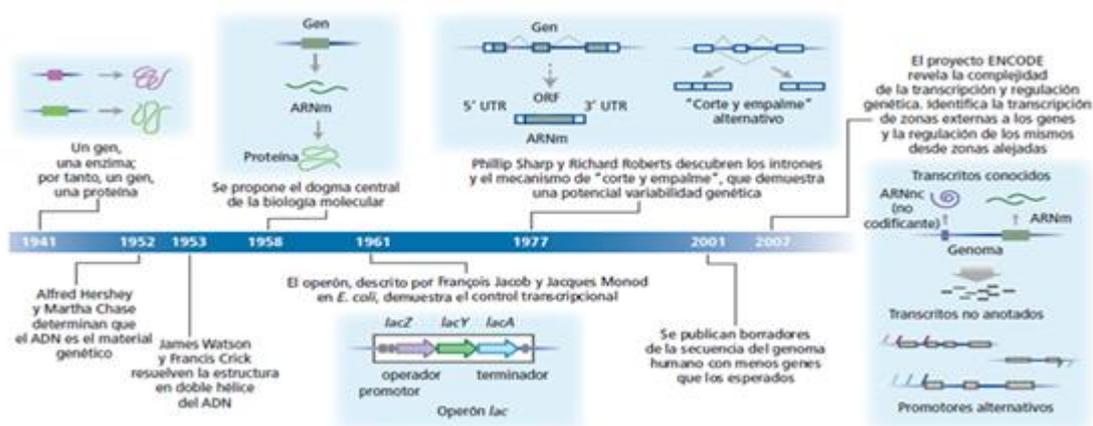
## **Las proteínas como expresión de los genes**

Ante la decisión de enseñar síntesis de proteínas, se previó la lectura del contenido disciplinar desde un marco que permitiera revisar la historia sobre cómo la ciencia logró modelizar dicho proceso. El recorrido de la investigación científica sobre las proteínas y el ADN da cuenta de la provisoriedad de las ideas y de su transformación a medida que se fueron ampliando los intentos por explicar nuevos recortes de la realidad. Sin duda el

desarrollo progresivo de estos avances científicos se debe a la confluencia de aportes provenientes de diversas disciplinas, Bioquímica, Genética y la Biología Molecular.

La siguiente línea de tiempo (figura 2) propuesta por Seringhaus y Gerstein, (2010) señala los hitos trascendentes que muestran la superación de ideas al avanzar en el estudio de la relación entre ADN, genes y proteínas.

**Figura 2. La intensa investigación**



**Fig. 2.** Línea de tiempo que resume las investigaciones realizadas en el transcurso del siglo XX que ahondaron en la estructura y función del ADN, las proteínas y los genes. En el siglo XXI, muestra experimentos de alto rendimiento, incluidos los futuros estudios ENCODE.

*Nota:* Adaptación de *La intensa investigación*. Recuperado de ¿Qué es la ontología genética? (p. 35), por Seringhaus y Gerstein, 2010. Investigación y Ciencia Temas 59.

Investigaciones a cargo de genetistas y bioquímicos impulsaron estudios que permitieron vincular los genes con un producto final para entender la expresión fenotípica. Los aportes realizados en esta línea durante la década de 1940 por el genetista George Beadle y el bioquímico Edward Tatum, demostraron la correlación entre los genes y las enzimas a través del estudio de las rutas metabólicas implicadas en la síntesis de aminoácidos analizando mutaciones producidas en cepas del hongo *Neurospora crassa*. Los estudios de Beadle y Tatum condujeron a la interpretación simplificada un gen-una enzima, que

permitía entender el metabolismo celular pero que rápidamente se corrigió a un gen-una proteína. Y posteriormente, cuando se conoció que muchas proteínas están constituidas por más de una cadena polipeptídica, el concepto se modificó una vez más a una idea más precisa, un gen-una cadena polipeptídica (Mardarás, 2012).

En 1952, con el propósito de comprender más sobre la molécula responsable de la herencia, experiencias a cargo de Alfred Hershey y Martha Chase con bacteriófagos marcados con isótopos radiactivos permitieron concluir que el material genético viral es el responsable de la herencia, lo que descartó por completo la idea que las proteínas fueran las moléculas heredables (Sadava et al., 2012). Esta revelación sumada a los datos aportados por Chargaff sobre la constitución de los nucleótidos de ADN, y a las fotografías tomadas del ADN mediante la técnica de difracción de rayos X a cargo de Rosalind Franklin, posibilitaron a James Watson y Francis Crick en 1953, diseñaran el modelo de doble hélice del ADN. Durante esa misma década los progresos en bioquímica posibilitaron reconocer que las proteínas estaban constituidas por una estructura lineal de moléculas no ramificadas de aminoácidos definidos, dando lugar al concepto de colinealidad entre el gen y la proteína.

Los hallazgos sobre las estructuras químicas del ADN y de las proteínas movilizaron a Crick a preguntarse por el vínculo entre ambas, proponiendo que existe una relación entre la ordenación lineal de nucleótidos en el ADN y la ordenación lineal de aminoácidos en los polipéptidos (Mardarás, 2012). Esta hipótesis condujo a la comunidad científica al planteo de dos preguntas claves: ¿Cómo se convierte la información contenida en la secuencia de ADN en una estructura química de una proteína? ¿Existe algún código o clave que permite pasar de la secuencia de nucleótidos en el ADN a la secuencia de aminoácidos en las proteínas? Para Crick esto significaba por un lado la existencia de un código o clave que permitiera pasar de un lenguaje compuesto por las cuatro bases

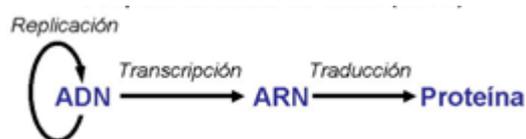
nitrogenadas del ADN a otro lenguaje integrado por los 20 aminoácidos que podrían componer a las proteínas. Y además entender la existencia de una serie de procesos que se realizan en la célula de manera tal que la información se transcriba de una estructura química como la de los ácidos nucleicos a otra estructura química como la de las proteínas.

Desde este panorama Crick y sus colaboradores en 1958 formularon nuevas hipótesis que les permitieron enunciar el dogma central de la Biología Molecular (Sadava et al., 2012):

- El ARN mensajero es una molécula capaz de formar una copia complementaria de una cadena del ADN y llevarla al citoplasma, conocida como hipótesis del mensajero.
- El ARN de transferencia es una molécula adaptadora que se une a un aminoácido específico y reconoce una secuencia de nucleótidos, conocida como hipótesis del adaptador.

El dogma central explica que el ADN transcribe su información en el ARN y este a su vez codifica la síntesis de polipéptidos, con la especial aclaración que una vez que la información pasa hacia los polipéptidos ya no puede volver hacia el ADN (figura 3).

**Figura 3. Propuesta inicial de Crick del dogma central**



**Fig. 3** La propuesta inicial de Crick al postular el dogma central.

*Nota:* Encina, (2013, p. 564). Recuperado de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864013701962>

A partir de estas investigaciones se entendió a la síntesis de proteínas como proceso metabólico que realizan todas las células incluyen dos etapas, la primera denominada transcripción que consiste en que la información del ADN pase al ARNm y la segunda llamada traducción, en la que participan ribosomas y ARNt, sintetizando los polipéptidos mediante la unión de secuencial de aminoácidos. En Jacques Monod en 1961 sostuvo la universalidad del dogma con las siguientes palabras: “lo que vale para *Escherichia coli* vale también para el elefante” (Mattick, 2010, p. 13), pero estudios posteriores a cargo de Howard Temin en la década del 70 sobre la interacción entre virus tumorales y material genético en la célula, le permitió descubrir que la enzima transcriptasa inversa es capaz de sintetizar moléculas de ADN desde el ARN viral. Como consecuencia se amplió el dogma central dado que también existía la posibilidad de que la información genética fuera transcripta en sentido opuesto. La excepción al dogma instaló una denominación superadora que se conoció como flujo de información genética (ver figura 1 p. 10).

Las investigaciones continuaron y en 1977, Phillip Sharp y Richard Roberts hallaron por primera vez regiones no codificantes en el interior de la secuencia génica -intrones- mientras estudiaban la replicación de Adenovirus en células humanas (Mattick, 2010; Ast, 2010; Cooper y Hausaman, 2017). Sus aportes abonaron la idea que luego de la transcripción, los intrones deben ser eliminados del ARNm mediante un proceso denominado splicing, que ensambla los exones para formar la secuencia final, o ARNm maduro, que a posteriori es traducido en una proteína. La importancia de este hallazgo reside en que el “corte y empalme” no siempre se realiza de la misma forma, pudiéndose producir diferentes recombinaciones de exones, y dar origen a distintos polipéptidos a partir del mismo ARNm. Este hallazgo mostró una nueva forma de vincular ADN con proteínas, la relación fue interpretada como: un gen-una molécula de ARN.

El estudio sobre los genomas, incluido el del ser humano, que se iniciaron hacia 1982, más la posibilidad de corte y empalme alternativo durante la maduración del ARN transcripto aproximó a biólogos evolutivos y genetistas a entender que la complejidad entre organismos no se correlaciona con el número de genes que poseen. Las primeras secuenciaciones del genoma humano a cargo de los equipos de Craig Venter y Francis Collins se publicaron en el 2001 y en el 2007, el propio James Watson secuenció su propio genoma completo. Uno de los datos relevante y sorprendente fue determinar que el genoma humano cuenta con un bajo e inesperado número de genes, tan solo alrededor de 24.000 genes, lo que indica que no es mucho más grande que el número de genes de otros seres vivos como *Drosophila melanogaster* que cuenta con 15.000 genes o *Caenorhabditis elegans* que posee 19.000 y un vegetal como *Arabidopsis thaliana* que tiene 26.000 genes. Cabe destacar que en todos los casos el número total de genes es muy inferior a la cantidad de proteínas diferentes que pueden sintetizar - entre 50.000 y 100.000 (Sadava, 2012).

Estos hallazgos dieron paso a nuevas investigaciones de la Genómica moderna estudiando la complejidad todos los elementos funcionales del genoma humano mediante el proyecto Enciclopedia de los Elementos del ADN (ENCODE). La ciencia sostiene que los genes constituyen solo una fracción limitada del genoma humano y su transcripción puede estar regulada por un conjunto de secuencias que no conforman parte del gen a transcribir, y que se encuentran muy distantes a él. Se agrega además que la actividad del gen se halla sometida a modificaciones epigenéticas como alteraciones químicas que modifican al ADN, o alteran las estructuras de soporte del ADN (Cooper y Hausman, 2017).

Esto indica que, si bien la síntesis de proteínas se produce por la transcripción de un gen, que luego se traduce, la síntesis es un proceso complejo puesto que solo sucede cuando otra porción de ADN regula y promueve el inicio de la expresión del gen en cuestión. Y aunque todas las células cuenten con el mismo material genético, la expresión de sus

genes además de la regulación a través de los factores de transcripción, también está condicionada por los requerimientos metabólicos y funcionales.

## *Capítulo 3*

### *Orientaciones teóricas*

---

#### **Introducción**

En este capítulo se despliegan las orientaciones teóricas asumidas para esta investigación relativas al enfoque didáctico incluyendo concepción de ciencia, procesos de aprendizaje y de enseñanza, y secuencia didáctica. Además, se detallan las orientaciones consideradas sobre el concepto representaciones modélicas y su inclusión en las propuestas de enseñanza y las funciones que pueden cumplir en el aprendizaje de contenidos específicos.

#### **Enfoque didáctico**

Esta investigación parte de concebir a la ciencia como una construcción social que produce conocimiento científico en un contexto socio-cultural. Las ideas que la ciencia genera se producen con la intención de predecir y explicar fenómenos naturales. Estos conocimientos no se constituyen como una copia de la realidad, ni dependen exclusivamente de la transmisión cultural (García, 2000). Se concibe al conocimiento como resultado de un proceso activo de interacción entre un sujeto, el objeto por conocer y las estructuras que se hallan en los objetos o las aportadas por el sujeto cognoscente (Klimovsky, 1999). Los científicos, al estudiar a la realidad de manera parcial o incompleta generan conocimiento caracterizado como provisorio y sujeto a

reconstrucciones sucesivas. La condición de provisoriedad ofrece posibilidad de evolución, que es quizás, uno de los atributos más importantes de la ciencia (Castorina, 1998).

Las explicaciones formuladas por los investigadores son primero comunicadas al interior de las comunidades científicas y luego fuera de ellas, se expresan a través de un lenguaje específico, preciso, riguroso, formal, e impersonal, y en diferentes modos semióticos. Esos discursos posibilitan la discusión, la inferencia y el abordaje del estudio de otros fenómenos, es decir que denotan sus relaciones conceptuales (Sutton, 2003).

La ciencia elabora modelos para explicar las porciones del mundo estudiado, dado que por medio de la observación y experimentación sólo consigue revelar modificaciones temporales sobre el objeto de estudio mientras que las causas que las producen no son observables (García, 2000). Los modelos producidos son considerados como mediadores entre la teoría y la realidad, facilitan el estudio particular de factores relevantes del fenómeno, y contienen al mismo tiempo los supuestos teóricos acerca de las características de los objetos inobservables (Lombardi, 1998).

Este posicionamiento sobre cómo la ciencia construye y comunica su conocimiento sustenta desde una perspectiva constructivista la concepción de aprendizaje y de enseñanza en esta investigación. El aprendizaje necesita de ciertas condiciones respecto de cómo se proporciona el conocimiento científico a los estudiantes. Se coincide con Castorina (2003) cuando afirma que, aunque se disponga del saber disciplinar o del saber a enseñar, esto no asegura que los alumnos puedan apropiarse de él. Los saberes científicos deben ser transformados en objeto de enseñanza para que progresivamente puedan ser alcanzados por los alumnos. La comunicación de esos saberes hacia fuera de la comunidad científica, se realiza de manera descontextualizada y despersonalizada y al ser trasladado al aula, es nuevamente contextualizado y personalizado por la intervención

didáctica (Chevallard, 1997). Los alumnos pueden, bajo ciertas condiciones producir la modificación de sus propios conocimientos cuando interactúan con las situaciones didácticas en las que se ofrece el saber instituido.

El conocimiento espontáneo de los estudiantes proveniente de su propia experiencia distante al conocimiento científico, supone una relativa organización, coherencia interna, se muestra sólido, sistemáticamente eficaz y suele ser resistente al cambio. Ante nuevas situaciones de enseñanza, los estudiantes movilizan sus ideas, seleccionan las que resultan más convenientes, y que cuentan con un grado de pertinencia. Cuanto más grande es la adecuación que el alumno debe realizar entre su concepción y el problema a estudiar, mayor es la resistencia de dicha concepción y reclama diferentes funcionamientos cognitivos (Johsua y Dupin, 1993).

El reconocimiento de la existencia y de la resistencia de dichas concepciones conlleva a pensar que el aprendizaje se sustancia mediante transformaciones más o menos profundas que pueden consistir en modificaciones sucesivas que comprenden tanto reorganizaciones, como construcción de significados nuevos con sus diferenciaciones e integraciones, orientados hacia el saber enseñando (Lenzi y Castorina, 2000). En el proceso de transformación de sus concepciones los estudiantes se distancian del lenguaje cotidiano en la medida que pueden explicar un fenómeno de una manera distinta a las interpretaciones que construyen desde el sentido común (Espinoza et al., 2009). Esto no significa que, a pesar de adoptar nuevas maneras de explicar, se invalide la permanencia de otras ideas más intuitivas.

En cuanto a la enseñanza, y en función de cómo los estudiantes aprenden, se sostiene que proponer diferentes situaciones bajo ciertas condiciones ofrece a los estudiantes oportunidades para que desplieguen sus ideas en clase, las discutan, las ajusten, las hagan evolucionar. Se adhiere a los aportes teóricos que destacan la importancia del papel del

docente en relación con la construcción de conocimiento de sus alumnos. Brousseau (2007) acepta los principios piagetianos sobre el aprendizaje donde el alumno aprende adaptándose a un medio considerado factor de contradicciones, dificultades y desequilibrios, sin embargo, sostiene -a diferencia de lo que señala Piaget, que “un medio sin intenciones didácticas es incapaz de inducir en el alumno todos los conocimientos culturales que se desea que adquiera” (p. 31). Lerner (1996) sostiene que el docente representa el saber socialmente aceptado y que su rol está investido de autoridad institucional, y que estos atributos deben ser utilizados para proponer a los estudiantes situaciones problemáticas que les permitan la reelaboración del conocimiento, partiendo de sus propias conceptualizaciones -aunque sean alejadas del conocimiento científico validado y socialmente aceptado- y confrontándolas con las de sus pares, en pos de promover un intercambio de saberes en el que el docente opere como fuente de información que resulten significativas a las respuestas de los interrogantes surgidos en el proceso de elaboración, y también para tender puentes entre los conocimientos producidos por los estudiantes y el saber social.

En este sentido, se comparte los aportes de Espinoza et al. (2009) quienes sostienen que un alumno puede acercarse a los modelos y teorías que propone la ciencia, siempre que el docente interroge y problematice los conocimientos que se presentan en el aula, ofreciendo espacio para las dudas y diversidad de interpretaciones. Las orientaciones asumidas sustentan la enseñanza mediante la puesta en aula de secuencias didácticas concebidas como hipótesis de trabajo, y constituidas por diferentes situaciones de enseñanza articuladas entre sí y sostenidas en el tiempo. Esto permite visitar los contenidos en varias oportunidades, contribuyendo a la apropiación del conocimiento que transcurre a lo largo de reorganizaciones sucesivas y no de una vez y para siempre.

La secuencia didáctica diseñada para esta investigación que está orientada a la enseñanza del contenido síntesis de proteínas desde un enfoque holístico, ubica en un lugar privilegiado el trabajo con lo representacional, por considerar que contribuye a la función epistémica. La situación en la que los estudiantes deben elaborar su representación está precedida por otra en la que se instala el objeto de estudio y la sucede situaciones en que los estudiantes analizan lo representado, acceden a los aportes de la ciencia y elaboran escritos. El diseño de la secuencia estuvo sujeto a condiciones didácticas orientadas hacia la fertilidad de los aprendizajes colaborando con la evolución conceptual. Por la relevancia que tiene para esta tesis se despliega, a continuación, una caracterización de las representaciones, su función cognitiva, su potencialidad epistémica y su relación con lo modélico, para luego caracterizar cómo se las plantea en la enseñanza usual a diferencia de cómo son propuestas en esta investigación.

### **Las representaciones pictóricas y modélicas**

Se concibe a las representaciones como un sistema de representación. Las representaciones modélicas que se usan en ciencia, al igual que otras representaciones, son externas cuando se vuelven objetos independientes de su creador, necesitan de un soporte material, permanecen en el tiempo, y se despliegan en el espacio. Se diferencian de otras como la escritura por cómo se relacionan las marcas en el espacio físico en el cual se despliegan (Martí, 2003).

Las representaciones no textuales o pictóricas, siguiendo a Lombardi et al. (2009), constituyen un sistema organizado con reglas propias. La continuidad, la linealidad, la proximidad, el tamaño o la inclinación de los trazos son propiedades espaciales propias de cada sistema de representación. Esto indica que, aunque los sistemas de representación

constituyen objetos materiales procesables pueden ofrecer dificultades para su interpretación, no son traducción directa de la realidad, sino modelos de esta realidad según determinadas restricciones.

Además, se interpreta que los sistemas externos de representación desempeñan un papel central como mediadores del funcionamiento cognitivo, y a la vez actúan como objeto de conocimiento de la actividad inter e intrasubjetiva de quienes participan de una práctica social (Vigotsky, 1978). Participan en el desarrollo cognitivo de los sujetos y denotan dimensiones intencional y comunicativa puesto que permanecen en el tiempo y por lo tanto pueden ser reformuladas (Tomasello, 1999 en Salsa et al., 2010; Martí, 2012). Posibilitan la adquisición de conocimientos a través de experiencias indirectas ya que proveen información de aquello a lo que no se tiene acceso ampliando las oportunidades de aprender. En cuanto objeto para pensar, Tolchinsky (2007) sostiene que multiplican la actividad cognitiva en diferentes perspectivas, tanto cuando el sujeto es productor e intérprete de la misma o cuando la misma experiencia se repite en otro sitio o en otro momento. Es decir que se pueden considerar como herramientas epistémicas que expanden la mente (Salsa y Peralta, 2010).

En situación de aprendizaje, las representaciones que los estudiantes elaboran se las consideran pictóricas (Lombardi et al., 2009), dado que al producirlas combinan marcas sobre el papel relacionando el mundo representante con las reglas de representación. Se promueve así la realización de una tarea cognitiva que permite inferir un significado. Y, si bien los modos en que se relacionan las marcas de una representación externa pictórica pueden ser finitos, la producción de significado no. Estos lineamientos permiten deducir que los dibujos ofrecen amplias posibilidades de expresar las ideas provisionales que los estudiantes van construyendo.

En esta investigación, se considera que las representaciones pictóricas que los estudiantes elaboran son modélicas. Se les propondrá su elaboración con la intención de explicar con un propósito, al igual que los científicos, aquello que media entre un sistema real y un cuerpo de ideas (Gilbert y Osborne, 1980; Passmore et al., 2014). Dicha afirmación se sustenta en los aportes epistemológicos de Giere y psicológicos de Vosniadou, quienes sostienen que tanto los científicos como cualquier otro sujeto con un propósito mediante pueden elaborar modelos para explicar un fenómeno.

Desde la epistemología (Giere, 1988; Morrison, 1998, 2005 en Lombardi, 2010), los modelos son interpretados como entidades abstractas “similares” al sistema real, no derivan de datos empíricos, sino que son contruidos conceptualmente teniendo en cuenta los factores relevantes del sistema. Están diseñados de forma tal que los elementos que lo componen puedan identificarse con características del aspecto real estudiado. Suelen incluir supuestas propiedades que no logran ser observables y en ocasiones inventan propiedades para describirlos. La vinculación entre el modelo y la realidad está mediada por enunciados o hipótesis teóricas que pueden ser verdaderas o falsas, pero afirman cierto tipo de relación entre ambos (Aduriz-Bravo y Ariza, 2014). Para Giere (2004) la elaboración de modelos condiciona la construcción de conocimientos en la ciencia. Se trata de una actividad compleja que ocupa un lugar central en la organización de las tareas cognitivas de los científicos y que persigue la interpretación de fenómenos naturales. El modelo elaborado además de producir un acercamiento simplificado de la realidad (Gilbert y Osborne, 1980) ofrece una estructura representativa que el especialista manipula y al mismo tiempo aprende de aquello que el modelo describe. Es decir, puede ser usado como un dispositivo para calcular datos o para conceptualizar y demostrar ciertas probabilidades. Las representaciones modélicas son de utilidad interpretativa para

la explicación de nuevos fenómenos y sirven para comunicar hallazgos tanto dentro de la comunidad científica como hacia el resto de la sociedad (Morrison, 1999, Sutton, 2003).

Del mismo modo en que son asumidos los aportes de Giere (2004) para proponer que los estudiantes elaboren representaciones y reorganicen sus ideas contribuyendo a su evolución conceptual, también se comparten las orientaciones teóricas provenientes de la Psicología Cognitiva de Vosniadou (2013) por considerar que la elaboración de modelos implica una tarea cognitiva análoga al razonamiento de los científicos. En sus investigaciones, donde retoma estudios de Giere (1988), Moran y Morrison (1999), entre otros, sostiene que la actividad cognitiva que se pone en juego al aprender no es sólo un proceso interno sino un proceso distribuido entre lo interno, las representaciones simbólicas, y el contexto situacional externo, incluyendo dentro de este último a los artefactos y sistemas simbólicos. Sus estudios indican que los niños mediante el uso de modelos pueden razonar sobre situaciones o fenómenos que desconocían, por lo que los modelos los ayudan a la construcción de explicaciones, permiten experimentar y revisar la teoría, proporcionan ayuda para interpretar nuevas experiencias, actúan como mediador en la adquisición de nueva información. Los modelos no son ni simples copias de la realidad externa, ni meras internalizaciones de los artefactos culturales, más bien son concepciones sintéticas que señalan procesos constructivos de asimilación de información científica que resulta contra intuitiva a sus concepciones y se construyen y utilizan según las necesidades. Por lo que la elaboración de modelos es un proceso flexible y dependiente del contexto que posibilita a los sujetos interpretar y razonar sobre los fenómenos seleccionando y reuniendo recursos cognitivos (Nersessian, 2002, en Passmore et al., 2014; Vosniadou, 2013).

Las orientaciones teóricas enunciadas, en esta investigación, se complementan con los aportes de Bovet (1998) desde la Psicología Genética. Sus estudios exploratorios sobre la

construcción del conocimiento en adultos, le permitieron entender que “el recorrido del pensamiento en busca de explicaciones se asemeja a la exploración de un paisaje nuevo” (p. 282). Cuando a los adultos se les solicita que expliquen un fenómeno que no es indiferente a ellos, pero que tampoco dominan conceptualmente, reflexionan sobre el problema, dialogan con él, e intentan construir explicaciones que de a poco se van desplazando. En este tránsito por tratar de encontrar una potencial respuesta, seleccionan distintos parámetros o factores que les permitan formular algunas hipótesis. Las relaciones que se establecen entre los distintos factores forman parte de las características principales del pensamiento adulto. Esas relaciones, al tratar de establecer un conocimiento nuevo se las considera móviles, flexibles y cambiantes.

Dichas investigaciones permiten suponer que, en esta tesis, cuando los estudiantes explican sus ideas al discutir una problemática o un caso de estudio, sus centramientos conceptuales se desplazan, recurriendo a distintos factores que son argumentados con diferentes grados de pertinencia. Y que a lo largo de la secuencia didáctica estos centramientos siguen siendo desplazados hasta que algunos encuentran cierto grado de estabilidad. Esto sostiene una propuesta donde en las situaciones de enseñanza previas a la elaboración de representaciones, en la que se diseñan y en las posteriores, se privilegie tanto la externalización de ideas como la interacción con las propias o las de sus pares, de manera que colabore con la reorganización conceptual.

## **La función de las representaciones en la enseñanza**

Los antecedentes relevados sobre investigaciones en las que se pondera el trabajo con representaciones externas, las entrevistas clínico-didácticas realizadas durante la etapa de los análisis preliminares, y la propia experiencia transitada en la enseñanza del contenido síntesis de proteínas conducen a pensar que existen diferencias entre el uso de las

representaciones en la enseñanza usual y en esta tesis, por lo que a continuación se caracterizan las orientaciones didácticas que suelen sostenerse en cada una de ellas.

En la enseñanza usual:

- Las imágenes convencionales que ofrece la ciencia, por ejemplo, en los libros de texto, suelen ser usadas como recurso para la enseñanza, interpretándose, en algunos casos, que son de fácil comprensión, que ofrecen una única interpretación posible, sin contemplar como sostiene Martí (2003) que pueden ofrecer muchos significados. En otros, se las acompaña con otras estrategias didácticas de modo de potenciarlas colaborando con la evolución de las ideas de los estudiantes. El uso de imágenes convencionales suele tener como finalidad priorizar la descripción de etapas de la síntesis de proteínas, en lugar de contribuir a una explicación más próxima a vincular la síntesis con la fisiología orgánica.
- Las representaciones externas del tipo maquetas en 3D o video-simulaciones suelen ser utilizadas para describir estructuras moleculares de ADN y ARNs o de las etapas de la síntesis, alejándose de conceptualizaciones que permitirían explicar, y por consecuencia, se suele aprender memorizándolas como un conjunto de aspectos fragmentados.
- La elaboración de representaciones modélicas es una situación de enseñanza que no siempre suele ser incluida dentro de una secuencia didáctica que articule con otras propuestas de enseñanza.
- La producción de representaciones externas suele ser solicitada por los docentes cuando pretenden indagar ideas previas de los estudiantes. Se propone a los estudiantes que externalicen ideas a través de dibujo al iniciar el estudio del tema. En algunos casos se solicita que las elaboren al finalizar la enseñanza, como instancia de evaluación. En este último caso, los estudiantes suelen dibujar

imágenes similares a las que la ciencia ofrece, pues durante la enseñanza se incluyeron como recurso didáctico. Se interpreta que dichas producciones se distancian de lo que para esta tesis se considera modélico.

- El diseño de representaciones externas gráficas, a veces, es concebido como una técnica, una habilidad conceptualmente neutra que desatiende el contexto didáctico que favorecería su producción. En estos casos se prioriza que los estudiantes aprendan a graficar y por lo que suelen sugerir la necesidad de alfabetizar gráficamente a los estudiantes (Postigo y Pozo, 1999). Sucede algo similar cuando se prioriza la enseñanza del manejo de las TIC para que aprendan a trabajar con simulaciones en la enseñanza de la síntesis de proteínas, por sobre las conceptualizaciones del contenido.

Los lineamientos teóricos asumidos en esta tesis que pretende priorizar una enseñanza del contenido síntesis de proteínas desde un enfoque holístico que favorezca la interpretación de la relación entre la fisiología sistémica, las proteínas producidas, y la información genética, en lugar de profundizar los contenidos de la síntesis en sí misma. Y proponer para esa enseñanza un trabajo con lo representacional que contribuya a la reorganización de ideas. Por lo tales motivos, se detallan a continuación, las orientaciones didácticas que se prestigian cuando se plantea la inclusión de la situación de la elaboración de representaciones pictóricas de carácter modélico. Cabe destacar que esas orientaciones guardan relación con aportes de Lerner (1996) sobre el concepto a enseñar donde sugiere que el docente asuma una modalidad de trabajo en la que se favorezca la construcción del conocimiento proponiendo diferentes intervenciones orientadas a promover la discusión entre pares, proveer la información necesaria a sus alumnos, alentar la formulación de conceptualizaciones, propiciar la formulación de redefiniciones sucesivas hasta aproximarse al conocimiento socialmente establecido y promover el planteo de nuevos

problemas. Siguiendo estas premisas, a continuación, se despliegan las consideraciones con las que se propone el trabajo con lo representacional en esta tesis:

- Las imágenes convencionales que la ciencia ofrece son consideradas representaciones externas que suelen ser de difícil comprensión por la carga conceptual que encierran. En esta investigación la interpretación de ese tipo de imágenes se propone a posteriori de elaborar representaciones modélicas y luego de que las mismas sean analizadas en clase. Se considera que cuando los estudiantes transcurrieron por estas instancias previas, se encuentran en condiciones de observar imágenes cargadas de contenido, pudiendo detenerse en ellas y reflexionar acerca de lo conceptual.
- Las representaciones modélicas son solicitadas con la intención que los estudiantes expliquen un proceso a partir de saberes estudiados anteriormente. Dicho proceso se constituyó como sistema real y refiere a un caso de estudio. La propuesta de representar aquello que aún no han estudiado desestima la posibilidad que los estudiantes se centren en la descripción de estructuras, aunque esto no significa que las mismas sean excluidas, todo lo contrario, son analizadas junto con las explicaciones que la ciencia aporta.
- La inclusión de una situación de enseñanza que promueva la elaboración de representaciones modélicas articuladas con otras situaciones didácticas es considerada en esta investigación de la misma forma que se explicita en Espinoza et al. (2010)

Una representación sobre “papel” supone un proceso de externalización de las ideas, obliga a una explicitación, conlleva una exigencia de precisión, que al constituirse nuevamente en objeto -para ese sujeto- permite una toma de conciencia y admite

la revisión de esa producción que colabora con la reorganización del conocimiento. (p. 834).

Se interpreta que su inclusión propone un desafío para los estudiantes por la posibilidad de su desarrollo epistémico, y por colaborar con la formación en su futuro rol como docente del área.

- El pedido de elaborar representaciones modélicas se produce luego que los estudiantes expusieron sus concepciones, las discutieron con sus pares y se generaron algunos desplazamientos conceptuales. Es decir, que se les propone representar, no para conocer sus ideas, dado que las mismas ya fueron expuestas en los intercambios orales, sino para explicar un proceso. Además, una vez que plasman sobre el papel sus explicaciones, las representaciones son comentadas en clase por sus autores explicitando los significados que ellas encierran, lo que posibilita una nueva instancia de discusión. En esta investigación se analiza de qué manera los estudiantes se movilizan los centramientos conceptuales antes, durante y después de la elaboración de representaciones modélicas, en lugar de hacerlo en un sólo momento de la secuencia didáctica.
- El diseño de representaciones modélicas está a cargo de los estudiantes. Mientras que los estudiantes las elaboran, el docente interviene colaborando de diferentes formas (explicando algunos conceptos, sugiriendo que se revisten los textos leídos, orientando para que se represente lo prioritario, etc.) pero de ninguna manera enseña una técnica.

Con estas orientaciones se pretendió sostener una concordancia entre las orientaciones epistemológicas acerca de cómo se concibe la ciencia en relación con la enseñanza y el aprendizaje, y cómo se interpreta que las ideas de los estudiantes evolucionan, por lo que

se intentará demostrar en los próximos capítulos de qué manera se desarrollan esas reelaboraciones y en qué condiciones.

## Capítulo 4

### *Orientaciones teórico-metodológicas*

---

#### **Introducción**

Esta investigación se inscribe bajo la modalidad de estudio cualitativo de carácter descriptivo e interpretativo y recupera algunos lineamientos de la Ingeniería Didáctica (Artigue, 1995) y sus posteriores y actuales revisiones (Perrin Glorian y Baltar Bellemain, 2019). Sus orígenes se remontan a los años ochenta y se vinculan con dos preocupaciones fundamentales de la Didáctica de la Matemática francesa en relación con las propuestas investigativas: la necesidad de tomar en cuenta la complejidad de la clase, y de relacionar la investigación y la acción en el sistema de enseñanza. Su esquema experimental se basa en la concepción, realización, observación y análisis de secuencias de enseñanza que abordan el estudio de los procesos de aprendizaje de un concepto determinado (Artigue, 1995).

La Ingeniería Didáctica es desarrollada por Artigue tomando como sustento teórico la Teoría de las Situaciones Didácticas de Brousseau (1986) y la Transposición Didáctica de Chevallard (1985). Su preocupación principal fue comprender lo que sucede en situación de clase, junto al estudio de las condiciones en las que la enseñanza puede colaborar con el aprendizaje de contenidos específicos. En esta metodología se describe una manera de abordar el trabajo didáctico comparable al trabajo del ingeniero, quien al realizar un proyecto se apoya en los conocimientos científicos y al mismo tiempo, está obligado a trabajar sobre objetos mucho más complejos, y por tanto puede abordar problemas que la ciencia no puede tomar a su cargo todavía (Artigue, 2002).

A principios del siglo XXI, revisiones críticas de esta metodología, a cargo inclusive de investigadores enrolados con esta corriente, señalaron que en su origen la preocupación estuvo centrada en resituar el lugar del alumno y sus conocimientos lo que ha conllevado a que muchas veces el docente quedara sólo en el lugar de ejecutor de las propuestas diseñadas por los especialistas. Esas revisiones modificaron el papel que ocupa el docente en las investigaciones didácticas. En la actualidad participan integrando grupos colaborativos de trabajo entre docentes e investigadores, lo que modificó la interacción entre los contextos de enseñanza y los de la investigación sin alterar los aspectos centrales de la metodología -fases y validación interna (Robert, 2002 en Perrin Glorian y Baltar Bellemain, 2019).

Cabe destacar que, en la presente tesis, la investigadora comparte el rol docente, al igual que en otros estudios de la didáctica específica (Gomez Galindo, 2013; Lozano et al., 2020), y como tal, además de aportar su saber disciplinar y didáctico contribuye a su conocimiento sobre las características del grupo de estudiantes y los atravesamientos curriculares e institucionales, que influirán en la organización de la propuesta. Castorina (2015) además de plantear la necesidad que las investigaciones vuelvan sobre la problemática de la enseñanza y el aprendizaje en el nivel microescolar, propone que las mismas sean abordadas por equipos multidisciplinarios, por lo que en esta investigación se consideró prioritario vincular las perspectivas y saberes tanto de la docente con las de la investigadora esperando que enriquezca el enfoque y la propuesta a realizar. Se consideran también los aportes de Psillos y Kariotoglou (2016) quienes sostienen que las secuencias didácticas son tanto una actividad de investigación como un producto que ofrece un conocimiento valioso para dar respuestas contextualmente válidas a cuestiones didácticas específicas.

La Ingeniería Didáctica involucra una interacción entre diferentes fases denominadas análisis preliminares, concepción y análisis a priori, experimentación, y análisis a posteriori. La recursividad de las mismas, es decir, que cualquiera puede retomarse y profundizarse a lo largo de la investigación en función de las necesidades, es una característica distintiva del método. La validación, es esencialmente interna, avalada por la confrontación de los análisis a priori con los a posteriori, característica que la diferencia de otras metodologías donde la validación es externa, es decir, basada en la comparación de rendimientos de grupos experimentales y de control.

A continuación, se describe de qué manera se asumieron las fases en este trabajo de investigación.

#### *Análisis preliminares*

En los análisis preliminares se seleccionó el tema (síntesis de proteínas) por su potencial explicativo dentro del campo disciplinar, se caracterizó su enseñanza usual a partir de la literatura existente tomando como referencia los aportes de van Mil et al. (2013); Roa-Acosta et al. (2008), y la propia experiencia como docente del área. Y se realizó una revisión histórica de acerca de las preguntas y problemas que condujeron a su conceptualización en su campo disciplinar. Dicha caracterización detallada en el capítulo Antecedentes, cumplió un doble propósito en esta investigación. Por un lado, junto con la revisión de la literatura científica, se constituyó en los fundamentos que permitieron construir el problema a estudiar. Por el otro, se asumió como insumo para la elaboración de la secuencia didáctica.

Las ideas de los estudiantes se relevaron a partir de la lectura de investigaciones recientes (Diaz Velazquez y Covarrubias Papahiu, 2016; Roni et al., 2013; Roni y Carlino, 2017, 2018) y de entrevistas clínico-didácticas realizadas por la investigadora. Este tipo de entrevista se remonta a las consideradas como clínico piagetianas en la que se estudian

las ideas que los sujetos despliegan en interacción con un objeto de conocimiento a partir de sus argumentaciones y las contraargumentaciones presentadas por la entrevistadora. Los estudios didácticos, que asumen las orientaciones teórico-metodológicas aquí planteadas recuperan este tipo de entrevistas, incluyendo intervenciones docentes propias de las situaciones de enseñanza para anticipar su funcionamiento en clase. Las entrevistas se realizaron a alumnos avanzados en la carrera que ya habían estudiado más de una vez el contenido síntesis de proteínas, se indagaron sus ideas respecto a cómo vinculan el material genético con la fisiología orgánica y si en dicha relación participan las proteínas; y cómo recuerdan su estudio.

De la sistematización de sus respuestas y análisis se identificó que:

- Recuerdan las etapas de la síntesis, pero al mismo tiempo reconocen que les resulta casi imposible vincular la síntesis proteica con la fisiología de los sistemas. En una de las entrevistas a una estudiante comenta: “Sabemos cómo [una proteína] se sintetiza en una célula, pero ¿cómo llego a saber dónde actúa? ¿se sintetiza en el mismo músculo? ¿en qué célula se fabrica para que llegue ahí? Eso es parte del vacío que tenemos.” [Entrevista a Valu<sup>2</sup>, 15-05-2018]. Y otro estudiante en la misma entrevista aporta: “Sabemos que se fabrica en una célula general del cuerpo, pero no en qué parte del cuerpo se necesita. No sabemos si cuando se produce la proteína va por la sangre...” [Entrevista a Sebo, 15-05-2018].
- Consideran al ARN como una molécula permanente de la célula que vehiculiza la información genética entre núcleo y citoplasma. Al respecto y cuando la entrevistadora solicita que explicita la diferenciación que menciona sobre los

---

<sup>2</sup> Si bien la institución donde se efectuó el estudio de campo se ubica en una localidad extensamente poblada y el mismo no es identificado en esta tesis, se han reemplazado la totalidad de los nombres de los estudiantes por otros de fantasía. De esta manera se pretendió preservar su anonimato al mismo tiempo que ofrecer al lector una narrativa amigable.

ARN, una estudiante comenta: “Los tres (ARNm, ARNt, ARNr) simultáneamente están en el citoplasma, o sea trabajan en conjunto, pero el que siempre sale y entra es el mensajero.” [Entrevista a Ro, 14-04-2018]

Estas caracterizaciones fueron insumo de la fase siguiente donde se elaboró una secuencia de enseñanza y se anticiparon hipótesis sobre su desarrollo en aula.

#### *Concepción y análisis a priori*

Los análisis a priori comprenden una parte descriptiva en la que se establecen las selecciones conceptuales necesarias, las características de las situaciones de enseñanza a incluir y las condiciones en las que presentarlas y sostener el trabajo en la clase. Y otra parte predictiva en la que se anticipan posibles intervenciones docentes e ideas que los estudiantes desplegarían.

La elaboración de la secuencia didáctica se abordó siguiendo los lineamientos preexistentes de los planes de estudio correspondiente al Diseño Curricular de la materia Biología y Laboratorio II del segundo año de la carrera de Profesorado de Biología de un Instituto de nivel superior de la Provincia de Buenos Aires. Las puestas en aula se realizaron luego que la docente enseñara fisiología de los sistemas (entre ellos el sistema digestivo), el contenido nuclear, el ciclo celular y la estructura de la molécula del ADN y su replicación.

El recorte de los contenidos a enseñar involucró las hipótesis de Crick para comprender el papel de los ARN en la síntesis de proteínas, el pasaje de la propuesta del dogma central de la Biología Molecular al flujo de la información genética, y las etapas de transcripción y traducción. La decisión de excluir conceptos como intrones, exones, splicing, maduración de ARN y código genético, se sustenta al jerarquizar un enfoque holístico en la enseñanza de síntesis de proteínas. Desde este enfoque, más que entrar en detalles del

proceso, se pretende que los estudiantes puedan vincular núcleos específicos del campo disciplinar provenientes de diferentes ramas de la Biología, como la información genética, las proteínas y la fisiología orgánica. Se pretende que relacionando lo estudiado anteriormente interpreten de qué manera un proceso que se desarrolla en el nivel subcelular incide directamente sobre el funcionamiento de otros niveles de organización superiores. De esta manera la presente propuesta se diferencia de la enseñanza usual del contenido síntesis de proteínas que habitualmente inicia y finaliza en sí mismo.

La secuencia didáctica se constituyó por diferentes situaciones de enseñanza vinculadas entre sí, a efectos de propiciar una construcción progresiva de los conceptos en la que los estudiantes contarán con distintas oportunidades de aproximación al objeto de estudio, lo que la diferencia de ser simplemente una sucesión de actividades. Se la considera una hipótesis de trabajo, su implementación está condicionada por factores que puedan surgir en el aula.

Esta propuesta de enseñanza se concibió y diseñó partiendo de problematizar el contenido síntesis de proteínas, y proponiendo su estudio a partir del análisis relevado en los análisis preliminares. La situación didáctica que se privilegia en esta investigación es la elaboración de representaciones modélicas por parte de los estudiantes. Con apoyo en estudios como los de Espinoza et al. (2012), se parte de considerar que la apropiación de este contenido se ve favorecido cuando es el estudiante quien diseña sus propias representaciones ya que con ello se le ofrece la posibilidad de reorganizar y expresar en papel sus ideas sobre el tema en estudio. En esta propuesta se sostiene que el trabajo con representaciones modélicas bajo ciertas condiciones didácticas puede colaborar en dicha apropiación, a efectos que el futuro profesor de Biología comprenda que la información genética regula el funcionamiento celular y que la expresión de ciertos genes –en proteínas- trasciende a otros niveles de organización.

Las hipótesis que se enuncian acerca del funcionamiento de la secuencia, y en particular sobre la situación de enseñanza en la que se propone elaborar una representación modélica son:

- El enfoque holístico con el que se aborda el contenido síntesis de proteínas favorece que los estudiantes puedan vislumbrar las repercusiones en el funcionamiento de los sistemas de un proceso realizado a nivel sub-celular.
- El planteo de una situación inicial que vincula el material genético y la fisiología orgánica a partir de un caso de estudio permite que los estudiantes se cuestionen si la síntesis de una proteína en una célula determinada puede relacionarse con el funcionamiento de ese órgano o sistema de órganos. Se plantea esta hipótesis atendiendo a lo expresado por los estudiantes en las entrevistas cuando aluden a “un vacío” entre la síntesis y la fisiología.
- La propuesta de discusiones entorno a un problema previo a la elaboración de representaciones permitirá que los estudiantes expongan como diferentes factores -ADN o proteínas- guardan relación con lo que se produce a nivel celular o sistémico.
- La situación de representar se propone en articulación con la contextualización de un planteo inicial, con un caso de estudio, con el análisis de lo representado, con la interpretación de imágenes convencionales en el contexto de lectura de un texto expositivo, y con una situación de escritura que retome el interrogante propuesto al comienzo de la secuencia. De esta manera se plantea una secuencia con situaciones articuladas que ofrece a los estudiantes representar habiendo movilizado ideas antes, durante y después de sus producciones.
- La producción de representaciones que incluyan relaciones entre los niveles de organización (celular y sistema de órganos) desafía a los estudiantes a indagar

sobre esas vinculaciones a fin de comenzar a construir nuevas relaciones conceptuales.

- La elaboración de representaciones favorece que los estudiantes aborden la lectura de las explicaciones científicas con un propósito lector instalado (Espinoza, et al., 2009) que permita interpelar sus significados.
- La situación de representar se propone antes de abordar la lectura de un texto con explicaciones científicas por entender que representar colabora con interpretar las imágenes convencionales que aporta la ciencia. Y porque además se considera que de esta manera los estudiantes asumen como propio el problema de representar. Esta hipótesis surge de comparar algunos antecedentes que proponen a los estudiantes conocer cómo formular un modelo y luego lo representen, disminuyendo la posibilidad de comprometerse con el tema a estudiar.
- El análisis de las representaciones en clase permite a los estudiantes revisar los conocimientos alcanzados y volver sobre las marcas plasmadas al papel para fundamentarlas, corregirlas o ampliarlas y colaborar con la formulación de nuevas relaciones conceptuales.

#### *Experimentación o puesta en aula*

La secuencia diseñada se implementó dos veces, en cohortes sucesivas, con la autorización correspondiente de la dirección del Instituto Superior de Formación Docente de la Provincia de Buenos Aires donde trabaja la investigadora-docente. La decisión de realizar dos puestas en aula permitió incrementar el corpus empírico y encontrar generalidades entre ambas. En las dos cohortes constituidas por entre veinte y treinta estudiantes del segundo año de la carrera de Profesorado de Biología, se desarrollaron tres clases de tres horas reloj cada una, una vez por semana y la secuencia estuvo a cargo de la docente-investigadora.

En el esqueleto de secuencia didáctica (tabla 1) se incluyen las situaciones de enseñanza y las intervenciones de la docente a manera de una estructura básica organizativa. El contenido completo junto con las intencionalidades didácticas, las referencias y caracterización de los textos, imágenes y video se encuentra detallado en la secuencia didáctica diseñada al finalizar la descripción de cada una de las etapas metodológicas.

**Tabla 1. Esqueleto de secuencia didáctica**

Clase N°	Primera puesta en aula	Segunda puesta en aula	Situaciones de enseñanza	Intervenciones de la docente
1	1-10-2018	9-09-2019	- Presentación y planteo de problema	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presenta y contextualiza el problema.</li> <li>- Plantea interrogante inicial.</li> <li>- Promueve la expresión de dudas</li> <li>- Coordina discusiones.</li> </ul>
			- Lectura de caso de estudio e información adicional	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plantea un caso de estudio.</li> <li>- Propone una revisión conjunta de la información aportada por los textos.</li> <li>- Describe oralmente aquellas estructuras anatómicas que los estudiantes preguntan, por ejemplo: glicocalix, zona apical, ribete en cepillo.</li> <li>- Promueve la discusión de ideas.</li> </ul>
			- Elaboración de representación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proporciona descripciones sobre estructuras anatómicas a los grupos que así lo requieran.</li> <li>- Brinda explicaciones.</li> <li>- Sugiere que se focalicen en el objeto de estudio.</li> <li>- Impulsa a inscribir marcas pictóricas.</li> <li>- Sugiere que incluyan las ideas discutidas.</li> </ul>

2	8-10-2018	15-09-2019	- Análisis de representaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Propone un espacio para explicitar oralmente los significados de lo representado.</li> <li>- Indaga el significado de algunas marcas.</li> <li>- Proporciona los medios para que todos estudiantes pueden preguntar sobre los significados de las representaciones ajenas.</li> </ul>
			- Lectura de texto expositivo, y explicación con imágenes convencionales y video.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Propone una revisión conjunta de la información aportada por el texto científico.</li> <li>- Procura que los estudiantes identifiquen las estructuras y moléculas que identifican en el video sobre la transcripción.</li> <li>- Explica el concepto de traducción interactuando con los estudiantes por medio de una imagen convencional inscripta en papel y expandiendo la información que aporta el texto.</li> <li>- Estimula el intercambio de ideas.</li> <li>- Responde a las dudas que los estudiantes formulan en relación con los aportes de la ciencia.</li> </ul>
3	16-10-2018	23-09-2019	- Situación de escritura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recupera oralmente todo lo trabajado en clases anteriores y propone la elaboración de un texto que explique el interrogante inicial.</li> </ul>

Si bien en ambas puestas en aula se siguió la misma propuesta, se realizaron algunos ajustes sobre la implementación de la segunda secuencia didáctica, lo que permite reconocer el entrelazamiento entre diseño, desarrollo y aplicación considerando su elaboración como un proceso cíclico y evolutivo (Psillos y Kariotoglou, 2016). Dichas

adecuaciones se amplían en la descripción de cada situación didáctica y se fundamentan con más precisión en los capítulos de análisis a efectos de evitar interrumpir la presentación de esta secuencia. Aquí sólo se identifican las situaciones didácticas que fueron puntualmente adaptadas:

- En el análisis de las representaciones de la clase 2, a diferencia de la primera, todos los estudiantes contaron con el cuerpo total de representaciones fotocopiadas sin identificación de autorías.
- En la situación final de la clase 3 se ajustó la consigna para la escritura de los textos de la segunda puesta en aula en función del análisis realizado sobre las producciones escritas de la primera.

Las clases fueron registradas mediante audio y filmaciones, insumo que permitió conformar los registros de clase en papel para su posterior revisión y análisis. Las producciones de los estudiantes fueron escaneadas y fotocopiadas.

#### *Análisis a posteriori*

A partir de los análisis preliminares, los a priori y las dos puestas en aula, el análisis a posteriori se estructura en base a cuatro ejes vinculados a la movilidad de ideas producidas en las diferentes situaciones didácticas y a las intervenciones de la docente durante el trabajo didáctico: el escenario en el que se pide la elaboración de representaciones involucrando el análisis de las situaciones de enseñanza que anteceden su producción, la situación de representación, la discusión en clase acerca de lo producido, y la relación entre lo representado y el conocimiento que la ciencia aporta sobre el tema, lo que supuso abordar las situaciones de enseñanza posteriores a la elaboración de las representaciones. Los ejes seleccionados permitieron encontrar generalidades a partir de las dos puestas en aula, por lo que se considera su análisis en conjunto en lugar de tomar a cada una como una unidad de análisis en sí misma. Si bien se reconoce la especificidad de cada puesta

en aula dado que cambia el grupo de estudiantes y son distintas las trayectorias escolares en relación con los contenidos involucrados, analizarlas por separado hubiera alejado la posibilidad de hallar las generalidades identificadas. Cuando se identifiquen características distintivas de cada puesta, las mismas serán enunciadas especialmente.

Las lecturas y relecturas sucesivas de los registros de las clases de ambas puestas en aula, las producciones de los estudiantes, y las entrevistas clínico-didácticas elaboradas en los análisis preliminares constituyeron el material a partir del que se sistematizaron las ideas y argumentaciones brindadas por los estudiantes.

Se analizaron las condiciones didácticas en las que se presentan las situaciones de enseñanza, las ideas que los estudiantes despliegan en clase y las intervenciones docentes. En algunos casos, este análisis implicó reconstruir el escenario de trabajo en la clase. A modo de ejemplo, se anticipa que la situación en la que se solicita a los estudiantes representar supuso instalar el problema acerca de la vinculación entre el material genético y la fisiología orgánica, y pensar este mismo problema a partir del caso de estudio.

Las ideas que los estudiantes expresaron y discutieron se sistematizaron en tablas, atendiendo a la diversidad de lo sucedido en cada una de las situaciones de didácticas, a aspectos centrales o recurrentes, y destacando aquellas ideas suscriptas con mayor fuerza. Los factores identificados en las explicaciones que los estudiantes elaboraron en clase y las relaciones que establecieron entre éstos permitió conocer sus centraciones conceptuales.

En relación con las representaciones modélicas, se interpretó de qué manera los estudiantes plasmaron sus ideas sobre el papel identificando la progresión en las que se produjeron, si sus ideas se representaron sólo con marcas pictóricas o figurativas, sólo con textuales o con ambas, y si plasman al papel todas sus ideas. Respecto de las intervenciones docentes, se describen y analizan aquellas consideradas centrales en la

movilización de los centramientos conceptuales de los estudiantes. Se sistematizaron las realizadas tanto en la situación de representar como en la situación posterior, cuando los estudiantes analizaron en clase sus propias representaciones.

Además, en los capítulos de análisis se incluyen tanto fragmentos de diálogo de clase que se consideran ilustrativos de las argumentaciones desplegadas por los estudiantes y de las intervenciones docentes, como las representaciones modélicas y las textuales elaboradas en la primera y tercera clase respectivamente.

### **Secuencia didáctica: La síntesis de proteínas como expresión genética que media entre el ADN y la fisiología orgánica**

Se despliega cada una de las situaciones de enseñanza con una breve descripción, sus fundamentos, algunas anticipaciones de las ideas que podrían desplegar los alumnos en clase y las posibles intervenciones docentes.

#### *Presentación del tema de estudio*

En la clase 1, se presenta de forma contextualizada el tema en cuestión apelando a otros estudiados anteriormente -fisiología de los sistemas, núcleo, cromatina, cromosomas, molécula de ADN, replicación y ciclo celular. Desde una propuesta en la que se prioriza un enfoque holístico del contenido a enseñar se plantea el siguiente interrogante inicial que organiza el recorrido por la secuencia didáctica: ¿Cómo es posible vincular el material genético con la funcionalidad de los sistemas y cómo se entiende dicha relación? A partir del mismo, se espera que los estudiantes expresen sus ideas generándose un espacio de discusión que permita comenzar a instalar el problema y comprometer a los estudiantes en resolverlo (Brousseau, 2007). Se anticipa que es posible que los estudiantes vinculen al ADN con la reproducción celular. Si bien es una conexión pertinente, se alienta a los estudiantes a imaginar otras relaciones posibles.

### *Lectura de un caso de estudio e información adicional*

Se propone la lectura de un fragmento (ver Anexo I) de un texto titulado Intolerancia a la lactosa. Productos lácteos modificados (Vénica et al., 2011). Se trata de un artículo producido por investigadores del Instituto de Lactología Industrial en conjunto con la Universidad Nacional del Litoral, dirigido a personas que conocen la temática. El lenguaje empleado es más llano que otras publicaciones científicas, pero no por ello accesible al público en general. Cabe destacar que el texto no cuenta con imágenes. Del mismo, sólo se lee el primer apartado donde se caracteriza a la lactasa y su funcionamiento en distintas etapas de la vida. En el texto no se menciona nada respecto de la síntesis de la enzima. Se aborda el caso en el marco del interrogante inicial -cómo es posible vincular la información genética con la fisiología de los sistemas- con la intención de convocar a los estudiantes a revisar contenidos estudiados anteriormente y de promover la movilización de ideas que posibiliten relacionarlos conceptualmente.

Se parte de considerar que la contextualización del objeto de estudio en la propuesta de enseñanza tiene fuertes implicancias para involucrar a los estudiantes. Se entiende que no es lo mismo presentar el tema enunciando directamente este objeto, al estilo vamos a estudiar la síntesis de proteínas, que hacerlo ofreciendo oportunidades para que desplieguen sus ideas, y se interroguen acerca de cómo relacionarlo con lo estudiado anteriormente. La elección de la lactasa como ejemplo de proteína cuya función es enzimática se debe a que los estudiantes reconocen a las enzimas digestivas, a su poder catalizador, saben que actúan de manera específica y en diferentes órganos. En particular la lactasa es producida por células intestinales -enterocitos- y actúa pegada al lado externo de su membrana celular, a diferencia de otras enzimas digestivas que cumplen su función en la luz del intestino.

Los estudiantes leen el material ofrecido de manera individual. Un primer conjunto de intervenciones de la docente se orienta a que ellos comenten lo interpretado y a indagar si pueden vincular la información que aporta el texto con el interrogante inicial. Luego, la intervención de la docente consiste en retomar párrafos de manera que los estudiantes expresen en clase sus interpretaciones provisionarias y que localicen indicadores o huellas en el texto que les permitan fundamentar o refutar las ideas de sus pares. Algunos de los fragmentos retomados son:

- “Desde el punto de vista nutricional la lactosa es la principal fuente de energía del ser humano aportando prácticamente la mitad de la energía que requieren los infantes. Al igual que otros azúcares, actúa como transportador de los mismos, y es fuente de galactosa, nutriente esencial en la formación de galactolípidos cerebrales” (p. 50). Con este fragmento se invita a pensar cómo es aprovechado en las células el poder nutricional de la lactasa, cómo es que la misma llega a las células luego de ser digerida por medio de la absorción, cómo está compuesta la lactosa, y cómo se vincula la lactosa a los galactolípidos cerebrales.
- “(...) la lactosa no se asimila directamente en el tracto digestivo, sino que necesita de una enzima denominada lactasa (o  $\beta$ -galactosidasa) que se encuentra en la mucosa de la parte superior del intestino delgado” (p. 50). Este fragmento se recupera con la intención de situar el lugar de actuación de la enzima cuestión muy necesaria para distinguir el lugar de producción del de acción y además admite visitar el concepto de degradación y la fisiología del intestino.
- “(...) La persistencia de la enzima está genéticamente controlada...” (p. 50). Esta frase se retoma con la intención que los estudiantes comiencen a pensar en la responsabilidad de los genes sobre su producción y acercarse al interrogante inicial.

- “Esta enzima actúa sobre la lactosa desdoblándola en sus componentes glucosa y galactosa, los cuales son transportados al hígado para ser utilizados finalmente como fuente de energía” (p. 50). Con estas líneas se apela a que reflexionen sobre la función de la enzima revisitando conceptos aprendidos como por ejemplo el de degradación.
- “Cuando se tiene una disminución o ausencia de lactasa, la lactosa no digerida en el intestino delgado pasa al intestino grueso y allí es fermentada por las bacterias de la flora intestinal produciendo desórdenes intestinales, problema que se denomina intolerancia a la lactosa” (p. 50). Este fragmento se recupera con la intención de pensar en la vinculación de la función de la enzima con el normal funcionamiento del sistema y del organismo, sin detenerse en el tratamiento de los alimentos no degradados en el intestino delgado.

Ante la necesidad de localizar y describir las estructuras anatómicas donde actúa la enzima y comenzar a reflexionar sobre las células que la producen se propuso la lectura de fragmentos cortos de otros textos (ver Anexo II) extraídos del Atlas de histología vegetal y animal producido por académicos de la Universidad de Vigo (Molist et al., 2011) y de la tesis titulada Patrón genético de la hipolactasia de tipo adulto en los niños y adolescentes (Tocoian, 2006). Con la intención que los estudiantes obtuvieran información de carácter específico se seleccionaron fragmentos de los textos mencionados y se compilaron en uno solo. Los mismos aportan informaciones adicionales, sin imágenes, acerca de los enterocitos como células encargadas de la digestión y absorción de la lactosa, ofreciendo la posibilidad de expandir el texto inicial y seguir profundizando sobre el tema. Se concibe que la propuesta de una situación de lectura que amplíe información requiere que los estudiantes lleguen a ella “guiados por interrogantes que circularon en clase y fueran producto de una construcción colectiva”

(Espinoza et al., 2009), es decir convocados a encontrar respuestas a preguntas genuinas, que cuenten con un propósito lector.

La lectura se propone de manera individual. La intervención docente se orienta a que los estudiantes expresen sus dudas, se retomen algunas frases del texto para conocer sus interpretaciones, a brindar algunas aclaraciones sobre las dudas que surjan y a que se intente inferir el lugar de producción de la enzima. Se seleccionan las siguientes frases y en cada una de ellas se especifican los criterios de selección:

- “(...) su principal misión es la absorción de sustancias nutritivas desde la luz del intestino y su transporte al interior del cuerpo”. Se recupera con la intención que reflexionen en las dos funciones de los enterocitos -absorción y digestión- destacando el papel de la lactasa.
- “(...) en la superficie apical en cepillo de los enterocitos, donde está anclada a la membrana por su extremo C-terminal y tiene la mayor parte de la molécula proyectándose hacia el intestino.” Se retoma con el propósito de pensar en el lugar de acción de la enzima y asociarla con la célula, aunque esa vinculación es indirecta. Se espera que algunos estudiantes pregunten sobre el ribete en cepillo y la superficie apical. En este caso será la docente quien ofrezca una descripción oral retomando y ampliando lo que aporta el texto.
- “El glicocalix de la membrana apical de los enterocitos forma una capa de 400 a 500 nanómetros de espesor, a veces hasta 1µm, contiene enzimas para la digestión final”. Se acude a este fragmento entendiéndolo que la descripción precisa del lugar de acción de la enzima puede colaborar a que infieran que la producción está a cargo de los enterocitos. Sobre el glicocalix señala que se trata de moléculas que se unen a la superficie externa de las células integrando su membrana plasmática

Se espera que los estudiantes comiencen a imaginar dónde y cómo actúa la lactasa y cómo se produce. El trabajo realizado con las lecturas, las ideas expresadas de los estudiantes y las intervenciones de la docente señaladas, habilitan el escenario propicio para que los estudiantes puedan volcar sobre el papel sus representaciones sobre el tema.

#### *Elaboración de representación modélica*

Se propone diseñar una representación modélica imaginando: ¿cómo es posible que se produzca la lactasa? y ¿cómo será su actuación para que los nutrientes de la lactosa puedan ser aprovechados por el organismo?

Las representaciones se elaboran en parejas, en un período de alrededor de 40 minutos. Las intervenciones de la docente durante su producción promueven recuperar las descripciones de los textos, explicar cuestiones conceptuales, orientar acerca de qué estructuras priorizar en la representación con sus respectivas referencias, sugieren priorizar el tema de estudio, impulsan a inscribir marcas pictóricas que cuestan imaginar, e insiste con la inclusión de ideas que generan dudas.

Se anticipa que los estudiantes puedan incluir en sus representaciones más de un nivel de organización; identifiquen el lugar de acción de la enzima lactasa y sus productos resultantes; el aprovechamiento de esos nutrientes, identificando de alguna manera la absorción; y la célula responsable de la producción de lactasa. Se estima como menos factible que puedan precisar cómo se produce la enzima. La intención didáctica es que comiencen a vincular a la lactasa con los enterocitos y que relacionen el material genético con la fisiología orgánica, lo que implica que reparen en la participación de distintos niveles de organización. Se interpreta que sus producciones cuentan con ideas provisionarias, y que el material leído, sus concepciones, las nuevas ideas que surgen y los acuerdos que, establecidos entre ambos integrantes de la pareja, constituyen una oportunidad de reelaboración conceptual.

### *Análisis de lo representado*

La clase 2 comienza con el análisis de las representaciones elaboradas en la clase anterior. Durante la primera puesta en aula, la docente propone que los estudiantes se ofrezcan a comentar sus elaboraciones. En la segunda implementación, antes de convocar a los estudiantes a comentar sus producciones, la docente distribuye fotocopias de todas las representaciones sin nombre a todos los grupos. Este ajuste entre la primera y la segunda implementación de la secuencia, se interpreta como facilitador para que todos los estudiantes puedan intercambiar ideas tanto sobre las representaciones propias como sobre las ajenas. La intención de esta propuesta didáctica es que los estudiantes expliciten los significados de sus elaboraciones en otro sistema de representación como la oralidad, y con ello se propone otra instancia más para reorganizar sus conocimientos. Además, permite que aprendan el uso de la herramienta representacional, pues se pretende que reconozcan que para interpretar las representaciones elaboradas se requiere conocer los significados involucrados en su producción dado que suele ser difícil inferirlos con la sola observación.

### *Lectura de un texto expositivo y explicación con imágenes convencionales*

La propuesta de lectura de un fragmento (ver Anexo III) titulado ¿Cómo fluye la información desde los genes hasta las proteínas? (Sadava et al., 2012, p. 260) explicita las hipótesis planteadas por Francis Crick cuando se propuso entender cómo es que se producían las proteínas, menciona el papel de los ARN mensajero (ARNm) y de transferencia (ARNt), y vislumbra la existencia de etapas diferenciadas en la síntesis proteica. Este abordaje permite un nuevo acercamiento al interrogante inicial -relación entre la información genética con las funciones del organismo.

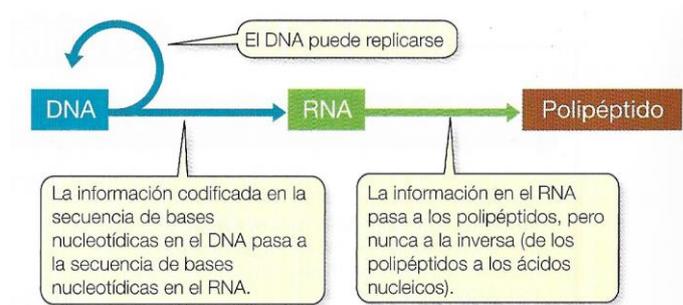
Los estudiantes realizan una primera lectura de este texto de manera individual y luego se vuelve a la lectura de manera grupal, donde la docente interviene de dos maneras:

- Releyendo en voz alta algunas frases del texto a efectos de compartir interpretaciones acerca de lo leído.
- Proponiendo salidas y entradas al texto (Acevedo et al., 2019; Castronuovo y Acevedo, en prensa; Espinoza et al., 2020) con la intención de expandirlo a partir de establecer vinculaciones con otras situaciones de enseñanza orientadas a que los estudiantes puedan seguir ajustando sus interpretaciones sobre el tema de estudio.

A continuación, se describen las distintas intervenciones propuestas.

- Se propone revisar el título del texto: “¿Cómo fluye la información desde los genes hasta las proteínas?” y la imagen que se muestra en figura 4. La intención es que los estudiantes comiencen a identificar que la información proveniente del ADN será la responsable de la formación de las proteínas y que le otorguen sentido a la frase la expresión de los genes.

**Figura 4. El dogma central**



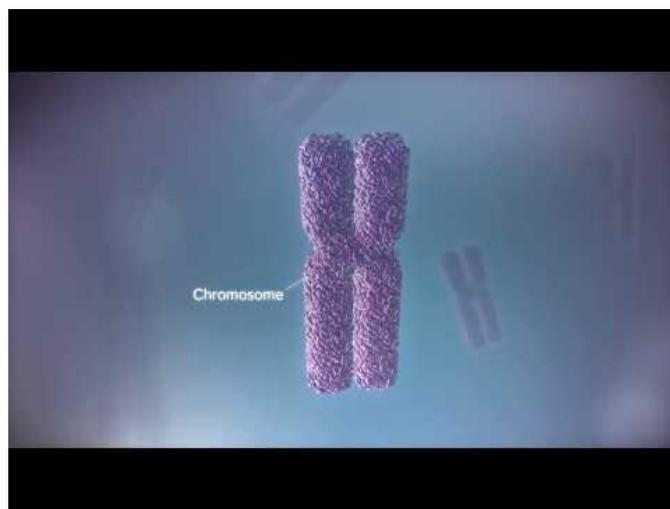
**Fig. 4.** El dogma central.

*Nota.* La información fluye del DNA al RNA al polipéptido, como lo indican las flechas. Recuperado de *Vida, La Ciencia de la Biología* (p. 260), por Sadava, et al., 2012, Ed. Panamericana.

- Se relee la primera pregunta del segundo apartado “¿Cómo llega la información genética del núcleo al citoplasma?” y del tercer apartado denominado “La hipótesis

del mensajero y la transcripción.” Se pretende que los estudiantes verbalicen sus ideas acerca de cómo entienden la participación del ARN. Se recuerda que en las entrevistas una de las ideas recurrentes de los estudiantes es considerar que el ARN es una molécula permanente en la célula que se desplaza entre núcleo y citoplasma cada vez que debe vehicular información genética.

- Se propone la primera salida del texto convocando a la observación del video:  
ADN de Proteínas (Traducción, Transcripción)



*Nota.* Fernando Cobian. (5-05-2017). [ADN de Proteínas \(Traducción, Transcripción\)](https://www.youtube.com/watch?v=r2m-vNRV0_A). [Archivo de video]. Youtube. Recuperado de [https://www.youtube.com/watch?v=r2m-vNRV0\\_A](https://www.youtube.com/watch?v=r2m-vNRV0_A)

De dicho material solo se muestra hasta el minuto 01:39, y es visualizado sin audio con la intención que los estudiantes identifiquen las moléculas participantes que reconocen. El video se inicia en una imagen de una célula eucariota, que se amplía hacia el interior del núcleo y cromosomas y desde allí muestra de qué manera un gen es transcrito en una molécula de ARN mensajero y el desplazamiento de éste, recién formado, hacia el citoplasma a través del poro de la envoltura nuclear. La experiencia docente, en acuerdo con lo sugerido por Roni et al. (2013) indica que los videos requieren ser observados más de una vez y es conveniente pausar varias veces su reproducción a fin que los estudiantes puedan formular sus dudas e

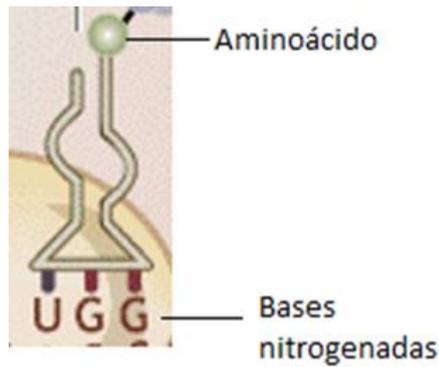
identifiquen el proceso que intentan mostrar. Con la proyección de este material se pretende ofrecer una nueva oportunidad de interpretar la información que aporta el texto desde otra situación de enseñanza, posibilitando visualizar lo no observable, y colaborar con una aproximación conceptual de los estudiantes a la etapa de la transcripción.

- Se propone la lectura del fragmento del apartado cuyo título es “La hipótesis del adaptador y la traducción”:

“(…) Crick propuso la hipótesis del adaptador: debe haber una molécula adaptadora que puede unirse a un aminoácido específico y reconocer una secuencia de nucleótidos. Imaginó tales adaptadores como moléculas con dos regiones, una que sirve a la función de unión y otra a la función de reconocimiento.” (p. 260).

Se retoma este fragmento con la intención de reflexionar sobre la estructura de la molécula de ARN. Se vuelve a proponer la observación de una nueva imagen aportada por la docente, sobre el ARNt (figura 5) a efectos de compararla con una molécula de ARN mensajero. La docente explica que el ARNt también se forma a partir del ADN con la diferencia que esta molécula solo es funcional cuando se pliega y quedan expuestos los dos extremos tal como expresa el texto. Se procura resaltar la diferencia de función y estructura de los ARN, de modo que colabore con la analogía propuesta en el texto.

***Figura 5. Modelo de ARN de transferencia.***



**Fig. 5.** Molécula de ARN de transferencia.

*Nota.* Se muestra los dos extremos, en el inferior se identifican las bases nitrogenadas de un anticodón y en el opuesto se muestra el lugar donde se acopla un aminoácido.

Adaptado de Departamento de Ciencias Naturales del I.E.S. Suel. [Ilustración] (s.f).

Recuperado de

[http://www.iessuel.es/ccnn/interactiv/genetica\\_molecular/genetica\\_molecular\\_16.htm](http://www.iessuel.es/ccnn/interactiv/genetica_molecular/genetica_molecular_16.htm)

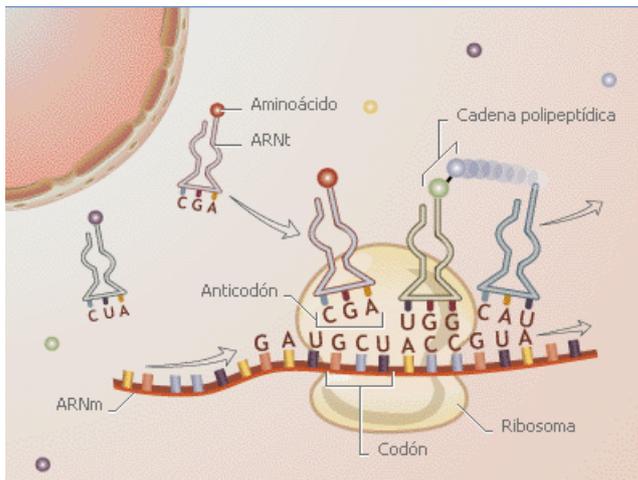
- Se sugiere la relectura del siguiente fragmento:

“A su debido tiempo, se encontraron tales moléculas adaptadoras, que en la actualidad se conoce como ARN de transferencia. Debido a que reconocen el mensaje genético del ARNm y simultáneamente transportan aminoácidos específicos, los ARNt pueden traducir el lenguaje del ADN al lenguaje de las proteínas.” (p. 260)

Se recupera el fragmento con el propósito de comenzar a pensar en el cambio de lenguaje que se produce en la traducción. Tal como se relevó en los antecedentes, los estudiantes suelen mostrar dificultades en la interpretación del cambio del lenguaje entre la información genética -secuencia de nucleótidos- hacia la información propia de los polipéptidos -secuencia de aminoácidos.

- Se plantea una nueva interrupción del texto para que mediante la observación de la imagen de la figura 6 que aporta información sobre la traducción, la docente amplíe la información que el texto aporta, explicando esta etapa. Se pretende, de esta manera, colaborar con la interpretación que el material genético es responsable de la síntesis de una nueva proteína.

## Figura 6. La traducción



**Fig. 6.** La traducción

*Nota.* Se observa la etapa en que el ARNm y el ARNt participan de la traducción en los ribosomas, dentro del citoplasma celular.

La traducción. Departamento de Ciencias Naturales del I.E.S. Suel [Ilustración]. (s.f). Recuperado de [http://www.iessuel.es/ccnn/interactiv/genetica\\_molecular/genetica\\_molecular\\_16.htm](http://www.iessuel.es/ccnn/interactiv/genetica_molecular/genetica_molecular_16.htm)

La docente pregunta por las estructuras que reconocen y explica la traducción. Se focalizó en dar cuenta que la información genética proveniente del núcleo en forma de ARNm contiene un orden de nucleótidos que asociados en tripletes indican cuál es el aminoácido que deberá proveer el ARNt. Se menciona a manera de ejemplo que el codón del ARNm constituido por los nucleótidos AUG corresponden al aminoácido metionina, que dicho aminoácido es el iniciador de toda cadena polipeptídica, y que el anticodón del ARNt solo se podrá unir de manera provisora si es complementario (UAC) al codón del ARNm. La unión mencionada se mantiene hasta que el aminoácido aportado por el ARNt se une a otro aminoácido provisto de la misma forma y mediante enlaces peptídicos. También se explica que la adhesión de aminoácidos concluye cuando en el ARNm surge una señal denominada codón de terminación o stop. Se completa la explicación señalando que en el citoplasma y dentro de los ribosomas (conformados especialmente para esta fase de la síntesis) ambos ARN se unen a través de sus bases nitrogenadas favoreciendo la proximidad de los aminoácidos quienes se unen mediante enlaces peptídicos. De esta manera se sintetiza cada cadena de polipéptidos que necesita madurar a efectos de adquirir funcionalidad. Dado que la intención de la enseñanza de este contenido propone un

estudio integral del proceso con la finalidad de poder vincularlo con la fisiología orgánica, la docente se limitará a la explicación descripta. En caso que los estudiantes requieran una ampliación se responderán las dudas que surjan de acuerdo al nivel de profundización que los estudiantes demanden.

#### *Situación de escritura de una producción escrita breve*

La clase 3 se inicia con una revisión oral de todo el recorrido realizado y se plantea la escritura de un escrito breve a realizar en parejas. En la primera puesta en aula la consigna diseñada consistió en explicar cómo se produce y cómo funciona la enzima lactasa. Luego de leer las producciones de los estudiantes, para la segunda implementación de la secuencia, esta consigna se ajustó de la siguiente forma: explicar la relación entre el material genético y la fisiología de los sistemas, utilizando como insumo los textos leídos, las representaciones, las imágenes explicadas y los aportes de las explicaciones ofrecidas. La fundamentación de los ajustes entre ambas consignas es analizada en detalle en el capítulo 8. Con la situación de escritura se pretende la externalización de ideas, que las hagan interaccionar con las de sus pares, y las reelaboren al plasmarlas al papel.

Se entiende que las situaciones de escritura permiten recrear objetos del pensamiento, revisar y reflexionar sobre esos objetos, por lo que se le otorga a la escritura una función epistémica. Dicha producción permite conocer el estado de apropiación de conocimiento que han alcanzado los estudiantes y reflexionar sobre los ajustes necesarios ante una nueva implementación de la propuesta de enseñanza.

En los próximos capítulos se realizan los análisis a posteriori a partir de los ejes propuestos que vinculan la movilidad de ideas y la intervención de la docente en cada una de las situaciones didácticas diseñadas.

## Capítulo 5

### *El contexto en el que se pide representar*

---

#### **Introducción**

En línea con lo planteado por diferentes autores de la didáctica específica, se acuerda con concebir que el trabajo con lo representacional puede propiciar una reorganización de los conocimientos de los estudiantes (Ainsworth et al., 2011; Espinoza et al., 2010, Flores Camacho et al., 2020; Gomez Galindo, 2013, 2014; Gomez Llombart y Gavidia Catalán, 2015; Grilli et al., 2015). Sostener esta afirmación involucra identificar las ideas que los estudiantes movilizan y forman parte de este proceso epistémico, así como analizar las condiciones didácticas en las que el trabajo con lo representacional lo permite.

En la secuencia didáctica diseñada, el pedido de representación modélica que la docente realiza a los estudiantes en clase lejos de proponerse en un vacío, se realiza en un escenario en el que:

*Se instala el problema que se estudiará a lo largo de la propuesta de enseñanza.* Los estudiantes se involucran en explicar posibles vinculaciones entre el material genético y la fisiología orgánica. Esta vinculación entre contenidos columnares de las Ciencias Biológicas -estudiados previamente en la cursada de la asignatura- está lejos de constituir un *a priori*, una inquietud que los estudiantes se planten por sí mismos. Se trata de un problema que se instala en la enseñanza y que progresivamente es asumido por los estudiantes como propio.

*Se aborda el estudio de un caso desde el que pensar dicho problema.* La lectura acerca del accionar de una enzima en particular permite constituir un plano de intersubjetividad

(Acevedo y Gomel, 2020) desde el que pensar el problema. Se trata de ofrecer un referente común y compartido para localizar y situar el papel que cumplen diferentes factores involucrados en las primeras explicaciones desplegadas por los estudiantes en la clase, tales como el ADN y las proteínas. Este referente común tampoco constituye un *a priori*. Por el contrario, lograr esta profundización requiere de un recorte para su estudio. A tal efecto, se seleccionó: un proceso fisiológico, la digestión; un sustrato que se degrada, la lactosa; un accionar enzimático, el de la lactasa. Localizar estos elementos, relacionarlos entre sí y con células, tejidos y órganos involucrados, se configuran como el fenómeno de lo real a ser explicado.

Con este escenario se busca conferir sentido al pedido de elaboración de representaciones convocando a los estudiantes a participar de un contexto que, si bien constituye un artificio didáctico, se caracteriza por preservar el sentido y la función que pueden cumplir en las prácticas científicas disciplinares (Chevallard, 1997). Siguiendo la conceptualización acerca de lo modélico propuesta por Giere (1992) y retomada por diferentes autores (Aduriz Bravo e Izquierdo, 2005; Aduriz Bravo y Ariza, 2014; Chamizo, 2010; Gomez Galindo, 2013; Izquierdo, 1999; Tamayo Alzate, 2006; Justi, 2006; Oliva, 2019) se interpreta que el pedido de representación modélica se realiza con un propósito, con la intención de explicar un problema. En un contexto didáctico, y en consonancia con las orientaciones teóricas asumidas, se pretende que los estudiantes lo asuman como propio (Brousseau, 2007). A diferencia de las prácticas disciplinares, en un contexto formativo, ese propósito y ese problema requieren de ser instalados.

Estos aportes teóricos señalan que la representación modélica constituye una mediación entre lo real y lo teórico. Se interpreta que abordar un caso de estudio puede configurarse como ese sistema real a ser explicado (Lombardi, 2010). Y, siendo que los estudiantes se encuentran en situación de aprendizaje de los conceptos que la ciencia aporta, el plano de

lo teórico se configura con los conocimientos disponibles en ese momento y con las elaboraciones conceptuales que pueden realizar ante los problemas que se proponen en clase.

A partir de este capítulo se inicia la fase de los análisis a posteriori de la metodología. En éste y en los tres capítulos siguientes se analizan la evolución conceptual involucrando los conocimientos movilizados antes, durante y después de la propuesta de elaboración de representaciones y las condiciones didácticas implementadas. De esta manera, se intenta rellenar un espacio poco explorado al estudiar propuestas de enseñanza en las que los estudiantes elaboran representaciones modélicas.

A continuación, se describe el trabajo propuesto en clase, considerando cómo se construye el escenario y los conocimientos que se movilizan. Se analizan las situaciones de enseñanza que permiten que los estudiantes desplieguen sus ideas, teniendo en cuenta los factores que intervienen en sus explicaciones y aquellos que adquieren preeminencia, lo que Bovet (1998) concibe en términos de centraciones conceptuales.

### **La centración conceptual en un factor**

Ante el planteo del interrogante con el que se inicia la secuencia, ¿cómo se vincula la información genética con la fisiología del organismo?, los estudiantes comienzan a relacionar sus conocimientos sobre el ADN y la fisiología de los sistemas que habían sido estudiados con anterioridad. En la situación inicial, se identifican los factores ADN y proteínas como posibles reguladores de la fisiología del organismo. Primeramente, la mayoría concibe que el ADN es el único responsable. A medida que avanzan los intercambios en clase, una porción menor enuncia que tanto el ADN como las proteínas regulan lo fisiológico, pivoteando entre uno y otro factor sin esbozar en este momento

una posible articulación entre ambos y sustentado por argumentos que parecieran ser frágiles. Finalmente, se vuelve a poner énfasis al factor ADN cuando algunos estudiantes explicitan que ciertos genes se encuentran silenciados. Cabe aclarar que esta idea es aportada sólo por unos pocos estudiantes y que la mayoría aún está lejos de vincular los genes con las proteínas.

A continuación, en la tabla 2 se presenta una sistematización de ideas que los estudiantes despliegan a medida que avanza el trabajo de la clase, identificando las principales discusiones en torno al papel del ADN.

**Tabla 2. Ideas textuales de los estudiantes sobre el material genético**

Principales discusiones	Ideas aportadas por los estudiantes en clase	
¿Dónde está el material genético?	En las células	La información genética está en las células de cada órgano.
	El núcleo celular	El núcleo que contiene el ADN [es el que manda información]. // La información [genética] arranca en el núcleo.
¿El ADN es el mismo en todas las células?	Es el mismo	El ADN es el mismo, pero envía informaciones o directivas diferentes en distintas células. // El ADN es igual en todas las células somáticas. // La información genética es siempre la misma en todas las células. // Todas [las células] tienen un mismo ADN porque pertenecen a un [solo] organismo, pero [es] distinto al de otras personas.
	No es el mismo	La información genética es diferente para las células de cada órgano.
	Se duda	Me quedé pensando, el ADN siempre es el mismo, pero las células no son todas las mismas, porque tenemos varias células...

¿Qué papel cumple el ADN?	A nivel celular	El ADN es el que <i>manda</i> información de cómo tiene que funcionar cierta célula. // El núcleo [es el encargado de regular], la capacidad que tenga la célula. // El ADN dice cómo tiene que ser una célula. // La función que cumplen las células está dada por el ADN. // El ADN tiene el control sobre todo lo que pasa en la célula porque de otra manera no podría reparar los extremos de los cromosomas por medio de la telomerasa. // [El ADN regula a la célula] en la mitosis.
	A nivel orgánico	Cada uno de los sistemas [...] tiene una función y [...] para poder tenerla, le tiene que llegar la información de algún lado, entonces esa información está dada en el ADN, en cada una de sus células. // La fisiología está regulada por el material genético. // La información genética determina el fenotipo. // El ADN son esos ladrillos que van componiendo el mismo cuerpo humano y va diciendo qué tiene que hacer y cómo, digamos se especializa en la célula que sea, una motora, una neurona...
	Se duda	No sé si <i>mandar información</i> es regular los procesos que requiere la célula. // Nada de lo que se dijo hasta acá me cierra [respecto a las órdenes que produce el ADN que influyen el funcionamiento del organismo]. // ¿Qué es lo que tiene el ADN que puede hacer todo esto? [en relación con regular distintas funciones orgánicas].

Tal como se mencionó, los intercambios de ideas que se sostienen con mayor intensidad durante la situación inicial están vinculados al material genético y su responsabilidad con la fisiología celular y orgánica. Se comienza pensando el lugar que ocupa el material genético en la célula, y se acuerda rápidamente que es en el núcleo. Ante una pregunta provocadora de la docente: cómo es posible que el ADN sea el mismo en todas las células si existen diversos tipos celulares, algunos estudiantes manifiestan sus dudas, otros sostienen que es imposible pensar que exista en un mismo individuo más de un ADN. La

discusión se estabiliza lentamente, y la mayoría acuerda que el ADN de un individuo es único y sólo una minoría continúa dudando al respecto.

En relación con el papel que cumple el ADN en el organismo, los estudiantes sostienen fuertemente que, desde el núcleo celular, esta molécula es capaz de controlar el funcionamiento de toda la célula y más aún, de todo un organismo. Algunos esgrimen argumentos que el grupo clase acepta, sin embargo, solo alcanzan para justificar funciones puntuales que suceden a nivel celular sin contemplar la fisiología orgánica. Los estudiantes enuncian la capacidad que posee el ADN ejemplificando la manera en que repara los extremos de los cromosomas por medio de una enzima específica, o la participación del mismo en el ciclo celular destacando su papel en la mitosis. La mayoría argumenta que el ADN lo controla todo, no obstante, pareciera que existe una imposibilidad de fundamentar sus afirmaciones, tal como se aprecia en el siguiente fragmento:

Profesora: ¿Tenemos posibilidad de relacionar de alguna manera el material genético con las funciones de los sistemas? ¿Se les ocurre si hay alguna posibilidad?

Alfri: Sí, desde luego porque cada... digamos... el ADN son esos ladrillos que van componiendo el mismo cuerpo humano y va diciendo qué tiene que hacer y cómo, digamos se especializa en la célula que sea, una motora, una neurona...

Profesora: Pensemos en eso que planteas, ¿el ADN “dice”?

Alfri: El ADN dice cómo tiene que ser una célula.

Profesora: ¿Dice cómo tiene que ser una célula?

Alfri: Da las instrucciones.

Nato: Determina a la célula.

Profesora: ¿Y cómo haría eso?

Nato: Por la información que tiene.

Car: Porque eso se va pasando de célula en célula y el conjunto de células forman tejidos y los tejidos forman órganos y todo está relacionado con todo, porque el crecimiento y el desarrollo es de todo el conjunto.

[Fragmento de clase: 9-09-2019]

La idea sostenida por los estudiantes sobre el poder controlador del ADN es consensuada por muchos, cuando uno comienza a exponerla otros se suman y la reafirman, aunque se percibe en el diálogo expuesto, que se relaciona al ADN con el desarrollo embrionario. Si bien el poder que Alfri le atribuye al material genético en la construcción de un individuo es aceptado por otros, parece poco factible que lo fundamenten, lo que habilita un espacio para encontrar otros factores que permitan explicar la fisiología.

La idea que las proteínas son responsables del funcionamiento orgánico surge a partir de los aportes de las estudiantes, Rochi y Silu en la primera puesta en aula y Dana en la segunda, destacan del resto pues cuentan con una formación académica anterior en el área de la Biología. Ellas expresan recordar algunos elementos como lejanos y poco vinculados sobre el contenido síntesis de proteínas que les impide explicitar sus ideas y fundamentarlas. Una de estas estudiantes rememora la síntesis de proteínas enunciando que se trata de un “proceso que interviene en la copia de la información genética y participa el ARN”, esta apreciación conduce al cuestionamiento de algunos pocos estudiantes que expresan dudas sobre cómo es posible que el ADN pueda resolverlo todo, tal como se incluye en el último ítem de la tabla 2.

En un segundo agrupamiento (tabla 3) se sistematizan las interpretaciones de los estudiantes sobre la responsabilidad de las proteínas para con la fisiología del organismo.

**Tabla 3. Interpretaciones de los estudiantes sobre el papel de las proteínas**

Principales discusiones	Ideas aportadas por los estudiantes en clase
-------------------------	--

¿Cómo se vinculan las proteínas con la fisiología?	A nivel celular	¿La regulación puede que tenga que ver con la división celular? // Las proteínas se producen en las células en las que tiene sentido su producción. Ej. amilasa salival en glándulas salivales y no en músculo. // El músculo no requiere las mismas proteínas que otra célula.
	A nivel orgánico	Las proteínas se producen de acuerdo con la demanda de cada sistema. // Las enzimas son siempre las que regulan todo.
	Se duda	No sé si darle la responsabilidad al ADN o a la síntesis de proteínas [respecto de la fisiología de los sistemas].

El factor proteínas como responsable de la fisiología celular o de algún órgano comienza a ser pensado cuando surgen interpretaciones sobre la especificación funcional de algunas células y de las proteínas que en ellas actúan. Una estudiante lo ejemplifica refiriéndose a que las proteínas encargadas de degradar almidón tienen sentido en las células de las glándulas salivales y en contraposición, menciona que las responsables de la contracción muscular, cumplen su función en las fibras musculares, y que no tendría sentido que fuese al revés. Aun cuando dichas ideas son sólo aportadas por los estudiantes que conocen el tema, y pareciera que el resto está lejos de cuestionarlas, no pasan inadvertidas. Si bien se podría interpretar que la distancia conceptual impide alguna reflexión crítica al respecto, algunos ponen en duda la responsabilidad de las proteínas, pues pivotean entre ellas y el ADN.

El papel de la proteína en la fisiología pareciera adquirir cierta preponderancia, sin embargo, cuando los estudiantes lo intentan fundamentar vuelven a otorgar el poder al ADN. Ciertas ideas recaen en atribuir la responsabilidad al núcleo o a una molécula (ADN o ARN, o ambos) y otras a justificar la producción de diferentes proteínas según la expresión de los genes. En la tabla 4 se incluyen las ideas expresadas en relación con lo planteado.

**Tabla 4. Interpretaciones de los estudiantes en relación con el vínculo proteínas-material genético.**

Principales discusiones	Ideas textuales aportadas por los estudiantes en clase	
¿Con qué se vincula la producción de proteínas?	Con el núcleo	Esa proteína va a tener una función, depende del núcleo en que se formó. // La proteína que se crea, sale del núcleo, y a esa proteína hay que darle una funcionalidad y parece que esto dependerá de diferentes tipos de células.
	Con el ADN	[Para formar proteínas] El ADN transfiere la información al ARN de transferencia. // No me acuerdo bien cómo se realiza la síntesis de proteínas, pero hay una parte del ADN que es un gen, que se desenrolla, hay un ARN que lo copia y hay algo que forma las proteínas. // Todo eso depende del ADN, la proteína que se crea sale del núcleo.
	Con el ADN y ARN	El ADN es el jefe, los ARN son los mensajeros y el producto es la proteína.
¿Cómo se explica la producción de diferentes proteínas?	Por la expresión de ciertos genes	En las células de la piel va a haber unos genes que se van a expresar y otros no, quedan dormidos. // En cada célula específica hay genes que van a estar expresados y otros que no. // Nosotros tenemos cromosomas con genes que codifican para todas nuestras funciones, por eso podemos tener un problema congénito [...] en la piel, pero no en el músculo ¿no? Entonces, según a qué órgano pertenezca esa célula habrá alguno de esos genes que se van a expresar y otros que no, pero no sé, si estoy diciendo una pavada. // El fenotipo tiene que ver con las proteínas que se van produciendo. // Hay genes que están silenciados. // Los genes que están silenciados se encuentran en cromatina compacta y no pueden ser copiados.
	Por factores que regulan la expresión de genes	[La expresión de los genes] depende de la capacidad que tenga la célula. // Los requerimientos del organismo [regulan la expresión de los genes].
	Se duda	¿Quién regula todo eso? [si se expresan o no los genes].

Las ideas que surgen demuestran dudas respecto de cómo es que una célula cuenta con proteínas diferentes a las de otras y cómo inciden los genes en ello. Es decir, a pesar de involucrar a las proteínas en la explicación, el ADN sigue siendo un factor principal. Para explicar que las proteínas son consecuencia de la información genética se argumenta que la información sale del núcleo. Antes del siguiente diálogo una estudiante Dana explicita que el ADN “manda información fuera del núcleo” para que una célula y a veces todo un organismo, cumpla una función determinada. Esta afirmación genera dudas en otros estudiantes provocando un movimiento de ideas.

Jesu: El ADN lo controla todo, y depende de lo que se necesite, si uno se lastima la piel, se necesitan células para reparar el tejido, ahí entra la reproducción de más células para reparar ese tejido.

Profesora: ¿Estás diciendo que la información genética indica cómo proceder?

Jesu: Sí.

Profesora: ¿Y sabemos cómo se lleva a cabo?

Car: Pero ¿eso lo determina el ADN? ¿qué se necesita? ¿cuándo?

Jesu: No, el ARN mensajero.

Profesora: Pero ¿lo determina o no el ADN?

Nato: Sí.

Car: Me hace mucho ruido.

Profesora: ¿Y el resto qué piensa?

Agui: Me parece que lo que dijo Car es así. Si el ADN sale y termina en el citoplasma ¿qué función cumpliría allí?, no tiene sentido que en citoplasma mande como una señal a otra célula como para recuperar un corte o algo de eso. No tiene sentido el ADN en el citoplasma...

[Fragmento de clase: 9-09-2019]

En este diálogo, Jesu intenta explicar la potencia del ADN involucrando al ARN como mediador entre la información genética y las necesidades celulares. Sus afirmaciones son

cuestionadas por los estudiantes Car y Agui quienes sólo conciben a la información genética dentro del núcleo. Pareciera que parten de suponer que dicha información tiene sentido si permanece en el lugar donde es protegida y contenida.

Así como algunos estudiantes están lejos de otorgar sentido a que la información salga del núcleo, la mayoría de las ideas expuestas en la tabla 4, aportadas por las estudiantes que conocían el contenido síntesis de proteínas, vuelven a poner en primer plano al ADN. Las diferentes funciones de los sistemas se explican argumentando que no toda la información genética es “usada”. Surge la idea que solo algunos genes se expresan en las células formando proteínas y que la función de las mismas tiene estrecha vinculación con el tipo celular en el que se producen. Estas ideas son interpretadas por algunos estudiantes como una contradicción, pareciera que es poco admisible que el ADN cuente con información sin uso. En el siguiente fragmento es Dana la que explica que algunos genes se encuentran inactivos en todas las células:

Dana: Hace muchísimo que leí del tema, o sea, yo lo que sé es que dependen del silenciamiento o no de los genes, si el gen está tapado o descubierto, o sea que la cromatina se compacta en una parte y entonces no va a permitir que se copie lo que tiene que copiar.

Nato: Yo pensé que vos decías que había algunos que lo podían “reflejar” o no ...

Dana: No, el ADN es igual en todo el cuerpo, en todas las células somáticas, son todas iguales, entonces hay partes que está tapada y otras que no está tapado.

[Fragmento de Clase: 9-09-2019]

La exposición del argumento esgrimido por Dana es interpretada de varias formas, algunos estudiantes muestran su duda al respecto, por ejemplo, Nato comenta:

“A ver si no estoy entendiendo mal... todas las células tienen ADN y el mismo ADN depende para que se vaya a usar ¿silencia una parte? Yo quiero saber si es

así o no porque sería un desperdicio de información. Es una cantidad tremenda de información que tiene el ADN para no usarlo.” [Nato, clase 1-10-2019].

Pareciera que para Nato es incongruente concebir que el ADN posea información inhabilitada de expresión cuando su punto de partida es entender que la información genética controla y regula todo. La apreciación de Nato guarda relación con el nivel de sus conocimientos, que en este contexto le resultan insuficientes para entender que mucha de la información presente en el ADN es silenciada, otra es repetitiva y una porción no es codificante. Sin embargo, ante el mismo argumento, otra estudiante que por primera vez se enfrenta al tema, expresa sus ideas justificando lo referido a genes “dormidos”. Este es el caso de Clo quien sostiene que de estar activos todos los genes en todas las células, todas harían lo mismo. En el siguiente fragmento es posible interpretar su idea:

Clo: Sino todos harían lo mismo, entonces cada uno tiene su función

Profesora: ¿A qué te referís con cada uno tiene su función?

Clo: Cada célula tiene su función, sino estaríamos haciendo todos lo mismo.

Profesora: ¿Quiénes? ¿las células?

Clo: Sí, las células, sino [por ejemplo] tendríamos uñas en todos los bordes de nuestro cuerpo.

[Fragmento de clase 1-10-2018]

Tanto este fragmento como la expresión anterior de Nato, aunque opuestos, permiten visibilizar que para algunos pocos estudiantes es posible aceptar el silenciamiento de ciertos genes, mientras que para otros todavía esa idea es imposible de pensar.

Se interpreta que los estudiantes al intentar explicar cómo es que la fisiología se vincula con el material genético ofrecen las siguientes posibilidades: para la mayoría el ADN es el único controlador de la misma, sólo para unos pocos esa responsabilidad se desplaza hacia las proteínas, y también una minoría esgrime argumentos que remiten de nuevo al

ADN. Este grupo reducido de estudiantes, intentan explicar que algunos genes se expresan y otros no, por lo que entre esos estudiantes se percibe cierta vinculación entre proteínas y la función determinada en célula específicas. La única idea que cuenta con mayor consenso es la primera, las restantes, para la mayoría de los estudiantes, son argumentos cuestionables que dejan interrogantes abiertos. Pensar que la información puede salir del núcleo y que no todos los genes se expresan genera dudas, pues carecen de fundamentos por parte de los estudiantes que las sugirieron y la docente se abstuvo de ofrecer explicaciones.

Se estima que la movilidad de ideas es en parte consecuencia de las condiciones didácticas diseñadas, es decir que el trabajo propuesto al instalar el objeto de estudio parte de reflexionar sobre una relación impensada para estudiantes acostumbrados a una enseñanza que aborda usualmente temas fragmentados. En esta propuesta se les plantea un interrogante que pone de relieve el vínculo entre otros contenidos ya estudiados para abordar uno nuevo, la síntesis de proteínas. Dentro de este escenario didáctico se contemplan espacios de discusión orientados por las intervenciones de la docente quien también demanda afirmaciones fundamentadas. En la siguiente situación de enseñanza se persigue instalar el estudio de un caso que focalice el papel de una proteína en la fisiología del sistema digestivo. Tal propuesta se desarrolla mediante lectura de textos convocando a los estudiantes luego de discutir, a encontrar algunos consensos y continuar con interrogantes abiertos sobre quién y de qué manera regula las funciones de los sistemas.

### **El papel de las proteínas en la fisiología orgánica**

El caso de estudio se busca configurar como sistema real (Giere, 1992; Lombardi, 2010) a ser explicado, y tal como fuera enunciado al comienzo de este capítulo, se encuentra constituido por el accionar de lactasa sobre el sustrato lactosa y el papel de la enzima en

el sistema digestivo. El caso es planteado en un contexto en el que los estudiantes otorgan un papel preponderante al ADN y dudan acerca del papel de las proteínas en la fisiología y cómo se vincula su producción con la expresión de los genes.

A diferencia de la situación anterior donde se trata de instalar y contextualizar el problema a estudiar y son los estudiantes quienes aportan sus ideas y las discuten con sus pares, en esta oportunidad la propuesta didáctica consiste en desplegar interpretaciones a partir de un cuerpo de lecturas: texto de divulgación referido a la lactasa (ver Anexo I) y de información adicional (ver Anexo II) que aporta información sobre morfología y función de los enterocitos. Y es la docente quien, retomando fragmentos, propone reflexionar sobre el papel del material genético y la fisiología, abordando la función de la lactasa en el sistema digestivo.

En el siguiente fragmento de clase se muestra cómo la docente habilita un espacio para que los estudiantes expresen sus ideas respecto de la lectura de los textos.

Profesora: ¿Qué nos permite pensar este texto [divulgación] en relación con nuestro interrogante inicial?

Vali: [...] Yo entiendo que es más o menos lo que se venía hablando, no sé... Tiene que ver con lo genético... con las enfermedades que veníamos hablando...

Profesora: Una enfermedad ¿puede determinar o no la intolerancia a la lactosa?

Fedi: Sí, por algo que ataque a los intestinos.

Profesora: ¿Y entonces?

Vali: Sería algo externo, en definitiva...

Profesora: ¿Hay alguna indicación en el texto que vincule la intolerancia a la lactosa con la información genética?

Rochi: Acá para mí no. Dice que la existencia de la enzima está controlada genéticamente.

Profesora: Eso nos está diciendo claramente que hay un vínculo.

Rochi: Claro, entonces si está controlada la lactasa, volvemos a la síntesis de proteínas, la lactasa es una proteína.

Profesora: Ajá.

Rochi: Si el núcleo no comanda la síntesis de esa proteína, va a haber una intolerancia a la lactosa porque no se va a poder digerir.

[Fragmento de clase: 1-10-2018]

Las respuestas de Vali y Fedi, se encuentran dentro del grupo de estudiantes que aún están lejos de asociar el material genético a la fisiología orgánica. En cambio, Rochi, ofrece dos respuestas y es en la segunda donde expresa una aproximación a la idea de producción de la enzima ya que se permite vincularla con la síntesis de proteínas “comandada” por el núcleo. De todas maneras, aún no se responsabiliza al núcleo del enterocito como el encargado de su producción. Los intercambios permiten suponer lo distantes que se encuentran los estudiantes de concebir la relación entre el material genético y la fisiología, por lo que las intervenciones docentes se basan en retomar diferentes fragmentos propiciando intercambios sobre el funcionamiento de la enzima, las características anatómicas y funcionales de los enterocitos en relación con el lugar donde actúa la enzima y la producción de la misma. Este último aspecto, si bien no se explicita en ninguno de los textos, los mismos ofrecen indicios que permitirían al menos identificar las células que la producen.

A continuación, se analizan las ideas que surgen sobre estas temáticas, pero antes se destaca que la continua revisión de los registros de aula permite advertir que la docente en más de una de sus intervenciones referida a la producción de la enzima la vincula tanto a la función como al lugar de actuación de la enzima, por lo cual se anticipa un ir y venir entre esas ideas.

Los intercambios en torno al accionar enzimático surgen ante el pedido de la docente de compartir las interpretaciones de la lectura del texto sobre la lactasa. Rápidamente

algunos estudiantes, apelando a lo estudiado anteriormente, señalan que la enzima es un catalizador biológico y como tal regula la degradación de un sustrato, en este caso, lactosa. Es decir, la mayoría consensua que la lactosa en presencia de la lactasa se degrada en glucosa y galactosa. Otros estudiantes, sostenidos en la información que el texto aporta, agregan que esos nutrientes son absorbidos y pasan a sangre.

Dado que el funcionar enzimático parece no presentar problemas de interpretación y atendiendo a las discusiones producidas durante la situación anterior, donde parecía que el ADN tenía el control de todo lo que sucede en la célula, la docente interviene retomando una frase, del texto sobre la lactasa, que al inicio del intercambio se mencionó sin profundizar.

Profesora: “La persistencia de la enzima está genéticamente controlada” ¿Por qué dice genéticamente controlada?

Nato: No sé.

(silencio)

Alfri: Está en los genes. (Risas)

Profesora: ¿La enzima está en los genes?

Jesu: Y... ¡dice genéticamente controlada!

Profesora: Es una proteína ¿está en los genes?

Alfri: No está en los genes, pero son los mismos genes, por eso dependiendo de la región geográfica que estemos hablando va a determinar cuanta cantidad ¿no? Y los efectos o su cantidad.

Nato: Está en la célula.

Jesu: Ahora, ¿los genes la controlan?

Profesora: ¿Los genes la controlan?

Jesu: Sí.

[Fragmento clase: 9-09-2019]

Las respuestas ponen de relieve que los estudiantes se encuentran inseguros de adjudicar la producción de la enzima al material genético. Surgen silencios y risas en el medio del intercambio. Parece que se trata de una frase obvia, pero cuando la docente solicita que amplíen sus interpretaciones, por ejemplo, Alfri apela a una información estadística que el texto aporta sobre los niveles de producción de lactasa en individuos de diferentes continentes. Con ella pareciera sostener que son los genes quienes la controlan adecuándose a ese factor externo. Y Jesu, que se muestra sorprendida ante la pregunta, primero responde como si no fuera necesario reparar en esa expresión, y culmina preguntando si los genes controlan la enzima. Este diálogo si bien permite comenzar a pensar en responsables de la producción de la enzima, las respuestas aún están lejos de identificar las células que se encargan de ello.

Se revisa otro fragmento del texto sobre la enzima que refiere a la imposibilidad de digerir lactosa por causas como daños en el epitelio intestinal provocados por virus o bacterias. La docente se detiene en esa idea con la intención de vincularla con la producción de la enzima. Los estudiantes corroboran con el texto, y sostienen que agentes patógenos pueden dañar la mucosa intestinal provocando diarreas. Vali opina que “las bacterias van a dañar la parte donde se sintetiza esa enzima.” Las preguntas de la docente nuevamente se enfocan hacia la producción de la enzima: “¡Ajá! Bien. ¿O sea que hay células que sintetizan esa enzima?” Si bien Vali confirma que una célula debe producir la enzima, aún no puede referir de cuál se trata.

Otra forma en que la docente conduce a los estudiantes a reflexionar sobre la producción de la enzima es preguntando acerca del lugar dónde actúa. Los estudiantes mencionan lugares variados de actuación: en una porción del intestino delgado, en la mucosa intestinal, en la pared intestinal, en la zona apical de las vellosidades, pegada en el glicocalix de los enterocitos y proyectada hacia la luz del intestino. Es la docente quien

volviendo sobre uno de los fragmentos del texto con información adicional (ver Anexo II) les propone repensar en el lugar de acción de la enzima. El fragmento seleccionado dice: “es una enzima que se localiza en la superficie apical de la membrana en cepillo de los enterocitos, donde está anclada a la membrana por su extremo C-terminal y tiene la mayor parte de la molécula proyectándose hacia el intestino (Swallow-2003 en Tocoian, 2006, p. 20).” La docente interroga sobre lo leído esperando que los estudiantes puedan precisar el lugar de acción, sin embargo, y ante la falta de respuestas, se detiene a explicar aspectos anatómicos de los enterocitos.

La docente retoma otro fragmento del mismo texto propuesto que conduce a pensar en el mismo sentido.

Profesora: “El glicocalix de la membrana apical de los enterocitos forma una capa de 400 a 500 nanómetros de espesor, a veces hasta 1  $\mu\text{m}$ , contiene enzimas para la digestión final. De hecho, se habla de dos fases de la digestión, una que ocurre en el espacio interior del tubo digestivo alejado de las paredes epiteliales llevado a cabo fundamentalmente por enzimas pancreáticas, y otra realizada por las enzimas asociadas a la superficie de los enterocitos. (Molist, 2011). ¿Esta frase da idea de dónde se produce? O ¿quién la produce al menos?”

Luchi: Los enterocitos...

Profesora: Luchi dice los enterocitos.

Vali: Puede originarse ahí pero no sé, si... me entró la duda.

Rochi: También puede generarla otro órgano y que viaje por el torrente sanguíneo y que llegue al intestino... Se me ocurre.

Profesora: Otro órgano... Estamos adentro del intestino. ¿Cuál sería?

Anís: El intestino.

Feri: ¿en el jugo pancreático?

[Fragmento de clase:1-10-2018]

En este intercambio, Luchi supone que es responsabilidad de los enterocitos la producción de la enzima, mientras que otros, a partir de la misma lectura y habiendo participado de las discusiones de la situación inicial, se aventuran a pensar que pueden ser otro órgano el que la produzca.

Este análisis buscó mostrar que, si bien los estudiantes durante la situación inicial vinculan fuertemente el papel del ADN a la función celular y algunos lo trasladan a la fisiología, en situación de lectura dicha relación parece ser inadvertida. En el caso de estudio se convoca a los estudiantes a pensar que el material genético de los enterocitos es responsable de la producción de la enzima, hecho que a pesar de las intervenciones de la docente continúa casi invisible para los estudiantes. Ellos se justifican argumentando que el texto no lo enuncia explícitamente, aun cuando sí se incluye que dicha célula se encarga tanto de la absorción como también de la digestión de disacáridos y que en ausencia de la enzima se generan problemas en el funcionamiento del sistema. Aquello que parecería obvio para un conocedor del tema, puede ser muy poco claro para quien transita su estudio. El trabajo didáctico, la movilización de ideas, y la ausencia de consenso en algunas cuestiones generan un escenario propicio para que los estudiantes reorganicen sus ideas ofreciendo la posibilidad de plasmarlas al papel.

### **El propósito de representar para explicar un problema**

Durante la primera situación de enseñanza se instala el tema de estudio a través de su contextualización y el planteo de un problema. Las ideas discutidas se argumentan de distintas maneras y se reconocen factores predominantes. Las centraciones conceptuales tienen distinto nivel de argumentación, no todas cuentan con el mismo grado de validez al igual que en la construcción del conocimiento (García, 2000). En la segunda situación de enseñanza con la lectura de textos (de divulgación y de información adicional) se

plantea el caso de estudio que se constituye en referente para abordar el contenido síntesis de proteínas. Estas lecturas, intencionalmente propuestas, cumplen la función de movilizar el centramiento conceptual en el ADN, dando lugar a que los estudiantes se interroguen sobre el papel de las proteínas. Los estudiantes reflexionan a partir del caso de estudio pensando de qué manera puede vincularse las proteínas con el funcionamiento de un sistema. En esta situación se modifica el factor predominante. La diversidad de ideas desplegadas y el análisis de los centramientos conceptuales da cuenta de que hay un involucramiento con el mismo. Tal como propone Bovet (1998), los estudiantes buscan explicar el interrogante planteado involucrando factores con cierta preeminencia. En la explicación que brinda la Biología, ambos factores intervienen. Es por ello que las interpretaciones desplegadas resultan pertinentes, aunque en este momento todavía están lejos de imaginarse las vinculaciones, por lo que participan pivoteando entre uno y otro factor.

Instalar el problema y el caso de estudio condicionan el trabajo que a posteriori se realizará con las representaciones. Desde este escenario se propone a los estudiantes representar de manera pictórica habiendo transitado todo un trabajo en el que plasmar sobre el papel exige explicitar, reformular, “jugarse” por algunas de todas estas ideas que circularon para imaginarse la relación que es objeto de discusión. La propuesta se asume acordando con las orientaciones de Giere (2004) y Lombardi (2010) cuando sostienen que los científicos representan, producen modelos para explicar un fenómeno natural determinado. Dicha producción media entre la teoría (aquellos conocimientos que tienen los estudiantes) y la realidad (el caso de estudio). En este contexto, las representaciones elaboradas adquieren carácter modélico puesto que despliegan explicaciones a partir de lo que saben sobre conceptos que todavía no son abordados. Se interpreta que todo el

trabajo didáctico realizado en ambas situaciones propicia que los estudiantes asuman ese propósito.

La propuesta de elaborar representaciones en algunas de las investigaciones (Ageitos Prego y Puig, 2016; Gomez Llombart y Gavidia Catalán, 2015) relevadas en los antecedentes se proponen con la intención de conocer las ideas previas de los estudiantes sobre el tema a aprender. En esta tesis, los estudiantes ponen en juego ideas y realizan elaboraciones desde las situaciones de enseñanza iniciales que anteceden el momento de representar.

En otras investigaciones (Acher, 2014; Gomez Galindo, 2013; Lozano et al., 2020) también se propone la elaboración de representaciones en clase desde una propuesta más procesual, aunque desde sus perspectivas representar tiene la finalidad de comunicar, negociar significados, resolver problemas, mejorar el razonamiento o las habilidades operativas. Y los alumnos en colaboración con el docente o no, construyen modelos escolares mediante actividades experimentales, argumentativas y representacionales. En esta tesis se coincide con el proceso y la posibilidad de reorganizar conocimientos. Es por ello que en este capítulo se explicitan las ideas que se analizan en términos de centramientos conceptuales, para estudiar el papel de la representación en la posibilidad de movilizarlas. Y además se investiga cuáles son las condiciones didácticas que lo favorecen y cómo se modifican a lo largo de toda la propuesta de enseñanza.

Investigaciones recientes (Flores Camacho et al., 2020) que se inclinan a indagar cómo influye la elaboración de representaciones en la transformación de los conocimientos al enseñar contenidos de genética, consideran que variadas estrategias didácticas favorecen el avance conceptual, sin embargo, las mismas no son revisadas en clase, ni son tomadas como objeto de análisis para la investigación. La elaboración de representaciones se propone en el momento de evaluar lo aprendido. En tal instancia, los alumnos producen

imágenes similares a las convencionales, y que fueran utilizadas previamente por el docente en sus explicaciones.

En esta tesis se busca, en cambio, aportar comprensión sobre el papel de las representaciones cuando a los estudiantes se les propone que en su elaboración expliquen algo que es desconocido para ellos poniendo en juego sus estudios previos y las elaboraciones que pudieran realizar ante el problema que se les presenta en clase. Esta función se diferencia de interpretar que la producción de representaciones permite indagar ideas previas o plasmar sobre el papel aprendizajes adquiridos. Además, se parte de considerar como esencial el escenario en el que se les propone expresar y discutir sus ideas como antesala a representar en tanto se interpreta que dicho trabajo didáctico favorece su movilidad, recupera conocimientos anteriores que se analizan en contextos diferentes, y abre la posibilidad a imaginar nuevas relaciones conceptuales contribuyendo a la transformación del conocimiento.

## Capítulo 6

### *La elaboración de representaciones*

---

#### **Introducción**

En el capítulo anterior se describió el trabajo realizado en clase al instalar el problema y abordar un caso de estudio y se analizaron las ideas desplegadas por los estudiantes en ambas situaciones. Se considera que lo realizado contribuye a que los estudiantes asuman como propio el propósito de representar buscando explicar de qué manera se vincula el material genético y la fisiología orgánica al estudiar la producción y acción enzimática de la lactasa. Los estudiantes a partir del trabajo previo y ante la nueva propuesta vuelven a discutir ideas y deciden qué plasmar sobre el papel. En este capítulo, primero se describen y analizan las acciones y discusiones de los estudiantes en el momento de elaborar sus representaciones, y luego cómo la participación de la docente durante esa situación didáctica colabora con dicha situación.

De los antecedentes relevados son pocas las investigaciones que toman en cuenta el desempeño del docente y la gestión de la clase. Por ejemplo, algunos estudios (Gomez Lombart et al., 2015; Flores Camacho et al, 2020) reconocen que ciertas dinámicas que aplica el docente en el aula colaboran con los estudiantes para que en el momento de representar reinterpretan sus ideas. Investigaciones de este tipo priorizan analizar representaciones elaboradas en esas circunstancias y las comparan con otras donde el docente propone representar sin involucrarse en dicha tarea. Estas comparaciones permiten valorar que la intervención del docente colabora con la elaboración de representaciones, sin embargo, la actuación del docente y su incidencia en esa propuesta

no es motivo de análisis. Otro de los estudios relevados (Gomez Galindo, 2013) analiza la elaboración de representaciones sucesivas que van involucrando cada vez mayor nivel de profundidad conceptual y propone a los alumnos que las amplíen con narrativas. Dicha investigación también describe que el docente centra la atención de los alumnos y aporta ideas específicas al momento de representar. A diferencia de lo señalado, en esta tesis se prestigia tanto el trabajo previo, el que se realiza durante, como el posterior a la elaboración de representaciones (analizado en el próximo capítulo), ofreciéndose su análisis como parte de la contribución que esta investigación pretende aportar.

Antes de abordar en detalle lo correspondiente a este capítulo, se aclara la forma en que se identifican las representaciones analizadas. Las representaciones se distinguen con una letra y dos números. La letra A corresponde a las de la primera puesta en aula y la letra C a la segunda. Los números responden al orden en que fueron entregadas a la docente para escanearlas.

## **Los estudiantes ante el pedido de representar**

Las representaciones son pedidas con el propósito de explicar ¿cómo es posible que se produzca la lactasa? y ¿cómo será su actuación para que los nutrientes de la lactosa puedan ser aprovechados? Los estudiantes diseñan sus representaciones en parejas a partir de sus saberes, las discusiones transitadas y los textos leídos.

Las inscripciones sobre el papel serán consideradas marcas de las que en algunos casos se puede inferir su significado, ya sea porque son fácilmente asimilables a un concepto o porque se las puede relacionar con las discusiones examinadas de los registros de clase. En otros, su significado se dirime cuando es el estudiante quien lo explicita en la oralidad.

La revisión reiterada de las representaciones y los registros de clase permiten señalar que la mayoría de los estudiantes las elaboran: siguiendo un orden, incluyendo diferentes tipos de marcas pictóricas y/o textuales según la exigencia de lo que se debe representar, recuperando en parte modelos convencionales, y excluyendo algunas de las ideas que aún les cuesta explicar.

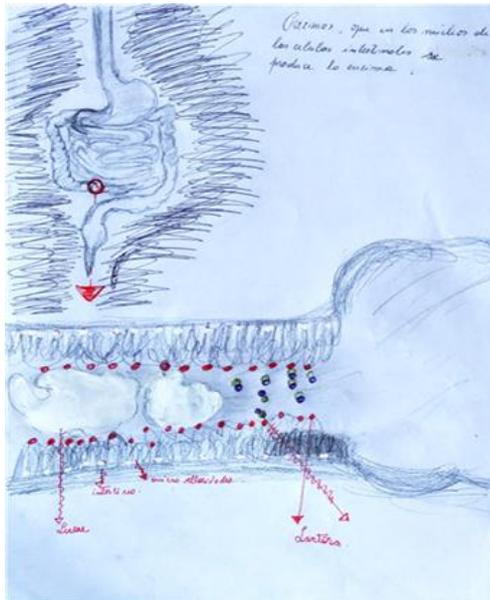
#### *Seguir un orden en la elaboración de lo representado*

En la mayoría de las representaciones es posible identificar el orden en que los estudiantes comienzan inscribiendo marcas referidas a aspectos que son conocidos para ellos, para luego pasar a representar aquellas ideas que están más lejanas e incluso deben imaginar.

El orden se puede reconstruir de maneras diferentes. En algunas representaciones, los estudiantes que señalan un punto de atención que luego es ampliado -como si se hiciera un zoom con una cámara- para observar el interior de una estructura, o en otras inscriben marcas que refieren a flechas indicando un recorrido posible, o en otras también se aprecia el agregado de números que permiten detectar cuáles son las marcas iniciales y cuáles las finales, y en menor medida, en algunas se puede inferir dicho orden a partir de los registros de clase. A continuación, se incluyen representaciones con estas diferentes modalidades en las que es posible reconstruir el orden con el que los estudiantes vuelcan las marcas sobre el papel.

Las representaciones en las que las marcas permiten identificar el orden de lo representado (figuras 7 y 8) los estudiantes primero incluyen las referidas a niveles de organización mayor como sistema digestivo o intestino delgado, y luego, en muchas de sus ampliaciones, se puede identificar otras que refieren a niveles menores de organización como: células (enterocitos), organoides (núcleo, ribosomas, aparato de Golgi, retículos endoplasmáticos) o moléculas (enzima lactasa, lactosa, glucosa, galactosa, ADN, ARN).

**Figura 7. Representación A-12**



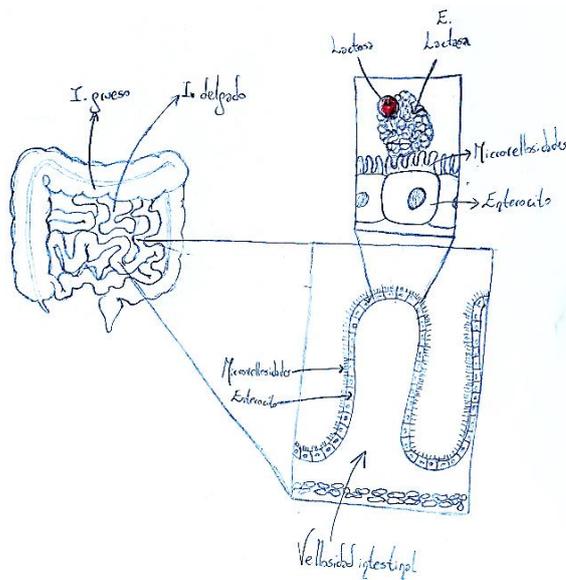
**Fig. 7.** En extremo superior derecho: gran parte del tubo digestivo con un círculo en rojo y una flecha que parece indicar que debajo se amplía parte de lo dibujado. Debajo, un corte longitudinal de intestino delgado.

[Representación A-12-  
clase 1-10-2018]

En la representación A-12 (figura 7) se puede identificar que los estudiantes en primer lugar realizaron gran parte del tubo digestivo y luego debajo de éste registraron marcas alusivas a un corte longitudinal del intestino delgado. Nótese el círculo en rojo dentro de las marcas que refieren a una porción de intestino delgado en el primer dibujo y debajo su ampliación anticipada por una flecha roja.

En la siguiente representación (figura 8) también se puede identificar otra progresión basada en ampliaciones de un corte anatómico.

**Figura 8. Representación A-13**



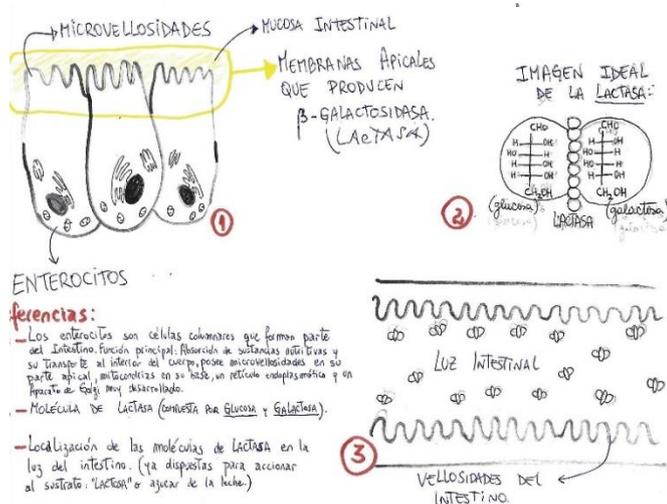
**Fig. 8.** Las marcas cuentan con etiquetas que van de un alto nivel de organización a uno menor. En extremo derecho: Intestino delgado y grueso. A su izquierda dos líneas amplían un corte vellosidades intestinales y arriba una mayor ampliación de enterocitos con microvellosidades y por encima lactasa y lactosa.

[Representación A-13-clase 1-10-2018]

Tal como se puede observar en la figura 8, los estudiantes comenzaron por incluir marcas que refieren a un nivel de organización mayor para luego pasar a uno menor. Primero se asientan marcas que reseñan a los intestinos para luego mostrar su interior a través de una vellosidad y finalmente amplían en primer plano a los enterocitos con la lactasa adherida a ellos.

En otras representaciones los estudiantes incluyen números que permiten identificar el orden, como en la figura 9.

**Figura 9. Representación C-06**



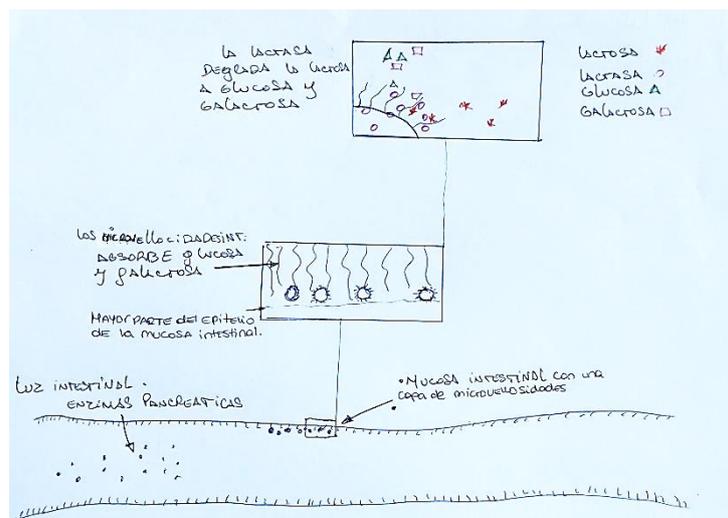
**Fig. 9.** Organización de dibujos e información escrita por medio de los números 1, 2 y 3 que se identifican en un círculo rojo.

[Representación C-06-clase 9-09-2019]

En esta representación (figura 9) los estudiantes organizan sus marcas en sectores que identifican con números permitiendo seguir el orden en que fue producida. En el número 1, realizan marcas que refieren a los enterocitos; en el número 2, sus marcas contienen etiquetas que indican el nombre de la enzima; y en el número 3 se puede identificar un corte de intestino con vellosidades.

En otras representaciones, son los registros de clase los que posibilitan detectar la progresión en la inscripción de marcas. Por ejemplo, en la figura 10, se observa cómo los estudiantes inscribieron marcas en tres sectores distintos de la hoja, y el orden en que fueron representados se desprende de dichos registros.

**Figura 10. Representación A-16**



**Fig. 10.** Las primeras marcas son las inscriptas en la base de la hoja. En ese sector las etiquetas señalan que el interior de lo que podría denominarse tubo digestivo corresponde a la luz intestinal y sus bordes mucosa intestinal. Los rectángulos que se encuentran por encima son ampliaciones representadas a posteriori uno del otro, luego de las marcas que refieren al tubo.

[Representación A-16-clase- 1-10-2018]

En el siguiente fragmento se puede apreciar la descripción que los estudiantes realizan de su propia representación:

Jul: Profe, mire. Este sería el intestino. La parte de adentro. Están las enzimas pancreáticas, los enterocitos pegados a la pared intestinal con la mucosa epitelial. Ahí recortamos un cuadro y lo ampliamos. Vellosidades y los enterocitos.

Profesora: Bien.

Jul: Y podemos ampliar todavía más, y en las vellosidades y microvellosidades los enterocitos donde se aloja la enzima lactasa.

[Fragmento de clase: 1-10-2018]

El relato del estudiante sobre su producción posibilita entender de qué manera se elaboró. Dicho orden condice con la mayoría de las representaciones, dado que en primera instancia inscriben marcas referidas a estructuras anatómicas que remiten a distintos niveles de organización, y luego registran marcas tendientes a explicar la función enzimática o la producción de la misma.

Cuando la docente les propone a los estudiantes precisar lo representado en relación con el lugar dónde funciona la enzima y cómo actúa, tal como se puede observar en el siguiente fragmento de clase cuando Anís le describe lo elaborado:

Anís: Hicimos un zoom sobre la mucosa intestinal, las microvellosidades dentro del enterocito y esto sería parte del enterocito. Entendimos que el glicocalix son carbohidratos y proteínas de la membrana. Entonces, acá la hicimos con estos colores. También dice que contiene enzimas y las representamos con otro color. Y acá la capa de 400 a 500 nanómetros.

Profesora: ¿Y dónde estaría funcionando la enzima? ¿Y qué estaría haciendo? Eso es lo que estaría faltando ¿No?

[Fragmento clase 1-10-2018]

La descripción de Anís permite conocer lo producido y es la docente quien impulsa a continuar pensando de qué manera completar lo representado hasta ese momento.

Las investigaciones que identifican el tipo de representaciones clasificándolas por la naturaleza de lo representado, las diferencian en icónicas y abstractas (Lombardi et al. 2009, Grilli et al. 2015). Consideran icónicas a las que guardan mayor grado de analogía con lo representado como una fotografía o un dibujo científico, y abstractas a las que lo representado guarda un menor grado de analogía con lo que se pretende representar. En esta investigación se interpreta que lo más icónico corresponde a aquello que los estudiantes representan en un primer momento y apelando a la memoria de imágenes convencionales conocidas desde sus estudios de nivel primario, ya sea un sistema digestivo, el intestino delgado o una célula. La analogía se establece entre lo representado y un artefacto cultural, que en este caso son las imágenes convencionales sobre los sistemas del cuerpo humano de amplia circulación en los contextos escolares. En cambio, lo más abstracto, que en su mayoría se representa en un segundo momento, refiere al accionar enzimático y a su producción. Respecto a estos dos procesos, también es posible otorgarles distinto grado de abstracción pues los estudiantes para representarlos cuentan con diferentes apoyaturas conceptuales. La acción enzimática como proceso de degradación en el sistema digestivo es un tema estudiado no solo en esta asignatura, sino también en otras, por lo que se interpreta que es más cercano a los estudiantes, cuenta con menor nivel de abstracción en la medida que se lo pueden figurar apoyándose en imágenes modélicas convencionales conocidas. En cambio, la producción de la enzima es un tema que aún no ha sido estudiado y para representarla deben apelar a su imaginación. Es decir que, siguiendo la lógica de diferenciar lo icónico de lo abstracto, la acción enzimática se interpreta como un proceso con menor grado de abstracción que representar su producción, lo que también permitiría entender que las marcas referidas a la producción de la lactasa son incluidas en último término o es la menos representada. Lo analizado anteriormente lleva a concebir que lo icónico y lo abstracto, en un contexto didáctico, no

puede definirse con externalidad a los sujetos que aprenden y al contexto en el que se inscriben sus elaboraciones.

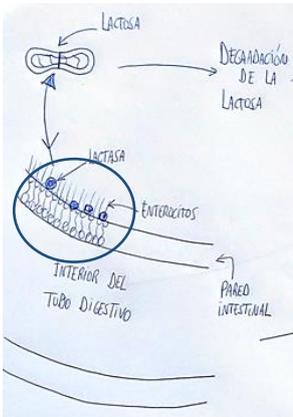
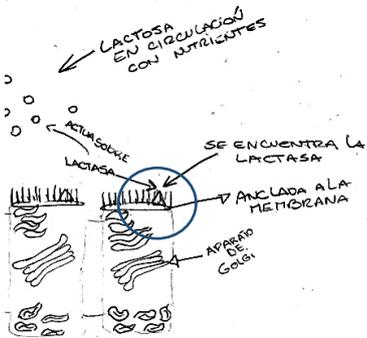
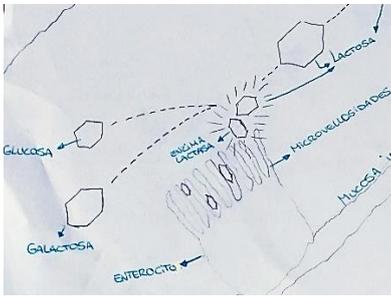
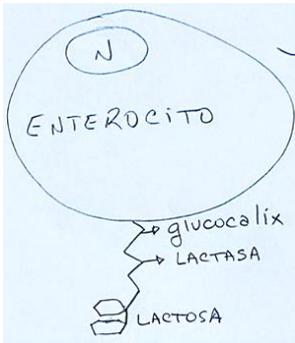
De la observación del conjunto de representaciones se puede señalar que las marcas inscriptas por los estudiantes en relación con el lugar dónde se ubica la enzima son todas figurativas o pictóricas, en cambio aquellas en las que deben explicar un proceso como la función enzimática o la producción de la enzima, disminuye la inclusión de marcas pictóricas y se incrementa la inscripción de marcas textuales. A los efectos de dar cuenta de esta distinción, se agrupan en tablas una selección de recortes de representaciones con ejemplos según qué tipo de marcas plasmaron los estudiantes en el papel. La mayoría de las marcas pictóricas (tabla 5) son empleadas para representar estructuras anatómicas como intestino, vellosidades intestinales, mucosa intestinal, o enterocitos, que permiten identificar el lugar donde se encuentra la lactasa. Las representaciones en que las marcas pictóricas son acompañadas por textuales (tabla 6) refieren al accionar de la lactasa. Y las marcas que en su mayoría son textuales (tabla 7) se refieren a explicaciones sobre la forma en que se produce la lactasa.

En primer lugar, se describen y analizan las representaciones en las que se inscriben solo marcas pictóricas o acompañadas por textuales y luego aquellas representaciones que en su mayoría cuentan con marcas textuales y al finalizar ambas descripciones se interpretan en conjunto.

*Incluir sólo marcas pictóricas o acompañadas por textuales*

Los estudiantes dan cuenta de sus interpretaciones referido a lo anatómico sobre el lugar dónde se ubica la enzima (tabla 5), a través de incluir variadas marcas pictóricas.

***Tabla 5. Representaciones elaboradas con marcas pictóricas referidas al lugar donde se ubica la enzima***

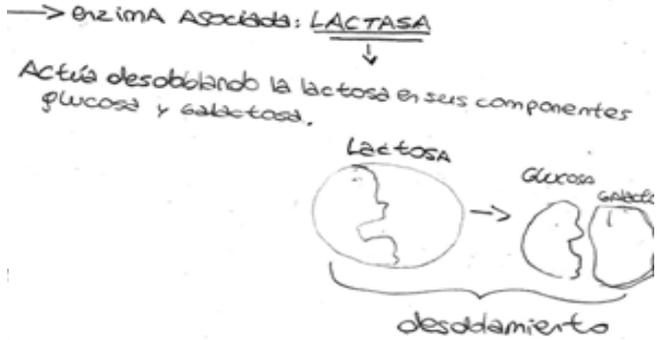
Estructuras incluidas	Recorte de representaciones	
Intestino delgado, vellosidades intestinales, enterocitos con microvellosidades organoides celulares	<p><b>I-</b></p>  <p>En el círculo se observa la enzima ubicada en relación con los enterocitos. [Recorte de representación A-04 clase 1-10-2018]</p>	<p><b>II-</b></p>  <p>En el círculo se puede observar un triángulo que se etiqueta como lactasa “anclada a la membrana” [de los enterocitos] [Recorte de representación C-02 clase 9-09-2019]</p>
	<p><b>III-</b></p>  <p>Lactasa incluida entre las vellosidades de los enterocitos. [Recorte de representación A-01 clase 1-10-2018]</p>	<p><b>IV -</b></p>  <p>Lactasa adherida a la membrana del enterocito y a la lactosa. [Recorte de representación A-15 clase 1-10-2018]</p>

Tal como se observa en la tabla 5, los estudiantes plasman marcas pictóricas que refieren a estructuras anatómicas de distintos niveles de organización: órgano, tejido o célula, e incluyen etiquetas que permiten identificar. En el cuadrante I se observa un corte longitudinal de intestino y en sus paredes se identifican enterocitos. Por encima de las células de la pared intestinal se inscriben marcas que refieren a la lactosa. En el cuadrante

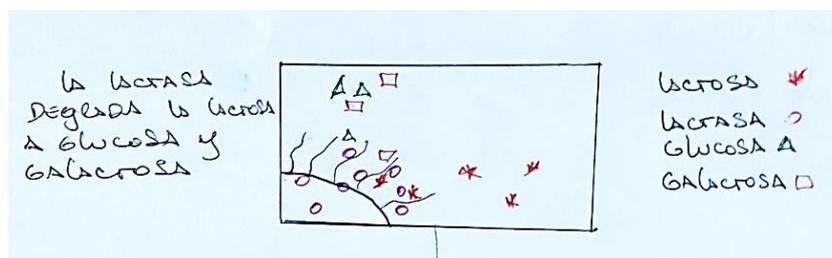
II las marcas referidas a la lactasa se identifican como triángulos anclados a la membrana. Dicha membrana en otra porción de la representación es etiquetada como enterocito. En el cuadrante III se inscribe un solo enterocito que contiene entre sus microvellosidades a la lactasa representada con una figura geométrica. En el cuadrante IV una marca central refiere a un solo enterocito con un núcleo en su interior. Por debajo del enterocito y pegado a su membrana una marca indica al glicocalix y adherido a él otra señalando a la lactasa que se continúa con la última marca conformada por dos figuras geométricas denominada lactosa.

Cuando los estudiantes incluyen marcas referidas al accionar enzimático, en algunas representaciones solo se observa marcas pictóricas, en otras son acompañadas con textuales, y solo una minoría explica el accionar enzimático mediante un texto breve o esquemático sin realizar figuras. En la tabla 6 se muestra la variedad enunciada con marcas que refieren a la enzima, al sustrato y a los productos de la reacción enzimática.

**Tabla 6. Representaciones elaboradas con marcas pictóricas y textuales referidas al accionar de la enzima**

Estructuras incluidas	Recortes de representaciones
Lactasa- lactosa- glucosa- galactosa- hígado- sangre.	<p>I-</p>  <p>La primera flecha indica “enzima asociada: LACTASA”. La inscripción indica: “Actúa desdoblando la lactosa en sus componentes glucosa y galactosa”. Se estima que el dibujo refiere al desdoblamiento de la lactosa en glucosa y galactosa.</p>

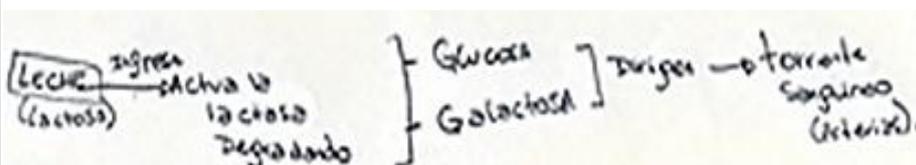
**II-**



El texto dice: “La lactasa degrada la lactosa a glucosa y galactosa”. Del recuadro y hacia abajo se observa una línea que indica que se trata de una ampliación de microvellosidades. Se incluyen figuras geométricas de distintos colores referenciadas sobre el margen izquierdo como Lactosa, Lactasa, Glucosa y Galactosa.

[Recorte de representación A-16 de clase 1-10-2018]

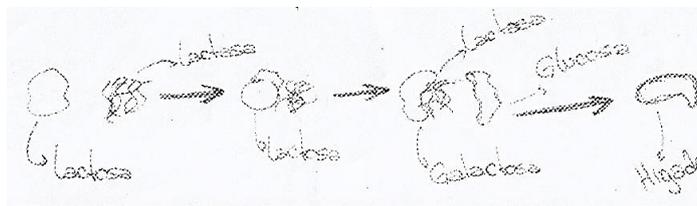
**III-**



Se estima que los términos incluidos refieren a que al ingresar la lactosa (leche) al tubo digestivo actúa la lactasa quién la degrada a la lactosa obteniéndose glucosa y galactosa y que ambas se dirigen al “torrente sanguíneo por arterias”.

[Recorte de representación A-02 de clase 1-10-2018]

**IV-**



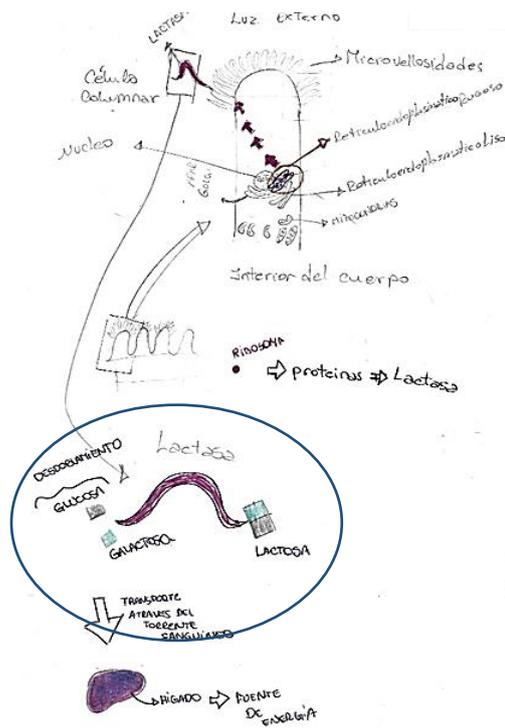
Las marcas próximas al borde inferior etiquetadas como lactosa y lactasa seguidas por una flecha que pareciera indicar que se ponen en contacto y luego la lactosa se separa en glucosa y galactosa. Una flecha recta vincula a los productos con el hígado.

[Recorte de representación C-04 de clase 9-09-2019]

Los recortes de representaciones que se muestran en la tabla 6 se puede observar las variedades de marcas que los estudiantes inscriben cuando se refieren al accionar enzimático. En los cuadrantes I y II se combina marcas textuales con pictóricas. En ambos recortes, el texto refiere al desdoblamiento o a la degradación que cumple la enzima sobre el sustrato, mientras que el recorte del cuadrante III sólo incluye texto para representar el desdoblamiento y en el IV sólo son marcas pictóricas que se aproximan a imágenes convencionales de esta reacción.

En este análisis se interpreta que tener que imaginar y plasmar sobre el papel lo referido al accionar enzimático conduce a los estudiantes a apoyarse en otro sistema de representación como la escritura. En este mismo sentido, en la figura 11 se identificó a través de los registros de clase de la segunda puesta en aula cómo al momento de decidir incluir marcas sobre el accionar de la lactasa, las estudiantes responsables de dicha representación, primero sostuvieron que incluirían por escrito sus explicaciones sobre dicho proceso y luego en la representación lo explican a través de figuras. El comentario de Dana (integrante de la pareja que elabora esta representación) a su compañera mientras elabora su representación es el siguiente: “Como no se me ocurre qué hacer, acá ponemos que la lactasa descompone en galactosa y glucosa”. Sin embargo, en el momento que plasma sus ideas sobre el papel, Dana inscribe marcas de tipo figurativas que muestran el accionar de la lactasa, tal como se observa en la figura 11.

**Figura 11. Representación C-08**



**Fig. 11.** En el círculo azul se encierran marcas que refieren al proceso de degradación de la enzima. La lactasa se representa con línea curva violeta. Su extremo izquierdo está en contacto con lactosa formada por dos cuadrados unidos entre sí. Su extremo derecho los cuadrados se separan y se identifican como galactosa y glucosa. Una inscripción por arriba de esta última dice: “desdoblamiento”. Se agrega por medio de flechas que los productos pasan al torrente sanguíneo a hígado.

[Representación C-08 clase 9-09-2019]

Si se repara en el círculo de la figura 11, la lactasa está representada por una línea curva en color violeta que en uno de sus extremos tiene un rectángulo compuesto por dos cuadrados de colores diferentes y unidos que se etiqueta como lactosa. En el extremo opuesto de la lactasa se registran marcas a modo de dos cuadrados separados y cada uno se etiqueta como glucosa y galactosa. El término “desdoblamiento” acompaña las marcas pictóricas. Las diferencias entre lo registrado en el audio de la clase y lo que finalmente la estudiante representa, permitiría suponer en este caso, que se planificó cómo volcar sus explicaciones sobre el papel, primero apoyándose en un sistema de representación como la escritura que podría haber reordenado ideas para luego inscribir marcas figurativas.

Al momento de representar hay discusiones, a veces se piensa cómo plasmar las ideas ya sea en forma de texto o de manera pictórica, y otras veces la escritura antecede a lo

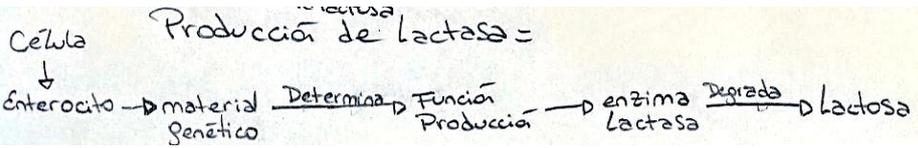
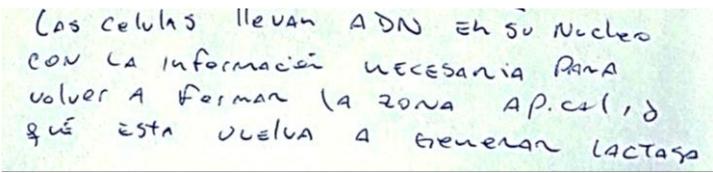
figurativo. Esto permite inferir que dialogan diferentes sistemas de representación al plasmar ideas sobre el papel conviviendo la oralidad, la escritura y lo pictórico.

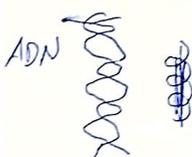
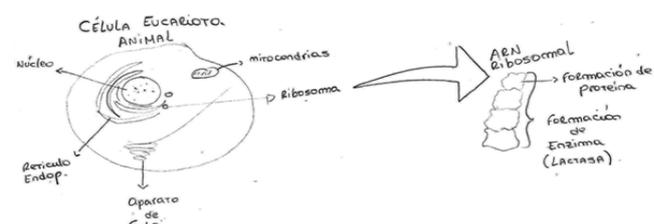
*Incluir marcas textuales cuando se refiere a la producción de la enzima*

Cuando los estudiantes inscriben marcas referidas a la producción de la lactasa, en su mayoría solo registran marcas textuales.

Los recortes de representaciones en los que se observan las marcas que los estudiantes decidieron plasmar en relación con la producción de la enzima, se sistematizan en la tabla 7. La mayoría incluye solo texto, sin embargo, en algunas de ellas se observa unas pocas marcas pictóricas que refieren a estructuras como: núcleo de cualquier célula en relación con la lactasa, núcleo de los enterocitos vinculado también a la enzima, al ADN y la enzima, al ARN o a los ribosomas.

**Tabla 7. Representaciones elaboradas con marcas en su mayoría textuales que refieren a la producción de la enzima**

Estructuras	Recorte de representaciones
Enterocitos, núcleo, ADN, ARN, ribosomas	<p><b>I</b></p>  <p>Bajo el título “Producción de Lactasa” se inscribe términos relacionados por flechas que vinculan “célula”, “enterocito” y “material genético”. De los restantes se puede interpretar que el material genético “determina” la función de la lactasa, y se agrega que la enzima degrada lactosa.</p> <p>[Recorte de representación A-02 clase 1-10-2018]</p>
	<p><b>II</b></p> 

	<p>El texto dice: Las células llevan ADN en su núcleo con la información necesaria para volver a formar la zona apical y que ésta vuelva a generar lactasa.</p> <p>[Recorte de representación A-10 clase 1-10-2018]</p>
	<p><b>III</b></p> <p>EN EL CÓDIGO GENÉTICO ESTÁ LA INFORMACIÓN PARA QUE SE FORME LA ENZIMA LACTASA</p> <p>ADN</p>  <p>La inscripción dice: “En el código genético está la información para que se forme la enzima lactasa.” Debajo una marca pictórica refiere al ADN.</p> <p>[Recorte de representación A-07 clase 1-10-2018]</p>
	<p><b>IV</b></p>  <p>Se incluye una célula eucariota animal con núcleo, retículo endoplasmático, aparato de Golgi, mitocondria y ribosoma. Este último se relaciona con el ARN ribosomal mediante flecha y con cuatro marcas de bordes irregulares apiladas. La primera de ellas se indica como “Formación de proteína” y al conjunto se lo denomina “Formación de Enzima (Lactasa).”</p> <p>[Recorte de representación C-03 clase 1-09-2019]</p>

En los recortes de los cuadrantes I y II los estudiantes sólo inscriben texto para representar. En el I, el texto es esquemático y orientado a vincular el material genético de los enterocitos con la producción de una enzima que tiene una función determinada. En el II, relacionan el ADN de las células (sin precisar que se trata de enterocitos) con la renovación de la zona apical que puede ser destruida [por toxinas] y al momento de repararse esa zona se encargaría de producir lactasa nuevamente. En el III los estudiantes combinan texto con dibujo. Se estima que al “código genético” lo identifican con el ADN ya que es la molécula que representan, y con la producción de la enzima. En el IV inscriben marcas que refieren al núcleo de una célula con sus ribosomas, el “ARN

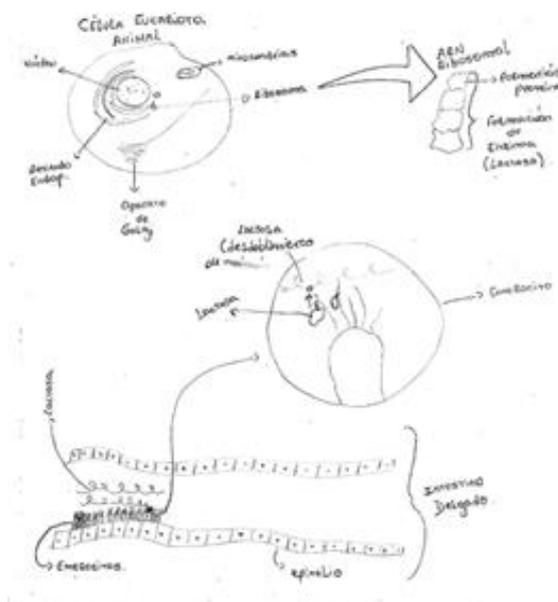
ribosomal” y la formación de proteínas. Como puede apreciarse en la tabla 7, las anotaciones que los estudiantes realizan en relación con la producción de la enzima presentan diferente grado de precisión. Si bien en ninguna de las representaciones se incluyen explicaciones acabadas sobre cómo se genera la enzima, las ideas que los estudiantes plasman sobre el papel dan cuenta de relaciones entre enterocitos, su núcleo y la producción de la enzima. Esto supera las expectativas de la docente ya que durante las discusiones previas a representar muchos de ellos remarcan enfáticamente que como el texto no explicita dicha información es imposible precisar cómo se produce la lactasa.

Al revisar los diferentes tipos de marcas, pictóricas o textuales o la inclusión de ambas, respecto de distintos aspectos como el lugar de acción de la enzima, su accionar o su producción, se podría interpretar que cada uno de estos aspectos demandaron distintos niveles de exigencia. Con respecto a ubicar a lactasa, los estudiantes apelaron a sus recuerdos de imágenes convencionales sobre morfología anatómica del sistema digestivo y las marcas empleadas fueron todas pictóricas. En cambio, en los dos aspectos siguientes (accionar o producción) el desafío consistió en representar procesos con mayor grado de abstracción y de los que es menos probable que tuvieran registros de imágenes convencionales. Respecto de la reacción enzimática, conocida por ellos, plasmaron marcas figurativas y en algunos casos acompañada de texto. En cuanto a la producción de la enzima, desconocida aún para los estudiantes, la representaron en su mayoría con marcas textuales. Esto permite interpretar que cuando se domina conceptualmente el objeto a representar se logra obviar la escritura y se plasman marcas pictóricas. Se puede suponer también que, si bien “figurativizar” lo que no se conoce pero que se puede imaginar resulta exigente, es este pedido el que colabora presionando intelectualmente a los estudiantes en elaborar nuevas ideas y seguir apropiándose del problema de estudio.

*Recurrir a modelos convencionales en la propia representación*

En ambas puestas en aula hubo un caso en cada una de ellas, en las que los estudiantes representan una célula similar al modelo convencional. Mientras que, en la primera implementación de la secuencia, la representación A-15 (tabla 5, cuadrante IV) las estudiantes incluyen sobre un modelo celular convencional sólo el accionar de la enzima; en la segunda puesta en aula, figura 12 las estudiantes intentaron explicar sobre un modelo típico de célula, la producción de la enzima. Lo que se pretende destacar es cómo los estudiantes recurren a los modelos conocidos sin reparar que información aportada por los textos identifican células propias del epitelio intestinal como cilíndricas y con microvellosidades.

**Figura 12. Representación C-03**



**Fig. 12.** En extremo superior derecho: célula eucariota animal con organelos que se vincula a la formación de la enzima. En extremo inferior derecho: corte longitudinal de intestino con enterocitos y lactosa. Estas marcas se amplían por encima del corte longitudinal para explicar el accionar de la enzima.

[Representación C-03 de clase: 9-09-2019]

En ambos casos cuando la docente pregunta por el modelo de célula representado, las respuestas refieren a que son las células que “mejor saben dibujar” y aunque la docente aconseja revisar la descripción del texto leído, se sostienen las marcas en ambas representaciones. Particularmente, en la figura 12 sobre esa célula convencional, las

estudiantes inscriben marcas que refieren a: núcleo, mitocondrias, aparato de Golgi, retículos endoplasmáticos, y ribosomas. A partir de este último organoide Rene intenta explicar la “formación de la proteína” incluyendo marcas que podrían interpretarse que el “ARN ribosomal” participa en dicha producción.

Si se repara en el extremo inferior de la hoja, las estudiantes representan un corte longitudinal de intestino, y sobre ese corte inscriben marcas que remiten a los enterocitos, tal vez persuadidas por la intervención de la docente que las remitió al texto para que la célula representada se aproxime más a la descripción. Las marcas que refieren a los enterocitos concuerdan con la descripción que brindan los textos leídos y es sobre estas marcas donde intentan explicar la acción enzimática generando una ampliación de un enterocito que se observa en el centro de la hoja.

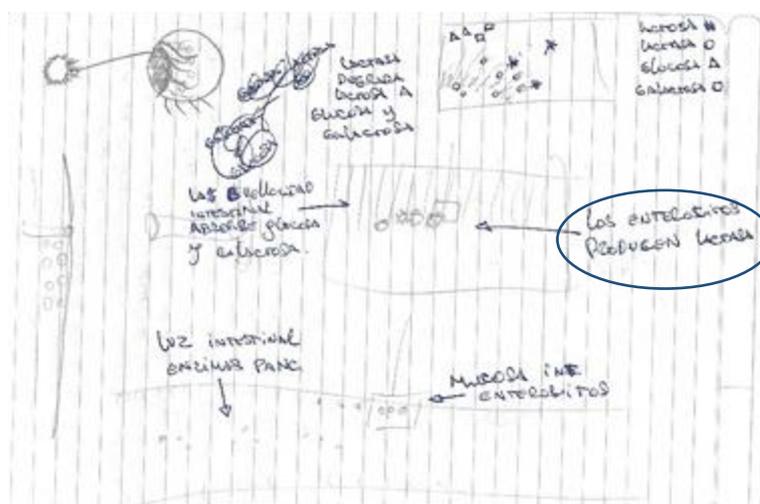
La necesidad de representar en dos tipos celulares distintos permitiría inferir que un proceso que todavía no es estudiado (producción de la enzima) sólo puede ser representado dentro del modelo convencional y muy conocido de célula. Mientras que un proceso conocido (función enzimática) puede ser explicado sobre una célula cuyo formato es imaginado a partir de la descripción de un texto. Se podría estimar que es más probable imaginar un proceso desconocido sobre marcas de una representación que se domina o al menos conoce. En cambio, para representar un proceso conocido se puede usar un formato celular imaginado. Es como si imaginar al mismo tiempo la anatomía celular y una función específica como la producción de una enzima fuera un desafío mayor.

#### *Elaborar representaciones excluyendo algunas ideas*

Otra de las formas en que los estudiantes elaboraron sus representaciones se relaciona con aquello que deciden excluir, aun cuando cuentan con ideas al respecto. Esto se identifica en una de las representaciones realizadas durante la primera puesta en aula. Si se compara

los registros de clase con las marcas en el papel de la figura 13 se podría estimar que lo representado se relacionan con las ideas más estables. Jul y su compañera comparten con la docente un borrador (único grupo que hizo un borrador previo y lo entregó para ser escaneado) de su producción en el que incluyen varias marcas textuales. Nótese en la leyenda encerrada en un óvalo, hacia la mitad del borde izquierdo de la hoja, se inscribe un concepto que pareciera incuestionable: “los enterocitos producen lactasa”.

**Figura 13. Representación A-16- borrador**

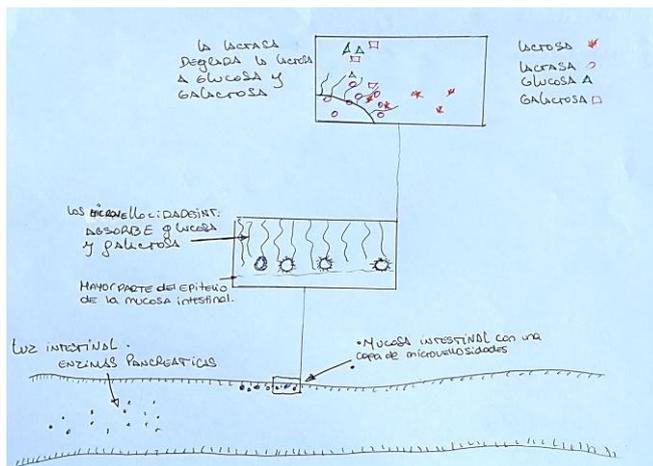


**Fig. 13.** Representación borrador. En el óvalo dice: “Los enterocitos producen lactasa”. La flecha que de ella pareciera indicar que los enterocitos se encuentran en las vellosidades intestinales.

[Representación A-16 -borrador- Clase 1-10-2018]

La frase en cuestión es leída por la docente en un momento que se aproxima al grupo y si bien solicita a los estudiantes que sean más precisos y amplíen la información explicando cómo es que los enterocitos producen lactasa, dado que es parte de la consigna, en la entrega final se observa que eliminan la leyenda escrita en el borrador. La representación final se observa en la figura 14.

**Figura 14. Representación A-16 final**



**Fig. 14.** Las marcas se identifican en tres sectores. En el inferior un corte longitudinal del intestino, en el medio una ampliación de vellosidades y uno superior detallando el lugar de acción de la lactasa.

[Representación A-16 final-  
Clase 1-10-2018]

Tal como se observa en la figura 14, la marca textual que indicaba a los enterocitos como responsables de la producción de la enzima fue omitida. Se podría interpretar que esa idea cuesta ser representada. La relación entre lo conceptual y lo que se puede plasmar al papel puede no ser siempre correspondido, algunas cuestiones conceptuales pueden ser pensadas por los estudiantes y ser excluidas del papel, mientras que otras se pueden plasmar, y aun así parecen estar lejos de conceptualizarse. Es decir que la relación no es biunívoca. La decisión de eliminar la frase antes que ampliarla permite corroborar que las ideas aún se encuentran en estado de provisoriedad y que si bien pueden enunciar oralmente se tratan solo de una expresión de tipo declarativa que necesita más tiempo y mayor aproximación al objeto de estudio para que pueda ser explicada.

Así como estos estudiantes eliminaron de la hoja una idea que pareciera estaban distantes de poder explicar, otras estudiantes que durante la discusión en situaciones didácticas anteriores aportaron algunos conceptos respecto de la vinculación del material genético y las proteínas, evitaron representar a aquellas ideas que sostenían como lejanas y que parecían recordar parcialmente. Esto confirma que no todo lo que se sabe se representa sino solo aquello que se puede (Martí, 2003).

## **El análisis de lo representado**

En este análisis se pretendió evidenciar de qué manera los estudiantes plasman sus ideas sobre el papel, teniendo en cuenta que las mismas se sustentan con distintos niveles de argumentación. Se identificó que algunas de sus ideas se plasmaron antes que otras y se interpreta que esa variación guarda relación con el grado de iconicidad y abstracción para quién está realizando la representación. Las primeras marcas son las que para esta investigación se consideran más icónicas dado que se relacionan en su mayoría con imágenes muy conocidas como sistema digestivo, intestino o vellosidades. Las que en esta investigación se consideran más abstractas son aquellas que explican procesos como la acción enzimática y la producción de la enzima. Las que refieren a esta última función son interpretadas con mayor nivel de abstracción dado que además de ser un proceso no observable, es desconocido para los estudiantes, por lo que debieron apelar a su imaginación para representarlo. Además, se interpretó que cuanto mayor es el grado de abstracción, menos figurativa es la representación incluyendo en ellas marcas textuales.

## **Las intervenciones docentes**

La docente durante el momento de la elaboración de las representaciones orienta el recorrido que realizan los estudiantes. Sus intervenciones se efectuaron mientras circula por el aula y atiende las diferentes necesidades de los estudiantes en su elaboración. La variedad de intervenciones está relacionada con el tipo de demanda de los estudiantes, y el registro que tiene la docente de las situaciones didácticas anteriores. Se estima que todas las intervenciones son necesarias, a pesar de las diferencias entre ellas. Las mismas se describen y analizan agrupadas según si permiten orientar a los estudiantes para que recuperen las descripciones de los textos, brindar explicaciones sobre algún concepto que

genera dudas, sugerir que se focalicen en el objeto de estudio, invitar a inscribir marcas pictóricas, y conducir a que incluyan ideas sobre las que aún se duda.

*Orientar para recuperar las descripciones anatómicas de los textos*

Aunque la mayoría de los estudiantes representan rápidamente el órgano o la célula donde colocar a la enzima, algunos necesitan precisiones para diferenciar las microvellosidades de vellosidades, describir el glicocalix, o la disposición de los enterocitos en el epitelio intestinal que les permita incluir la enzima en su lugar de acción. Ante estas particularidades, la docente interviene desde el inicio de la elaboración de representaciones sugiriendo que se revisiten los textos para retomar algunas descripciones sobre las estructuras que generan dudas. En este sentido, estudiantes que ya habían representado un corte longitudinal de intestino preguntan dónde pueden incluir la enzima y qué son los enterocitos, la docente interviene de la siguiente manera:

Profesora: Son células que van a formar parte de esas vellosidades.

Chele: Y están como anexados con una proteína, ¿No?

Profesora: Lo que el texto dice es que esa enzima queda pegada a esa membrana de los enterocitos.

Chele: O sea, vendría a ser por acá. En un lugar específico.

Profesora: Ajá. En un lugar específico. No es en la luz del intestino.

[Fragmento de clase: 1-10-2018]

La intervención de la docente se focaliza en retomar la interpretación que aportan los textos leídos. Al diálogo se suma Lele que pregunta por la zona apical. Ambas preguntas van en el mismo sentido, saber dónde incluir a la lactasa. El fragmento del texto que sugiere releer dice:

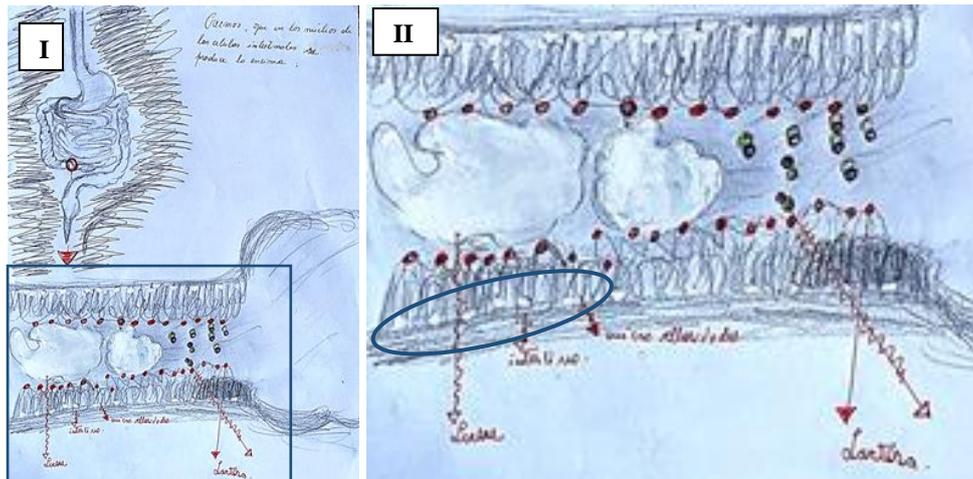
“La lactasa o hidrolasa fluorizin lactasa es un enzima que se localiza en la superficie apical de la membrana en cepillo de los enterocitos, donde está

anclada a la membrana por su extremo C-terminal y tiene la mayor parte de la molécula proyectándose hacia el intestino (Swallow-2003 en Tocoian, 2006, p.20).”

Es evidente que para los estudiantes las descripciones de los textos son mucho menos obvias que para los conocedores del tema por lo que requieren una ampliación. La docente solventa las dudas aportando descripciones desde la oralidad sobre la disposición de los enterocitos en el epitelio intestinal y de sus microvellosidades con la intención de facilitar lo referido a la membrana en cepillo y cómo se encuentra anclada. Dichas aclaraciones permiten que los estudiantes puedan continuar con la elaboración de su representación.

La exigencia de tener que plasmar sobre el papel una descripción proveniente del texto permite descubrir las distintas interpretaciones que hacen del mismo. Esto se identifica en otra intervención cuando de los registros de clase surge que la docente al acercarse a los estudiantes responsables de la representación que se observa en la figura 15 pregunta “por qué la enzima está indicada en las criptas de las vellosidades y no en la zona apical”. Las estudiantes justifican la ubicación elegida porque interpretan que cuando el texto dice que la enzima se encuentra anclada, significa que se ubica en el fondo de la pared intestinal -a manera de un ancla de un barco-.

***Figura 15. Representación A-12- I y II***



**Fig. 15. I-**El recuadro de la derecha se amplía a la izquierda. **II-**La ampliación muestra puntos rojos referenciados como lactasa en las zonas apicales de las vellosidades intestinales. Puntos blancos encerrados en el óvalo negro dan cuenta de modificaciones realizadas sobre inscripciones anteriores.

[Representación A-12- Clase 1-10-2018]

En la figura 15 II, dentro del óvalo azul próximo al borde derecho de la hoja, se observa como las marcas iniciales que referían a la lactasa fueron pintadas de blanco con el propósito de eliminarlas y que luego de la intervención de la docente fueron reemplazadas por marcas rojas en la zona apical de las vellosidades intestinales. La intervención colabora con la interpretación de las descripciones y posiblemente este esclarecimiento favorezca que los estudiantes puedan vincular el lugar donde actúa la enzima con la célula que la produce.

Otras de las intervenciones en que la docente sugiere remitirse al texto están vinculadas a diferenciar las enzimas pancreáticas, que funcionan en la luz del intestino, en contraposición con la lactasa que actúa pegada a la membrana de los enterocitos. La intervención colabora para que los estudiantes puedan pensar dónde ubicar a la enzima y que a posteriori puedan vincular que la producción de la misma está a cargo de los enterocitos.

*Brindar explicaciones sobre conceptos que generan dudas*

Los estudiantes suelen preguntar por algunos conceptos, en algunas oportunidades la docente indica que vuelvan sobre los textos, en otras interviene explicando lo requerido. Suele tratarse de conceptos ya estudiados que ante el nuevo contexto -situación de representar- despiertan dudas. Una de las estudiantes que está intentando saber dónde ubicar la enzima expresa: “las vellosidades que también tienen los enterocitos serían las enzimas”, esto motiva el siguiente diálogo:

Profesora: Las vellosidades no son las enzimas.

Yela: No, no.

Profesora: ¡Ah!

Yela: Las vellosidades son parte del enterocito.

Profesora: En realidad, la vellosidad....

Yela: La vellosidad viene a ser la superficie.

Profesora: El epitelio intestinal se pliega y forma las vellosidades. Es el epitelio el que está constituido por una capa de células. Las células son los enterocitos y tienen microvellosidades.

Yela: ¡Ah!! Ok.

[Fragmento de clase 1-10-2018]

Si bien se trata de una explicación de un tema que los estudiantes se espera que conozcan, en esta nueva situación de enseñanza pareciera que perturba su interpretación, por lo que la docente se detiene, explica solo desde la oralidad e intenta evitar que la duda obstruya la posibilidad de seguir representando.

En este mismo sentido, otra estudiante que representó al intestino, los enterocitos con su glicocalix, y que parecieran saber que la enzima está pegada a la membrana de estas células pregunta dónde cumple su función, tal como se interpreta en el siguiente fragmento.

Profesora: Bueno. ¿Y cómo vamos? Cuenten, a ver... Un poquito qué es eso que están dibujando. La capa... ¿Estuvieron haciendo el glicocalix?

Anís: Sí. Es como si fuese... un zoom.

Profesora: ¿Un zoom de qué?

Anís: De la mucosa intestinal, las microvellosidades del enterocito y esto sería parte del enterocito. Entendimos que el glicocalix son carbohidratos y proteínas de la membrana. Entonces, acá la hicimos con estos colores. Y también dice que contiene enzimas.

Profesora: Justamente, las enzimas de digestión. Perfecto.

Anís: Y las representamos con otro color. Y acá la capa de 400 a 500 nanómetros.

Profesora: ¿Y dónde estaría funcionando la enzima?

Anís: Lo que yo no entiendo es esto: “Está en la mucosa intestinal del intestino delgado” (lee una frase del texto).

Profesora: Y la mucosa intestinal del intestino delgado está cubriendo a las vellosidades. Y las vellosidades, los pliegues del epitelio intestinal, formadas por una capa de enterocitos.

Anís: ¡ah! Ok

[Fragmento clase: 1-10-2018]

Las estudiantes conocen la disposición de las vellosidades intestinales, en general es una estructura que se estudia vinculada a la absorción. Las imágenes convencionales que se encuentran en los libros de textos al explicar el sistema digestivo, se las referencia como una ampliación de la pared intestinal que incrementa la superficie de absorción. Se interpreta que el nuevo contexto funcional con el que los estudiantes deben asociar a las vellosidades los desorienta y la docente colabora aportando explicaciones sobre la función digestiva llevada a cargo de la lactasa, quien pegada a la membrana externa de los enterocitos puede degradar lactosa.

*Sugerir priorizar el tema de estudio*

Una intervención que orienta a que los estudiantes se enfoquen a representar el tema de estudio se puede interpretar a partir del diálogo y la representación siguiente:

Lio: Bien, ahora haciéndolo bien primero que nada agarramos un trozo de intestino.

Profesora: Sí, lo cortaste.

Lio: Sí. Hacemos que en la luz trabajen las enzimas pancreáticas y los enterocitos estarían en las paredes ¿No? Ahora, volvemos un poquito más abajo. Venimos a una vellosidad común, pero dice que “los enterocitos aumentan el espacio de absorción”. ¿Puede ser? La hacemos que sea un poco más grande.

Profesora: Bien. Pero a nosotros nos interesa más que el momento de absorción, el momento de digestión.

Lio: Bien, sí, sí, sí. Ahora, decimos que en la zona apical está la lactasa, que está mirando hacia la luz del intestino.

Profesora: Sí. Ahí lo que vos me estás contando es que una parte se ocupa de absorber y otra de digerir. El punto clave en esta representación es ver cómo funciona la lactasa y cómo se produce.

Lio: Funciona tomando las moléculas que están degradadas.

Profesora: ¿Toma las moléculas degradadas? ¿Eso es lo que hace la lactasa? La lactasa.

Lio: No, las separa.

Profesora: Bueno. Ese punto, que es el funcionamiento, hay que intentar de representarlo.

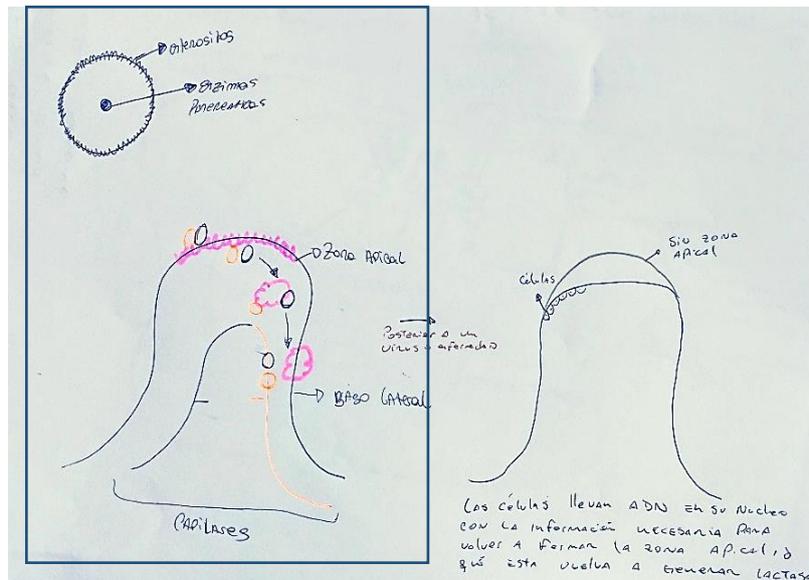
Lio: Sí, los separa en monosacáridos.

[Fragmento de clase: 1-10-2018]

En el fragmento de clase seleccionado, Lio detalla lo representado hasta el momento en que la profesora interviene. En la figura 16 se incluyen un corte transversal de intestino y solo una vellosidad que en su zona apical cuenta con una línea “espiralada” de color rosa

que simula a los enterocitos aumentando la superficie de absorción. Los círculos naranjas y azules que se muestran como en una secuencia orientada hacia abajo por medio de flechas los estudiantes los incluyen luego de una nueva consulta a la docente.

**Figura 16. Representación A-10**



**Fig. 16.** El rectángulo encierra lo dibujado al momento de la intervención. En el extremo superior derecho un corte transversal del intestino delgado. Debajo se interpreta una vellosidad intestinal que cuenta con una línea “espiralada” de color rosa referida como zona apical y por dentro de la vellosidad solo una línea de color azul y naranja que representa a un capilar.

[Representación A-10- Clase 1-10-2018]

Se interpreta que la importancia otorgada por Lio a la absorción en las vellosidades es consecuencia de lo usualmente estudiado sobre estas estructuras del intestino. La docente repara en ello e insiste para que se enfoque en la digestión que es lo vinculado a la enzima lactasa. Luego del diálogo compartido, Lio vuelve a preguntar: “¿Tengo que agarrar una molécula de lactosa y separarla en dos básicamente?” Es decir, comienza a pensar en la digestión. En una intervención posterior (en este grupo en particular la docente intervino

en varias oportunidades) en la representación ya se habían agregado marcas que refieren a la enzima lactasa (nube de color rosa), la lactosa constituida por dos círculos uno azul y otro naranja y los monosacáridos como resultado de la acción enzimática que luego son absorbidos y pasan a capilares. Esto hace suponer que la intervención colabora para focalizar lo que necesita ser representado. Cabe destacar que la segunda vellosidad intestinal que se encuentra del lado derecho de la hoja se inscribe más adelante cuando los estudiantes comienzan a pensar en cómo se produce la enzima.

*Impulsar a inscribir marcas pictóricas cuando cuesta imaginar*

De los registros de clase surge que Car y Agnes habían decidido escribir que “la lactasa actúa desdoblando la lactosa en sus dos componentes de galactosa y glucosa”. Y también dan cuenta que la docente se acerca al grupo poco después de esa escritura. La docente se detiene a preguntar dónde está representada la enzima y el sustrato. Como respuesta a esta pregunta, lo primero que deciden las estudiantes es representar la lactasa con “puntitos” entre las microvellosidades de los enterocitos a la enzima. Como el sustrato sigue sin ser representado pictóricamente, se entabla el siguiente diálogo:

Profesora: ¿Y la lactosa? aquí no está dibujada.

Agnes: Porque no sabemos cómo desdoblarla.

Profesora: De la forma que ustedes quieran. Por ejemplo, si pienso en un rompecabezas, las piezas se separan o se juntan.

Car: Sí.

Profesora: Tranquilamente se podría dibujar algo que se ensambla.

Car: Nosotras dibujamos la fórmula de la molécula de glucosa.

Profesora: Tendría que haber una glucosa y una galactosa

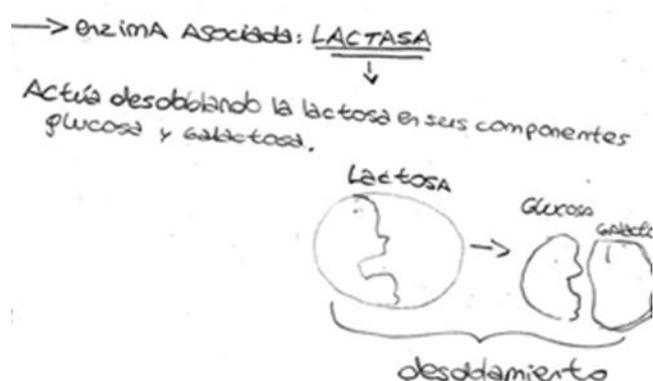
Car: Sí..., pero...

Profesora: Ustedes pueden inventar cualquier forma, la fórmula es lo de menos.

[Fragmento de clase: 9-09-2019]

La intervención de la docente genera que las estudiantes, que ya habían decidido solo plasmar sobre el papel marcas textuales para explicar la acción de la enzima, se enfrenten a la exigencia de responder a la consigna en forma pictórica. Para ello sugiere recurrir a cualquier marca, dado que lo representado tiene que dar cuenta del papel de esa enzima en la fisiología del sistema y no es importante la marca en sí misma. Tal como se observa en la figura 17 las estudiantes revisan lo escrito y agregan marcas pictóricas debajo del texto escrito inicialmente.

**Figura 17. Recorte de representación C-07**



**Fig. 17** El texto dice: enzima asociada: LACTASA. Actúa desdoblando a la lactosa en sus componentes glucosa y galactosa. Debajo se representa lactosa que se desdobra en ambos monosacáridos.

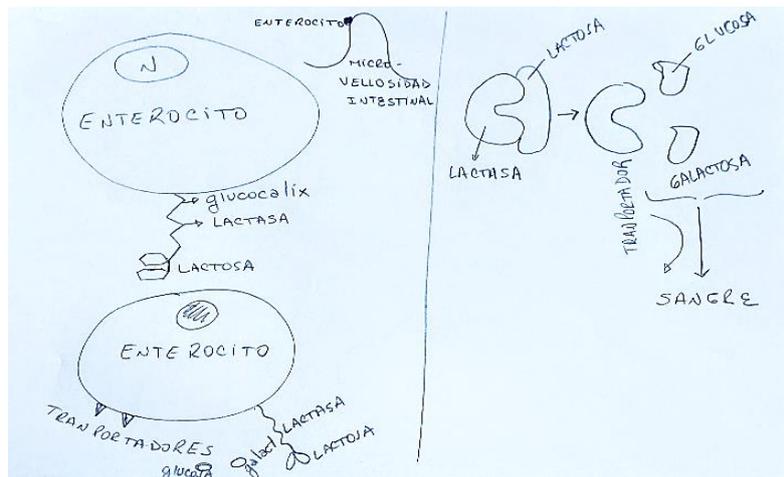
[Recorte de Representación C-07- Clase: 9-09-2019]

Las marcas pictóricas que refieren al “desdoblamiento” de la lactosa solo se incluyen después de la intervención de la docente. Representar la reacción involucra un grado de abstracción que las estudiantes estaban decididas a evitar de manera pictórica. Sin embargo, el propósito de la consigna está dirigido a que los estudiantes reorganicen sus ideas y las plasmen sobre el papel de modo tal que representar sea útil para reflexionar sobre el sistema real y que esto permita interpretar el interrogante inicial -vinculación entre el material genético y la fisiología de los sistemas. La intervención docente, en este caso, apunta a que todos hagan el intento de representar lo que sostienen en la oralidad.

*Colaborar con la inclusión de ideas que generan dudas*

Las intervenciones en este sentido apuntan a que los estudiantes incluyan en sus representaciones marcas referidas a la producción de la lactasa, que, si bien es un tema aún no estudiado, varios estudiantes expusieron ideas al respecto durante las situaciones didácticas anteriores. Este es el caso de Silu y Rochi, sus ideas señalaban al material genético como regulador de la producción de proteínas o como controlador de las funciones celulares, sin embargo, en la representación esas ideas no parecen estar representadas, tal como se observa en la figura 18.

**Figura 18. Representación A-15**



**Fig. 18.** En la mitad izquierda de la hoja, se representa un enterocito en un pliegue del intestino etiquetado como microvellosidad. Debajo un enterocito ampliado, en su pared una etiqueta indicando glucocalix y en éste se ubica la lactasa adherida a la lactosa. En la parte inferior puede deducirse la acción de la enzima por las marcas que refieren a glucosa y galactosa. En la mitad derecha de la hoja se amplía la acción de la enzima indicando que los monosacáridos pasarían a sangre.

[Representación A-15. Clase 1-10-2018]

Cuando la docente interviene instando a que sea incluida alguna marca al respecto, las estudiantes comentan haber representado al núcleo de la célula como formador del

glicocalix y que es éste quien segrega la lactasa. Es decir, se interpreta que las estudiantes transmiten haber plasmado todo lo que sabían sobre el papel. Se corrobora, por un lado, que no todo lo que se piensa puede ser representado, y también se estima que el grado de provisoriedad de las ideas dificulta imaginar cómo representar con mayor precisión la producción de la enzima. En otro grupo, en cambio, la intervención de la docente se orienta a sugerir la inclusión de marcas en relación con la producción de la enzima. Anís, durante la situación inicial había expresado que el ARN se vincula con los genes y las proteínas. Cuando la docente interviene en el grupo, las estudiantes todavía nada habían incluido al respecto.

Profesora: ¿Quién produce la lactasa? ¿Cómo se produce la lactasa? ¿Es algo que está ahí pegado? ¿Y si no está? Sos intolerante a la lactosa.

Anís: Claro

Profesora: Entonces alguien la tiene que producir. ¿Y quién será el encargado de producirla?

Anís: Eh... el núcleo.

Profesora: ¿De quién? ¿De qué célula?

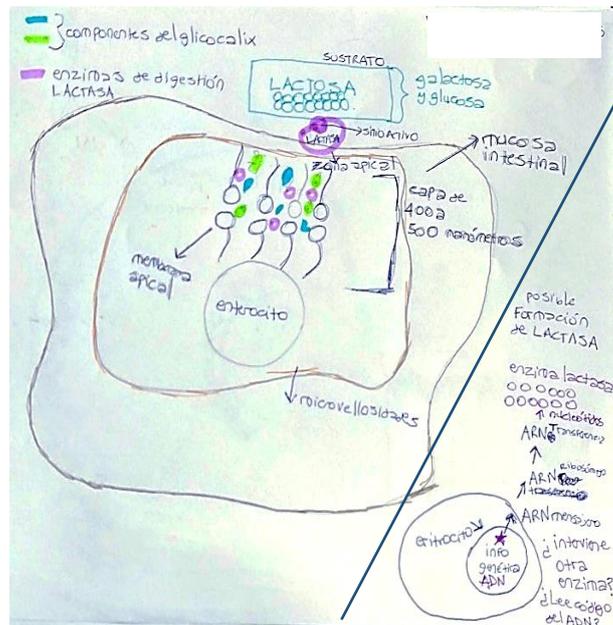
Anís: Del enterocito

Profesora: Bueno, entonces si el núcleo del enterocito es el responsable de la producción de la lactasa, fijate si lo podés representar.

Anís: Bueno.

[Fragmento Clase 01-10-2018]

**Figura 19. Representación A-09**



**Fig. 19.** A la derecha de la línea azul: lo representado hasta el momento de la intervención. A la izquierda de la línea lo referido a la producción de la enzima. Bajo título “Posible formación de lactasa” se observa un círculo en la porción inferior del recorte denominado como enterocito. En su interior otro, que encierra a “info genética ADN”. Esta última se vincula por flechas hacia arriba con ARN mensajero, ARN ribosómico, ARN transferencia y nucleótidos. Estos últimos parecen estar relacionados con dos filas de pequeños círculos referidos como “enzima lactasa”. Se incluyen dos preguntas: “¿Interviene otra enzima? ¿Lee código del ADN?”

[Recorte de representación A-09 clase 1-10-2018]

En el diálogo se podría interpretar que Anís cuenta con la posibilidad de identificar al núcleo de los enterocitos como responsable de la producción de la enzima, sin embargo, en la representación (figura 19) solo lo incluye después que la docente interviene presionando sobre el tema. Nótese que Anís, luego de la intervención docente, representa junto a algunas marcas incluidas en el borde inferior izquierdo de la hoja, parte de cómo se produce la enzima y también agrega preguntas sobre la participación de enzimas en el proceso de formación de proteínas y otra que dice: “¿lee código de ADN?”. Esta última se infiere que hace referencia a si es el ARN quién debe leer el código para salir del núcleo

y participar en la formación de la proteína. Se estima que en esta oportunidad la intervención logra que se incluyan marcas al respecto junto con las dudas que la estudiante sostiene.

## **Representar en clase**

Las descripciones y los análisis desarrollados en este capítulo permiten considerar que las marcas que los estudiantes volcaron sobre el papel pueden ser interpretadas de maneras diferentes, en algunas se incluyen ideas que pareciera ser entendibles para la docente y sus pares, en otras sus significados requieren explicitación oral por parte los responsables de su elaboración. En la mayoría se puede percibir el orden en que son elaboradas y cómo esto se vincula con la elaboración conceptual que están realizando. La interpretación de estas producciones requiere del intercambio con los autores de tal producción, por lo que luego de representar, se comparten con el grupo clase las producciones. Dicho momento, distintivo de otras investigaciones, es analizado en el capítulo siguiente.

El papel de la docente durante la elaboración de representaciones conduce a que los estudiantes retomen y plasmen sobre el papel las ideas discutidas durante la situación anterior, revisen sus interpretaciones en relación con los textos leídos, reorganicen ideas en torno a explicar el sistema real, y se formulen nuevas dudas. En esta tesis, se comparte con las investigaciones de Acher, (2014); Flores Camacho et al. (2020); Gomez Galindo, (2013); Justi, (2006); y Roni y Carlino, (2017, 2018), la preocupación por las intervenciones de la docente en la propuesta de enseñanza. Por lo que en el presente trabajo de investigación se decidió además analizar cómo impacta y colabora con la reorganización de ideas al momento en que los estudiantes vuelcan sus ideas al papel,

intentando que dicho análisis se convierta en otro aporte para contribuir a la enseñanza de las ciencias.

## *Capítulo 7*

### *Lo representado como objeto de análisis en clase*

---

#### **Introducción**

En el capítulo anterior se describió y analizó de qué manera los estudiantes elaboraron sus representaciones y cómo la docente participó durante su producción. Se evidencia que algunos interrogantes surgidos durante la situación inicial en el momento de representar se vuelven a poner de manifiesto y otros comienzan a reformularse. En este capítulo se describe y analiza el momento en que se comparte en el grupo clase los intercambios sobre lo representado.

Se podría considerar que esta parte del análisis se diferencia de otras investigaciones pues en la mayoría de los antecedentes relevados, las explicaciones que los estudiantes pueden ofrecer sobre sus representaciones no suele ser objeto de análisis. En cambio, se acuerda en parte, con una minoría de antecedentes en los que representar es entendido como una práctica científica que los docentes trasladan a las clases de ciencia. En éstos se revisa con los alumnos lo representado con la intención de encontrar qué modelo representa mejor cierto fenómeno y en esa discusión afloran los criterios que permiten evaluar fortalezas y debilidades de los modelos seleccionados (Acher, 2014; Gomez Galindo, 2013). En esta tesis se analiza el aporte que brinda reflexionar en clase sobre lo representado.

## Los aportes de lo representado

La propuesta que invita a los estudiantes a revisar y comentar en clase lo producido fue prevista en el diseño de la secuencia didáctica, pero la misma se propone con mayor énfasis cuando la docente al leer las representaciones detecta que algunas ideas quedaron sin plasmarse, o que en su lectura es posible identificar más de un significado, o que cuesta inferir las explicaciones representadas. Se estima que la falta de interpretación por parte del lector de lo representado podría deberse a que la relación entre lo figurativo y lo conceptual suele ser difícil de dilucidar tanto para el que produce la representación como para el que la lee.

Desde este punto de partida, se propone en clase compartir lo representado con la intención de expandirlo, explicitar los significados incluidos, y abordar las relaciones entre lo figurativo y las concepciones que los estudiantes ponen en juego sobre los procesos involucrados. Además, se considera que la comunicación de las explicaciones plasmadas en papel ofrece una nueva oportunidad de desplegar y movilizar ideas involucrando a la oralidad como otro sistema de representación. El espacio de intercambio permite que los estudiantes conozcan el uso de las herramientas representacionales en la disciplina.

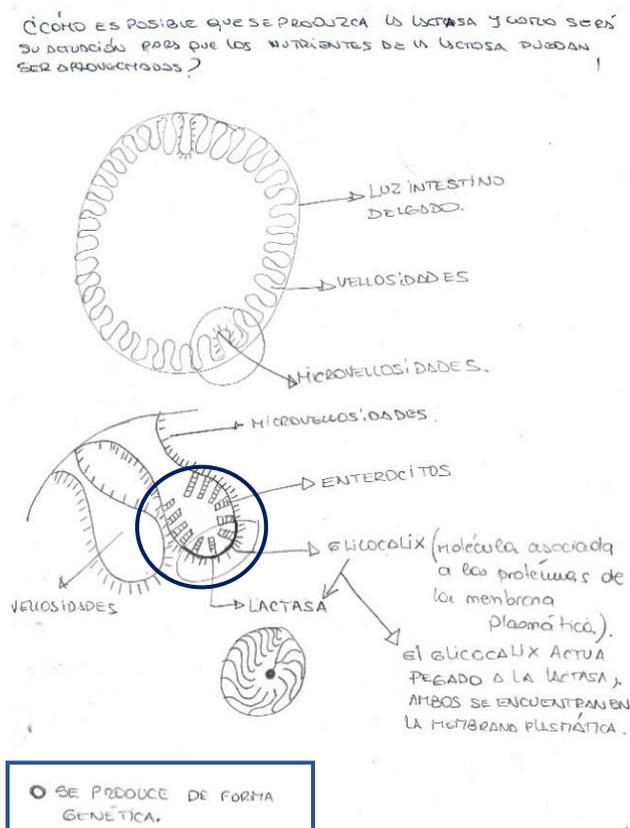
El análisis que a continuación se realiza pretende: identificar cómo una disposición anatómica colabora con interpretar lo funcional, revisar fórmulas para vincularlas con lo funcional, repensar ideas discutidas que cuesta asimilar, evidenciar aquello que no se logró plasmar sobre el papel, y retomar conceptos ya estudiados que parecen generar dudas en un nuevo contexto. En todos los casos se explicitan los intercambios producidos y se analizan cómo las ampliaciones ofrecidas por los estudiantes contribuyen a comprender las explicaciones plasmadas en las representaciones y cómo dichas expansiones pueden favorecer la profundización de conceptos.

Se recuerda la consigna con la que los estudiantes elaboraron sus representaciones: ¿cómo es posible que se produzca la lactasa? y ¿cómo será su actuación para que los nutrientes de la lactosa puedan ser aprovechados? Y también se aclara que, en la segunda implementación de la secuencia, se facilitó la participación de todos los estudiantes en este análisis, al ser distribuido entre ellos la totalidad de representaciones fotocopiadas.

*Identificar cómo una disposición anatómica involucra la comprensión de lo funcional*

La docente propone revisar una representación que se realizó en dos hojas. En la figura 20 (primera parte) las estudiantes incluyen un corte transversal del intestino con marcas que refieren a vellosidades intestinales. Éstas se amplían en un dibujo por debajo del primer corte y en su interior se dibujan enterocitos. En la figura 21 (segunda página de la misma representación) reiteran el corte de las vellosidades ubicando a la lactasa dentro de ellas e inscriben marcas que refieren al accionar de la enzima y a la absorción de nutrientes.

***Figura 20. Representación C-01a***



**Fig. 20.** En el círculo, las marcas que se indican como enterocitos se encuentran dispuestas hacia el interior de lo indicado como vellosidades. Y por fuera de estas últimas hay marcas identificadas como microvellosidades. Y una capa externa es señalada como glicocalix. En el rectángulo: “Se produce de forma genética.”

[Representación C-01a  
Clase: 9-09-2019]

Se elige esta representación porque ofrece pocas posibilidades de interpretar cómo se encuentran dispuestos los enterocitos y el glicocalix (ver círculo en azul dentro de la representación) respecto de la luz intestinal, y por la relación de dichas células con la lactasa. La docente interpreta que los enterocitos se representaron dentro de las vellosidades, sin estar expuestos a la luz intestinal, y desvinculados del glicocalix, superficie que debería estar en contacto con la membrana de dichas células. Esto genera que la docente se pregunte cómo piensan los estudiantes dicha distribución espacial.

Durante el intercambio oral, la docente interroga sobre la disposición de los enterocitos. Las estudiantes relatan que dibujaron las vellosidades intestinales con sus microvellosidades y que a los enterocitos los representaron en forma columnar como lo indica la descripción de uno de los textos. Tal exposición motiva que la docente pregunte primero por la luz intestinal, representada inmediatamente debajo de la consigna (figura

20) y etiquetándose como tal, en lugar de pared intestinal. Bela dice que “la luz está en el centro” y describe los significados de sus marcas de la siguiente manera:

Profesora: ¿En el centro? Quedó la flechita en el borde... Bien. ¿Y esos enterocitos? Ahí parece una columna, pero fraccionada.

Bela: Bueno sí, pero lo dibujamos de esa manera.

Profesora: ¿Y dónde estarían ubicados los enterocitos?

Bela: Nos guiamos del texto. Dentro de las vellosidades, en realidad como no había tanto lugar para dibujar los hicimos encolumnados.

Profesora: Cada columnita tiene rayitas. ¿Cada columna es un enterocito?

Bela: Sí.

Profesora: ¿Y están despegados unos de otros por algún motivo?

Bela: Como el texto no lo aclaraba, a nosotras nos pareció que eran así.

Profesora: ¿Y están del lado de adentro?

Danu: Están en contacto con las vellosidades del intestino.

[Fragmento clase 16-09-2019]

Se recuerda lo que aporta el texto mencionado por las estudiantes dice: “Los enterocitos son células columnares que forman la mayor parte del epitelio prismático simple de la mucosa del intestino” (Molist et al., 2011, p. 3).

Del diálogo anterior podría interpretarse que las estudiantes desconocen la constitución del epitelio intestinal o que la información que el texto ofrece es poco clara para ellas. La docente formula otra pregunta: “¿los enterocitos tienen contacto con el alimento en algún momento?” Las estudiantes solo responden: “para nosotras son así” y “no están en contacto con el alimento”. Esta respuesta ofrece indicios para entender que desconocen la función de las células en cuestión.

Otra pregunta que formula la docente refiere a la frase inscripta en relación con la producción de la enzima (figura 20, ver recuadro en azul). La respuesta brindada por las

estudiantes es que solo escribieron allí lo que el texto aporta: “Se produce genéticamente”. A los efectos de complementar las respuestas ofrecidas en relación a este tema, se revisan los registros de clase durante el momento en el que incluyen marcas al respecto. Las estudiantes se refieren a la producción de lactasa de la siguiente manera:

Danu: Para mí la controlan los genes, así como tenemos ojos, tenemos lactasa.

Bela: Se produce porque está controlado genéticamente. Escribo eso.

Danu: No sé si la palabra es “controlado”.

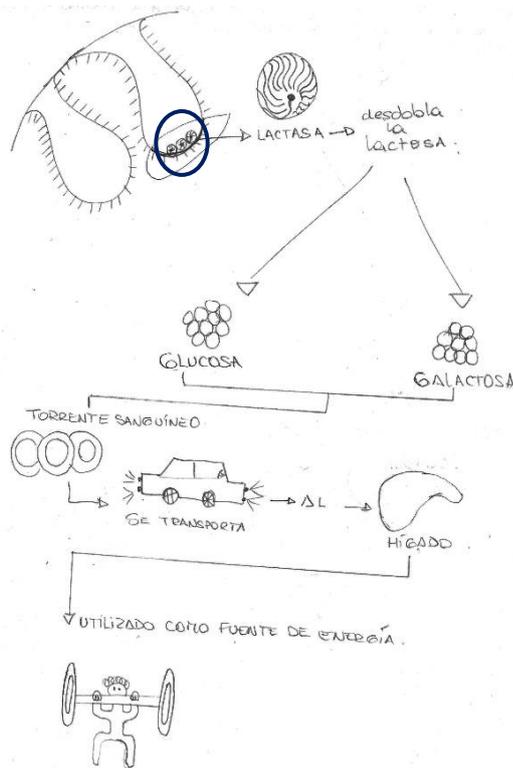
Bela: Se produce...debido a los genes...debido a la información genética.

[Fragmento clase: 9-09-2019]

El diálogo sobre la producción de la lactasa se termina de esa manera, pareciera que solamente pueden repetir lo que el texto aporta sin poder establecer relaciones, por ello, se estima que al representar su preocupación es ubicar a la enzima pegada al glicocalix.

Se continúa la revisión de la segunda hoja de la representación (figura 21). Las estudiantes inscriben marcas que refieren a la lactasa pegada a lo que denominan glicocalix, en el borde de las vellosidades, nuevamente del lado de adentro, e indican que se encarga de degradar a la lactosa.

***Figura 21. Representación C-01b***



**Fig. 21.** En el círculo se identifica las lactasas pegadas a las paredes de las vellosidades del lado interno de las mismas.

[Representación C-01b-Clase: 9-09-2019]

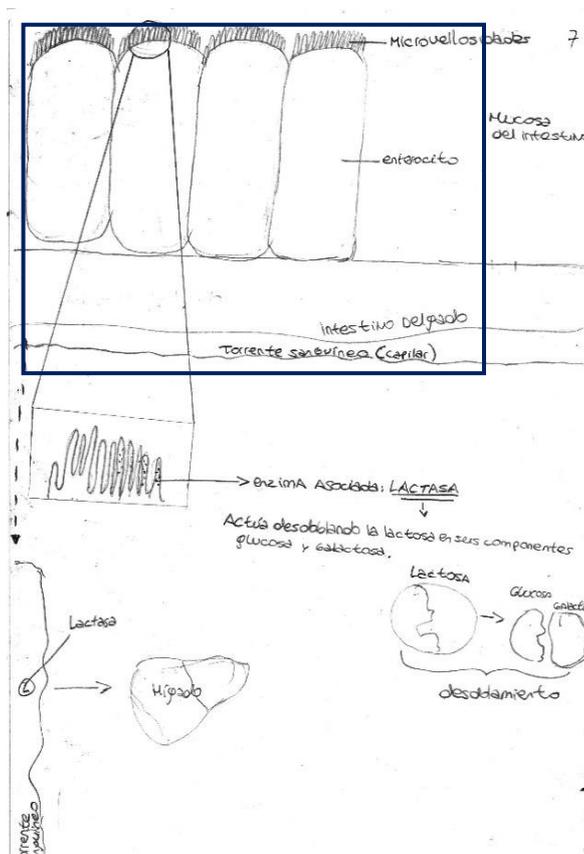
En el mismo lugar donde en la hoja anterior (figura 20) habían representado a los enterocitos, en esta segunda hoja (figura 21) realizan marcas que refieren a la lactasa y al glicocalix, pero sin las células epiteliales. Se pone en evidencia nuevamente que, para las estudiantes, la enzima sólo debe estar relacionada con el glicocalix.

Las ampliaciones y explicaciones ofrecidas por las estudiantes en este intercambio sobre lo representado conducen a pensar que si bien conocen el lugar donde se ubica la enzima para cumplir su función, e identifican el sustrato sobre el cual actúa la lactasa y los productos que de esa reacción se obtienen, pareciera que requieren una explicación adicional sobre la constitución del epitelio intestinal, por lo que se infiere que están lejos de vincular a la lactasa con los enterocitos y más distantes aún de pensar cómo se produce la misma. Ante esta evidencia, identificada gracias al intercambio propuesto, la docente al finalizar el momento de intercambio aclara a la clase lo referido al epitelio intestinal

con la intención que lo anatómico deje de ser una limitación para comenzar a pensar en la producción de la lactasa.

Otro de los intercambios producidos se realizó con los autores de la representación que se observa en la figura 22 donde sucede algo similar al análisis anterior: lo representado se interpone con la posibilidad de comprender lo funcional. En esta oportunidad se revisa la representación mencionada, porque una estudiante, Sandi, que estuvo ausente en la clase en la que se elaboraron las representaciones pregunta sobre el lugar de accionar de la enzima. Sandi comenta su duda: “el desdoblamiento la lactasa en glucosa y galactosa ¿dónde se da entonces? porque no me quedó claro”. La docente interviene preguntando si alguna representación permite observar lo que Sandi demanda y Car propone observar la suya (figura 22).

**Figura 22. Representación C-07**



**Fig. 22.** En el recuadro hay marcas que refieren a enterocitos con sus microvellosidades, debajo un corte longitudinal de intestino y por debajo otro corte longitudinal indicado como torrente sanguíneo (capilar).

[Representación C-07  
Clase 9-09-2019]

Si se observa en la figura 22, lo representado en la parte superior de la hoja (en el recuadro azul) refiere a un grupo de enterocitos y por debajo de ellos otras marcas señalan un corte longitudinal de intestino e inmediatamente después otras se etiquetan como capilar. Debajo del recuadro azul, una ampliación de las microvellosidades permite observar marcas entre ellas que refieren al lugar donde se encuentra la lactasa. Ante la representación compartida, se produce el siguiente diálogo:

Profesora: Bien, ¿qué entendemos? Aquí se ve un zoom de las microvellosidades ¿No? Lo que no sabemos es qué de todo lo dibujado es el intestino, ¿o sí sabemos?

Car: Sí está marcado, abajo dice intestino delgado.

Profesora: Y los enterocitos ¿hacia dónde están dirigidos?

Car: En realidad en el dibujo está como... ¡Claro! no están para el lado de la luz, sino para el lado de afuera. Nos quedó así porque empezamos dibujando arriba.

Profesora: Y acá dice torrente sanguíneo.

Car: Sí.

Profesora: Entonces ¿cómo sería?

Car: Así al revés [muestra la hoja al revés].

Profesora: Si dan vuelta la hoja, no importa para donde lo pongas, pero el intestino con sus vellosidades ¿estarían acá adentro? [En relación a su disposición en el interior del intestino].

Car: Sí.

Profesora: Y por fuera del intestino hay vasos sanguíneos que pasan hacia las vellosidades entonces, ¿dónde estaría la luz del intestino en el dibujo?

Car: Arriba de los enterocitos.

[Fragmento clase 16-09-2019]

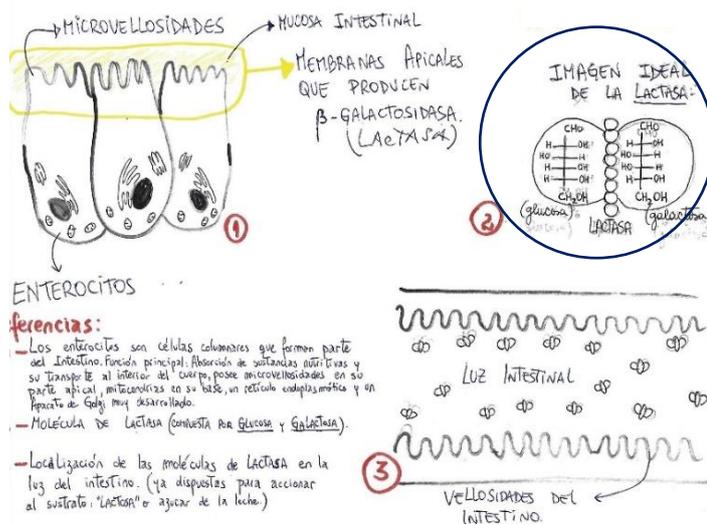
El diálogo posibilita interpretar que Car recién al momento de explicar oralmente lo representado percibe que la disposición espacial de las marcas pictóricas que refieren a los enterocitos se interpone con la posibilidad de distinguir la luz del intestino y de

comprender que por allí circulan alimentos degradados, entre ellos la lactosa. Dicho sustrato al entrar en contacto con la mucosa intestinal sería degradado por la lactasa. Se podría estimar que esta representación no sería la mejor opción para responder a la pregunta de Sandi, sin embargo, cuando Car precisó lo representado en relación con la ubicación de la luz intestinal y la disposición de los enterocitos en la mucosa del epitelio, se logró comprender por donde circula la lactosa y que ese tránsito es lo que le permite tomar contacto con la lactasa. Una vez revisado y aclarado lo figurativo se logró comprender de qué manera se ponen en contacto el sustrato y la enzima para que ésta pueda ejercer su accionar sobre la lactosa.

*Revisar fórmulas representadas para vincularlas con lo funcional*

En la representación de la figura 23, a partir que un estudiante intenta comprender lo que otros incluyeron en su representación, se propone una discusión sobre ciertas marcas que refieren a la constitución química de la enzima e interfieren con el accionar de la misma. La representación mencionada está organizada en cuatro sectores. En uno se incluyen enterocitos; otro sector refiere a la “Imagen ideal de la lactasa” donde se interpretan que inscribieron marcas referidas a dos fórmulas químicas; otro a un corte longitudinal de intestino en el que se incluyen la luz intestinal y las vellosidades; y un último sector con referencias textuales que explican cada uno de los sectores anteriores.

***Figura 23. Representación C-07 -Imagen ideal de la lactasa-***



**Fig. 23.** En el círculo azul se inscriben las fórmulas de glucosa y galactosa bajo el título “Imagen ideal de la lactasa”.

[Representación 9-09-2019]

El intercambio oral surgido en clase parte de una pregunta de Fedi, estudiante ajeno a la elaboración de esta representación, y se entabla con una de las autoras de dicha representación, Nato, y la docente:

Fedi: Me llamó la atención que hayan incluido la composición química que está buena pero no entendí.

Profesora: ¿Es lactasa lo que debería decir ahí?

Nato: Para mí tenía sí, tiene que decir lactasa

Profesora: ¿Lactasa?

Nato: A ver esperá. Sí, porque nosotros pusimos la lactasa y después pusimos la imagen de la molécula porque la estábamos estudiando en química...

Profesora: ¡Ah! Tenían los contenidos frescos, pero lo que no entiendo es: La lactasa ¿es esa sucesión de circulitos en el medio como si fuera el cuerpo de la mariposa?

Nato: No, no, lactasa es todo.

Profesora: ¿Lactasa es todo?

Nato: Lactasa es todo, es la unión de glucosa y galactosa.

[Fragmento clase: 16-09-2019]

Tanto para Fedi como para la docente, la fórmula allí inscripta no pertenece a la lactasa, sin embargo, Nato sostiene que la expresión química incluida está acorde a lo pensado en el momento de plasmarla al papel. Meri, otra estudiante que también se involucra en el diálogo, interpreta de otra forma lo representado: “para mí, la lactasa estaba en el medio de la fórmula de glucosa y galactosa, separando en ese momento a los dos monosacáridos. Nato responde: “puede ser que Alfri (coautor de la representación y ausente en el intercambio oral) haya pensado así y fue lo correcto, sin embargo, cuando nosotros la incluimos en la luz intestinal, hicimos las maripositas enteras y esa es la lactasa”.

Lo expuesto hasta aquí permite interpretar que Nato está convencida de esa inscripción química y que Meri, en su rol de lectora de la representación, le encuentra sentido interpretando que la sucesión de bolitas que se encuentran en el medio de las dos fórmulas (glucosa y galactosa) es la enzima, mientras que a ambos lados se indican los productos obtenidos de su acción. La insistencia de Nato en sostener que la expresión química completa corresponde a la enzima, genera que la docente vuelva a preguntar:

Profesora: A ver, y la lactosa químicamente ¿qué es?

Jesu: Glucosa y galactosa.

Profesora: Está compuesta por glucosa y galactosa, o sea que es un.... ¿Qué es la lactosa?

Dana: Un disacárido.

Profesora: Bien, está formada por glucosa y galactosa ¿eso me están diciendo?

Nato: ¡Ah! ¡Entonces acá es lactosa!!!

Profesora: ¿Entonces qué?

Nato: Entonces esa molécula es lactosa y no lactasa.

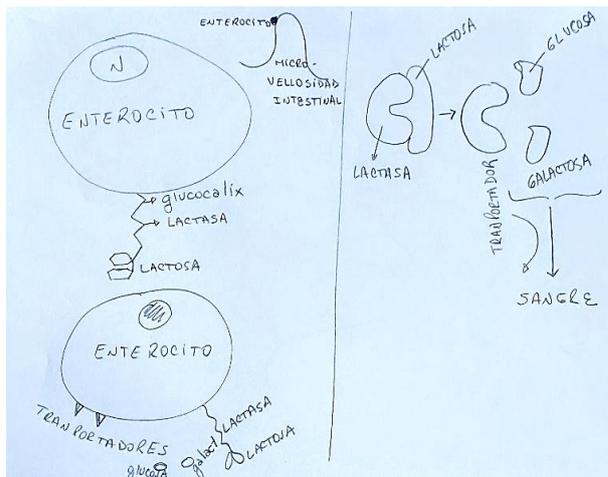
[Fragmento clase: 16-09-2019]

Mas allá de la inscripción de una molécula creyendo que se trataba de otra, se puede estimar que Nato y su compañero Alfri se encuentran al igual que otros transitando una instancia donde hay ideas más estables que otras. En el sector 1 de la representación indican que la lactasa, es producida por las membranas apicales de los enterocitos mientras que en el sector 3 evidencian que la enzima funciona en la luz intestinal. Recién cuando en el grupo clase se revisa lo inscripto, Nato percibe que la etiqueta “lactasa” debería decir lactosa, es decir que, si bien se repara en la diferencia química entre la enzima y el disacárido, aún resta identificar que la enzima actúa adherida a la membrana de los enterocitos y no en la luz intestinal como la representaron. El intercambio de ideas producido genera que todos los estudiantes del curso y no solo Nato comiencen a repensar las ideas volcadas al papel, poniendo en valor la situación de representar como herramienta que permite a partir de lo plasmado sobre el papel, traccionar lo conceptual.

#### *Repensar ideas que cuesta asimilar*

El intercambio producido sobre la representación de la figura 24 es propuesto por la docente, dado que observa la ausencia de referencias sobre la producción de la enzima. La docente recuerda que las autoras de esta representación durante la situación inicial y la de lectura aportaron ideas sobre cómo vincular al material genético con la fisiología de los sistemas. Y que, durante la elaboración de la representación, intervino sugiriendo su inclusión sin que las estudiantes inscribieran marcas al respecto.

**Figura 24. Representación A-15 -Sin referencia a producción de enzima-**



**Fig. 24.** Sin referencias a la producción enzimática. En la mitad izquierda refiere a la ubicación del enterocito en un pliegue del intestino etiquetado como microvellosidad. Debajo un enterocito con la lactasa adherida a la lactosa.

En la mitad derecha de la hoja se amplía la acción enzimática indicando que los monosacáridos pasarían a sangre.

[Representación A-15 Clase 1-10-2018]

Si se observa lo representado, en la mitad izquierda inscriben marcas en el borde superior que dan cuenta de la ubicación del enterocito en la vellosidad intestinal, en la parte central del mismo lado registran marcas que refieren al enterocito, como una célula convencional y en vínculo con la lactasa. En el enterocito que se encuentra debajo se muestran marcas que señalan que la lactosa estando unida a la lactasa se separa en glucosa y galactosa. En la mitad derecha de la hoja se interpreta que representan la acción de la enzima ampliada e indican que los nutrientes obtenidos son acompañados por un transportador a la sangre.

A partir de las marcas incluidas y el pedido de la docente para que comenten lo representado, Silu, una de sus autoras explicita entre otras ideas que el enterocito “tiene un glicocalix que forma a la lactasa”, y Rochi, coautora, aclara inmediatamente que “la enzima sólo está unida al glicocalix”. En ambos argumentos la relación entre la lactasa y el glicocalix es diferente. El primero sostiene que la responsabilidad de producir la enzima está a cargo del glicocalix y el otro que en realidad la enzima simplemente está unida a

él. Esto motiva que la docente continúe preguntando sobre dónde se produce la lactasa.

Las estudiantes responden:

Silu: Y en el intestino, en el núcleo del enterocito....

Rochi: Pero no habíamos llegado a definir exactamente dónde se produce.

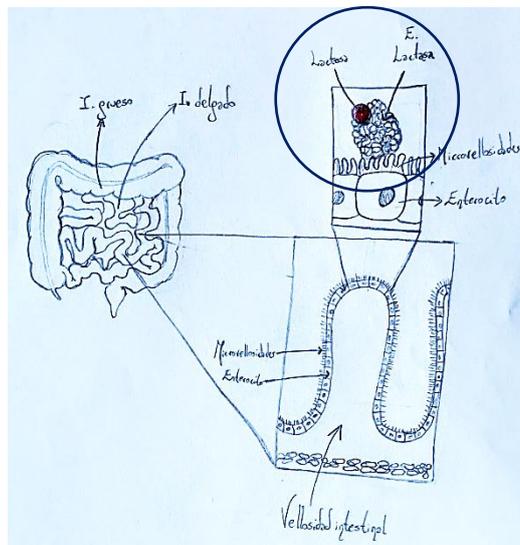
[Fragmento de clase: 8-10-2018]

Nuevamente ofrecen respuestas diferentes. Y, además, la respuesta de Silu difiere de la respuesta anterior. Si se recuperan las ideas aportadas por las estudiantes durante el trabajo didáctico previo, en esa oportunidad, las dos parecían tener muy claro que el funcionamiento celular se distingue por las proteínas que producen y que esa variación es regulada por el ADN. En este momento, se interpreta que a Rochi aún le es difícil desentramar la frase aportada por el texto cuando indica que la enzima se encuentra genéticamente controlada. En cambio, Silu sí puede pensar que el núcleo del enterocito está vinculado con la producción de la enzima, idea que se aproxima más a lo expresado durante el trabajo con el interrogante inicial. Esto posibilitaría inferir que este espacio de intercambio sobre lo representado colabora con comenzar a asimilar una idea que se encuentra en el plano declarativo, que cuesta pensar y que no logró plasmarse sobre el papel.

*Evidenciar aquello que no se logró plasmar sobre el papel*

La representación de la figura 25 es propuesta para su interpretación en clase por parte de la docente, dado que es la única que carece totalmente de referencias sobre el accionar de la enzima. Tampoco cuenta con ideas sobre su producción, pero como esa ausencia se ve reflejada en otras representaciones, sólo la primera es la que atrae la atención de la docente, en este momento. Se representan distintos niveles de organización comenzando por el intestino delgado, sus vellosidades, sus células, hasta llegar al nivel molecular identificando allí a la lactasa en su lugar de acción.

**Figura 25. Representación A-13 -Lactasa-lactosa**



**Fig. 25.** En el círculo se incluyen marcas que representan a la lactasa en relación con la lactosa. Se omite representar función y producción de la enzima.

[Representación A-13 Clase 1-10-2018]

La docente pretende comprender a qué se debió la omisión de incluir alguna explicación respecto a cómo actúa la lactasa cuando la enzima es ubicada correctamente en el lugar de acción. Por tal motivo solicita a sus autoras que describan lo representado. Luchi comenta: “primero hicimos la porción del sistema digestivo que contiene las vellosidades o sea intestino delgado y después le hicimos los enterocitos con sus vellosidades.” Con la intención que la explicitación continúe la docente pregunta:

Profesora: ¿Qué es esta estructura? [En referencia a lo que se encuentra por encima de los enterocitos]

Luchi: Esas son las microvellosidades que tienen los enterocitos.

Profesora: ¿Y la lactasa dónde actúa?

Luchi: Sobre las microvellosidades

Profesora: ¿Y qué otra cosa vemos? ¿El punto rojo qué sería?

Luchi: Sería la lactosa.

Profesora: ¿Y aquí está representada cómo se modifica la lactosa?

Luchi: No, solamente dibujé el sitio activo de la enzima y la lactosa uniéndose a él.

Profesora: ¿Y podemos imaginar qué pasa con esa lactosa?

Luchi: Se modifica.

[Fragmento de clase 8-10-2018]

En este diálogo, Eve, una estudiante ajena a la representación completa lo preguntado por la docente: “la lactasa desdobra a la lactosa degradándola en dos monosacáridos”. El diálogo continúa cuando la docente pregunta si alguna marca refiere a la producción de la lactasa, Luchi lo niega agregando: “creo que en los enterocitos se desarrollaría la lactasa”. El intercambio relatado no permitió dar cuenta si las ideas de las estudiantes respecto al accionar enzimático sufrieron modificaciones entre el momento de representar y este intercambio dado que otra estudiante respondió por las autoras de la representación. Sin embargo, cuando Luchi expresa que supone una vinculación entre enterocitos y lactasa, es posible inferir que la propuesta de trabajar con otro sistema de representación como es la oralidad, contribuye a que las estudiantes puedan continuar ampliando los conceptos propuestos en la enseñanza.

*Retomar conceptos ya estudiados que parecen generar dudas en un nuevo contexto*

Los intercambios sobre cierta representación constituyen una oportunidad para que la docente pueda intervenir retomando un concepto estudiado previamente y que advirtió que en este nuevo contexto genera dudas. Este es el caso del concepto de degradación que surge durante la explicación de significados de los estudiantes que elaboraron la representación de figura 23. La docente pregunta: “¿de qué proceso hablamos cuando decimos que está participando una enzima?”:

Dana: Una degradación enzimática.

Profesora: Bien, y ¿qué es degradar?

Jesu: Síntesis.

Profesora: ¿Se está sintetizando algo nuevo?

Car: No.

Fedi: Es la digestión.

Profesora: Digestión, ¿de qué tipo de digestión?

(Silencio)

Car: Absorción.

Profesora: Digestión y absorción ¿es lo mismo?

(se hace silencio)

Fedi: No, la digestión es partir, digerir, degradar.

Eris: Está simplificando.

Fedi: Y la absorción es absorber eso que se degradó.

Jesu: La absorción viene después.

[Fragmento clase 16-09-2019]

La experiencia docente permite anticipar que algunos términos ofrecen dificultades cuando se trata de entender procesos metabólicos. Este es el caso de sintetizar, dado que en la disciplina se utiliza una acepción diferente a otras, y de degradar, que por ser una acción opuesta a la anterior también suele dificultarse su interpretación. En el fragmento transcripto, ante la primera respuesta de Dana, la docente podría haber considerado que era suficiente para cambiar de tema, sin embargo, eso no sucede y continúa preguntando. Car que parecía tener en claro la diferencia entre sintetizar y degradar, cuando la profesora pregunta sobre el tipo de digestión en el que participan las enzimas (esperando por respuesta digestión química) responde “absorción”. Se podría estimar que Car, con su respuesta se refiere a la función del sistema digestivo donde se incluyen tanto digestión como absorción, pero de los registros es imposible asegurar que sea así. Los silencios que

se producen en clase y la respuesta de Jesu que vincula la degradación con la síntesis, son motivos suficientes para sostener que este diálogo permitió retomar un concepto que fuera estudiado con anterioridad. La nueva contextualización ofrece un espacio para que aquellos estudiantes que aún no vinculan la acción de degradar con la digestión química puedan acceder a pensarla y diferenciarla del término sintetizar. Se estima que detenerse en el accionar de una enzima en particular permite volver sobre la fisiología del sistema digestivo, identificar en cuál de sus funciones esa enzima participa y revisar el concepto de degradación aplicado a la misma.

### **La interrelación entre lo representado y lo conceptual**

Durante el intercambio producido a partir de la propuesta de revisar las representaciones en clase se posibilitó que se ampliara lo representado, se explicitaran significados que no pudieron inferirse con la simple observación y se analizara la existencia de una interrelación entre lo figurativo y lo conceptual.

En relación con ampliar las ideas plasmadas sobre el papel se considera que la propuesta ofreció un espacio más para reorganizar ideas y que el intercambio oral permitió la discusión de las explicaciones allí plasmadas favoreciendo el aprendizaje (Espinoza et al., 2010). En concordancia con los aportes de Martí (2003) y Vosniadou (2013), durante esta situación de enseñanza se puso de manifiesto que las representaciones externas no son una mera transcripción de las representaciones internas, sino que existe entre ellas un inter-juego, por lo que para interpretar lo plasmado sobre el papel se requirió que sus autores lo expandieran y comunicaran en la oralidad.

Sosteniendo los aportes de Martí (2003), la propuesta de este intercambio permitió que los estudiantes comenzaran a entender que con simplemente observar lo representado no

se asegura su interpretación, que las representaciones no hablan por sí solas, y que para ello es necesario conocer los significados involucrados en su elaboración. Por lo que esta situación de enseñanza y la de representar pretendieron, además de enseñar cómo se vincula la fisiología y el material genético, que los estudiantes pudieran aprender el uso de las herramientas representacionales.

Y en cuanto a que lo figurativo posibilita una discusión sobre lo conceptual, se reafirma el valor de lo representacional. Por ejemplo, en este análisis se infirió que si se logra ubicar a la lactasa sobre los enterocitos e identificar que es allí donde cumple su acción enzimática, se facilitaría concebir que existe una relación entre estas células y la producción de la enzima.

En el capítulo siguiente, se analizan las situaciones de enseñanza en las que los estudiantes se aproximan a las explicaciones que la ciencia aporta.

## *Capítulo 8*

### *La apropiación de las ideas científicas*

---

#### **Introducción**

El análisis del capítulo anterior destacó que los estudiantes, al volver sobre lo representado, comienzan a advertir que lo figurativo no comunica por sí mismo, que la configuración espacial de las marcas posee significación (por ej., interpretar la función de los enterocitos se vincula con la disposición en que son representados en el intestino), que el lector repone sobre la imagen lo que sabe del tema, y que cuando las representaciones buscan dar cuenta de lo que se está pensando y ese conocimiento aún no se encuentra consensuado en el grupo clase, requiere de una interacción con los autores para ampliar y explicitar significados.

Una de las hipótesis planteadas en esta investigación refiere a que la elaboración de las representaciones colabora con la interpretación de imágenes convencionales. Se parte de suponer que cuando los estudiantes las enfrentan, luego de elaborar las propias, aprenden a reconocer el entramado existente entre lo figurativo y lo conceptual, y a tomar la imagen como objeto de interpretación. En consonancia con ello, en esta secuencia se propone la observación e interpretación de representaciones convencionales en el contexto de lectura de un texto que aporta las explicaciones de la ciencia. La situación de lectura permite a los estudiantes conocer las conceptualizaciones aceptadas y compartidas por una comunidad científica, pretendiendo que las puedan hacer propias como nuevas maneras de ver pensar y explicar el fenómeno estudiado.

En este capítulo se analiza cómo se presenta el trabajo con lo representacional en las situaciones de enseñanza en las que se propone que los estudiantes accedan y reelaboren los conocimientos aceptados en la Biología sobre la síntesis proteica. Las propuestas de enseñanza que permiten dicho análisis consisten en la lectura de un texto expositivo, cuyo abordaje en la clase supone interrumpir el texto para analizar una video-simulación y otras imágenes convencionales que circulan en el área sobre la síntesis de proteínas, y en la propuesta de elaboración de un breve escrito en el que los estudiantes ofrecen respuestas al interrogante inicial: la relación entre el material genético y la fisiología orgánica.

### **La representación convencional en el contexto de un texto expositivo**

En este apartado se focaliza el análisis sobre la interpretación de imágenes convencionales durante la lectura de un texto expositivo (ver Anexo III). Los estudiantes llegan a esta situación con algunos interrogantes sobre: la forma en que el ADN controla la fisiología, la manera en que se vinculan los genes con las proteínas, y cómo se produce la lactasa. Se estima que el trabajo didáctico desarrollado durante la secuencia condujo a la formulación de dudas y a que se instalara un propósito lector (Espinoza et al., 2009), lo que genera que la lectura se realice para encontrar respuestas a dichos interrogantes y no sólo para cumplir con el pedido de la docente.

El texto que leen los estudiantes en clase, titulado “¿Cómo fluye la información desde los genes hasta las proteínas?” (Sadava et al., 2012, p. 260), retoma las hipótesis propuestas por Crick para entender el lugar que ocupa la información genética en la síntesis de proteínas apelando a la molécula de ARN. Su lectura se realiza de manera individual, y luego la docente propone una lectura colectiva retomando párrafos para colaborar con la interpretación, ampliar cuando es necesario las explicaciones proporcionadas por el texto,

o saliendo de la lectura para recurrir otra propuesta observando e interpretando imágenes convencionales. Estas representaciones tradicionales de uso habitual en la enseñanza de las ciencias remiten al dogma central de la Biología (imagen del texto), la estructura de la molécula de ARN, y las etapas de transcripción y traducción (imágenes proporcionadas por la docente). Se pretende que los estudiantes comiencen a concebir la importancia del ARN y su papel en la síntesis de proteínas, que las representaciones son objeto de estudio, que la disposición de sus marcas aporta significado, y que puedan reconocer el entrelazamiento entre lo figurativo y lo conceptual.

Cuando se leen los dos primeros párrafos referidos a la relación funcional entre el ADN y las proteínas, los estudiantes preguntan por la molécula de ARN, quieren saber si “sale del núcleo.” Este interrogante remite a una idea recurrente entre los estudiantes, relevada en las entrevistas clínico didácticas cuando refieren a esta molécula se encuentra de manera permanente en el núcleo. El párrafo leído fue el siguiente:

“Esto lo llevó a proponer lo que denominó el dogma central de la Biología molecular, según el cual -explicado de manera simple- el ADN tienen la información para la producción de ARN, el ARN codifica la producción de proteínas (más exactamente, polipéptidos) y las proteínas no codifican la producción de proteínas, ARN o ADN. En palabras de Crick, una vez que la información pasó a las proteínas no puede salir nuevamente.”  
(Sadava et al., 2012, p. 260)

La docente con la intención de conocer su interpretación retoma la última frase: “una vez que la información pasó a las proteínas no vuelve”. Nato responde “el ARN se copia en el núcleo y del gen a las proteínas.” En el diálogo que sigue la profesora amplía esta idea apoyándose en la imagen convencional sobre el dogma central (figura 4, p. 82) que el texto incluye.

Profesora: ¿El gen sale del núcleo?

Nato: Sí, lo lleva el ARN hasta la proteína y la proteína lo lleva hasta la célula.

Profesora: En el primer bocadillo<sup>3</sup> de la imagen que aporta el texto dice: “la información codificada en la secuencia de bases nucleotídicas en el DNA pasa a la secuencia de bases nucleotídicas en el RNA.”

Nato: Sí.

Profesora: ¿Eso significa que la información genética sale del núcleo?

(silencio)

Profesora: ¿El ADN está en el núcleo?

Nato: Sí.

Profesora: Y el ARN ¿está todo el tiempo en el núcleo?

Nato: No. Entra y sale.

Profesora: ¿Está dentro del núcleo y sale? Pero, vos recién planteaste que los genes salen del núcleo.

Jesu: Para mí no salen del núcleo, se transcriben dentro del núcleo y es el ARN el que sale.

Profesora: O sea, la información genética sale del núcleo como ARN y esa información se utiliza para...

Enri: Para formar polipéptidos.

[Fragmento de clase: 16-09-2019]

El diálogo que podría parecer innecesario si la docente hubiera aceptado la primera respuesta de Nato, permite constatar la idea sobre la permanencia del ARN en la célula.

El silencio de la clase ante la segunda pregunta de la docente, reafirma la pertinencia de reflexionar sobre esta idea. Pareciera que, en un proceso tan abstracto y complejo, la participación de una molécula que carece de estabilidad permanente (ARN) en la célula,

---

<sup>3</sup> El término bocadillo se refiere al espacio circundado por una línea en el que se contienen las palabras o pensamientos de un personaje en dibujos, caricaturas, chistes gráficos, grabados, etc. Real Academia Española: Diccionario de la lengua española, 23.<sup>a</sup> ed., [versión 23.4 en línea]. Recuperado de <https://dle.rae.es> [1/09/2020].

que tiene que ser sintetizada cada vez que un gen se expresa, es casi una contradicción en relación con el papel trascendente que la misma ejerce. Por lo tanto, podría interpretarse que es difícil imaginarse una molécula que por momentos no exista. En este diálogo, los estudiantes comienzan a inferir cómo es que fluye la información genética desde el núcleo hacia el citoplasma, lo que abre la posibilidad de preguntarse por otras especificidades como la forma en que se sintetiza el ARN. Se estima que la imagen convencional (figura 4, p. 82) puede ser fácilmente interpretada por los conocedores del tema, sin embargo, para Nato la inscripción que se encuentra en el primer bocadillo aún encierra conceptos que parecen distantes. La docente procura que los estudiantes lean el texto incluyendo las imágenes y no salteándose las -práctica habitual en los estudiantes del nivel- enseñando un modelo de lectura propio del área.

*Salir y volver al texto con lo representacional*

A leer el fragmento del texto que refiere a la *hipótesis del mensajero* propuesta por Crick, se les propone a los estudiantes comenzar a preguntarse por “el momento en que se forma el ARN” asociándolo a contenidos ya estudiados:

“Una molécula de RNA se forma como copia complementaria de una cadena de DNA de un gen particular. Este RNA mensajero, o mRNA, viaja del núcleo al citoplasma donde actúa como molde para la síntesis de proteínas en los ribosomas. El proceso por el cual se forma este RNA se llama transcripción” (Sadava et al., 2012, p. 260).

La docente repara en la primera frase del fragmento: “una molécula de ARN se forma como copia complementaria de una cadena de ADN” y pregunta sobre su interpretación: “¿qué entendemos?” Vali responde “que se forma, que no está hecha.” Feri agrega: “que

se forma pero que se cambia la base nitrogenada que habíamos hablado anteriormente.”<sup>4</sup>

Estas respuestas sustentan la idea que el ARN se forma cada vez que la célula necesita producir proteínas, pero sin detallar cómo se sintetiza por lo que la docente propone otra situación didáctica, observar una video-simulación (p. 83) convencional sobre esa etapa, considerando que colabora con la comprensión de lo que el texto informa. Dichas imágenes solo se observan durante los primeros 01:39 minutos sin audio, y se reitera en tres oportunidades. La docente detiene su reproducción en distintos momentos. Los estudiantes primero identifican cada una de las moléculas participantes y luego comienzan a formular preguntas sobre cómo se realiza la transcripción. Lo observado dista de ser un simple movimiento de figuras, sino que cada estudiante lo interpreta desde sus conceptualizaciones y la información que aporta el texto, generando interrogantes que dan cuenta de cómo se intentan apropiarse del contenido, tal como se puede leer en el siguiente diálogo:

Danu: El uracilo ¿de dónde sale?

Profesora: Volvamos a ver el video. Observen que en el núcleo hay materia prima para poder armar ARN. Los nucleótidos de ARN provienen de los alimentos, o de algún otro ARN degradado y se reutiliza como materia prima para esta nueva síntesis.

(Se proyecta nuevamente).

Fedi: O sea que la materia prima está en el núcleo y en ese momento se forma.

Car: Una vez que se formó el ARN y sale al citoplasma ¿la cadena de ADN se vuelve a unir?

Profesora: Sí, vuelve a su estado natural.

[Fragmento de clase 16-09-2019].

---

<sup>4</sup> Feri se refiere a que el texto comienza diferenciando las moléculas que integran ADN y ARN.

La pregunta que inicia este diálogo se refiere a una de las moléculas que compone el ARN, el uracilo -base nitrogenada propia de este ácido nucleico-. Se podría estimar que Danu sólo acepta la presencia en el núcleo de las otras tres bases nitrogenadas -adenina, guanina y citosina- que conforman ambos ácidos nucleicos, y se pregunta de dónde proviene la que es única del ARN. Nótese, también, que en el diálogo surge nuevamente la idea de permanencia de la molécula de ARN, solo que en esta oportunidad Fedi parece confirmar este hecho en lugar de cuestionarlo. Y Car necesita confirmar aquello que la video-simulación omite.

Esto conduce a sostener que las imágenes no portan significación en sí mismas sino en un determinado contexto. En el capítulo anterior, las situaciones analizadas permitieron dar cuenta cómo los estudiantes comenzaron a entender que interpretar lo representado requería de la explicitación de significados y de ampliaciones a cargo de los autores. Y en este capítulo, se analiza como los estudiantes replican la misma práctica para interpretar las representaciones convencionales estableciendo relaciones entre las discusiones sostenidas a lo largo de la secuencia y la información brindada por el texto expositivo. Además, se concibe la necesidad de enseñar esta práctica, ya que quienes se encuentran en formación, no suelen contar con este tipo de ejercicio de vincular imagen y contexto resignificándola.

La salida del texto (Acevedo et al., 2019; Castronuovo y Acevedo, en prensa; Espinoza et al., 2020) propone interrumpir la lectura sobre el papel del ARNm en la síntesis de proteínas ofreciendo una nueva situación de enseñanza consistente en la observación de una video-simulación sobre la transcripción. Las intervenciones de la docente procuran que se establezca vínculo entre la lectura y lo observado en las imágenes a través de intercambios orales, y en ese contexto expande y completa con las explicaciones necesarias.

Con la intención de completar las etapas de la síntesis, se retoma otro fragmento que refiere a la hipótesis del adaptador donde se plantea la función del ARNt en este proceso:

“[...] Crick, propuso la hipótesis del adaptador: debe haber una molécula adaptadora que puede unirse a un aminoácido específico y reconocer una secuencia de nucleótidos. Imaginó tales adaptadores como moléculas con dos regiones, una que sirve a la función de unión y la otra, a la función de reconocimiento. A su debido tiempo, se encontraron tales moléculas adaptadoras, que en la actualidad se conocen como RNA de transferencia o tRNA. Debido a que reconocen el mensaje genético del mRNA y simultáneamente transportan aminoácidos específicos, los tRNA pueden traducir el lenguaje del DNA al lenguaje de las proteínas. Los adaptadores de tRNA, que llevan aminoácidos unidos se alinean sobre la secuencia de mRNA de forma tal que los aminoácidos se encuentran en la secuencia apropiada para una cadena polipeptídica en crecimiento, un proceso denominado traducción.” (Sadava et al., 2012, p. 260)

La docente interpreta que la descripción de las moléculas adaptadoras es insuficiente para comprender su participación en la última etapa de la síntesis, por lo que, apoyada en una imagen convencional, vuelve a interrumpir la lectura, para en esta oportunidad brindar precisiones sobre la molécula de ARNt (figura 5, p. 84).

Esta intervención de la docente colabora con que los estudiantes identifiquen cómo participa cada extremo de la molécula en la síntesis de proteínas. La docente explica que el extremo inferior, representado con tres bases nitrogenadas, denominado anticodón es el que le posibilita acoplarse al triplete del ARNm denominado codón. Y el extremo superior, que en la imagen se observa adherido a un aminoácido, permite comprender que el ARNt se encarga de trasladarlo hacia el ribosoma en el orden que el ARNm lo

determina. La explicación de la docente colabora a que interpreten el papel de esta molécula en la traducción, que es la siguiente etapa a estudiar.

Se retoma la última frase del fragmento: “Los adaptadores de tRNA, que llevan aminoácidos unidos se alinean sobre la secuencia de mRNA de forma tal que los aminoácidos se encuentran en la secuencia apropiada para una cadena polipeptídica en crecimiento, un proceso denominado traducción.” (Sadava et al., 2012, p. 260), con la intención de colaborar con la interpretación de lo leído y se proponer observar una nueva imagen convencional (figura 6, p. 86).

La intervención de la docente procura que primero los estudiantes describan las estructuras que reconocen (núcleo, poros de la envoltura nuclear, ARN y ribosomas) y luego indaga sobre lo observado, por ejemplo: “¿cómo llegó el ARN al citoplasma?”, “¿con quién se une el ARNm?”, “¿dónde están los aminoácidos?”, entre otras preguntas. El intercambio de ideas conduce a que los estudiantes formulen preguntas, por ejemplo, Lele cuestiona: “¿el ribosoma protege al ARNm?” La docente responde que en esta organela se producirá la unión entre el ARNm y el ARNt por su codón y anticodón respectivamente. Rene busca representarse espacialmente a los aminoácidos, “¿dónde están? ¿suelos en el citoplasma?”. Si bien estas preguntas posibilitan revisar con el grupo clase, conceptos ya estudiados sobre digestión, absorción y transporte de nutrientes logrando dar respuesta a lo solicitado, es posible interpretar estos intercambios orales como un indicio de apropiación de las ideas científicas por parte de los estudiantes. La interacción texto-imagen generada en la clase otorga la posibilidad de aprender que lo figurativo colabora con la interpretación de lo conceptual. La apropiación de las imágenes convencionales como objeto y herramienta de aprendizaje adquieren significación cuando se encuentran dentro del contexto de la lectura del texto expositivo y requiere de un trabajo didáctico que permita interpretarlas.

*Volver sobre el problema inicial a partir de la lectura*

La secuencia se inició con el planteo de un interrogante inicial: ¿cómo es posible de vincular el material genético con la funcionalidad de los sistemas y cómo se entiende dicha relación? En ese comienzo se esperaba que los estudiantes estuvieran lejos de poder establecer relaciones conceptuales y dar respuesta a dicho interrogante. Las condiciones en la que se planteó el trabajo con lo representacional contribuyeron a que los estudiantes al finalizar la lectura del texto expositivo, puedan retomar dicho interrogante y producir nuevas reflexiones. Se establecieron así, relaciones entre la información genética, la fisiología orgánica y la síntesis de proteínas, tal como puede apreciarse en el siguiente diálogo.

Profesora: Sabemos que la información que está en el núcleo no puede salir del núcleo. Para salir del núcleo ¿qué hace?

Rochi: El ARN mensajero copia una porción del gen.

Profesora: Bien, una porción de ADN es transcripto.

Lele: Se copian porciones específicas para acciones específicas.

Profesora: ¡Muy bien! “Porciones específicas” para generar una proteína específica. Antes hablábamos de que el gen se expresa, pero recién ahora podemos pensar en que parte de ese ADN se va a copiar, se va a transcribir en un ARN, ¿y ese ARN para qué será usado?

Anís: Para formar una proteína.

[Fragmento de clase: 8-10-2018]

La participación de Lele en este diálogo permite interpretar que los estudiantes conciben, en este momento de la secuencia didáctica, que la información genética se vincula con “acciones específicas”, producen ciertas proteínas y no otras. Jesu a través de una pregunta también expresa vinculaciones esperadas:

Jesu: Cuando en el texto se refiere a “la expresión de los genes” es ¿cuándo se unen el ARNt y el ARNm o al finalizar la síntesis?

Profesora: ¿Cómo entendemos que un gen se exprese? Primero el gen se transcribe ¿puedo hacer algo con ese gen transcrito? ¿me sirve con solo transcribirlo? No, a ese gen transcrito le tiene que suceder la traducción, es decir que respondiendo al orden de esa secuencia de nucleótidos le corresponde una secuencia específica de aminoácidos y no otros.

Jesu: Entonces cuando tenemos un gen de pelo castaño....

Profesora: Lo que deberíamos decir es que ese gen codifica para una proteína que será la que brinde el color castaño.

[Fragmento de clase: 16-09-2019]

La pregunta formulada por Jesu da por sentado que el material genético es el responsable de la síntesis de proteínas, aunque necesita corroborar si la frase “un gen se expresa” se refiere sólo al momento de transcripción, o a la transcripción y a la traducción juntas, lo que indica que dicha frase adquiere sentido para ella. Los estudiantes se apropian del contenido síntesis de proteínas desde el enfoque propuesto, interpretando la vinculación entre el material genético y la fisiología.

### **La escritura en el proceso de apropiaciones de saberes**

El pedido de elaborar producciones escritas pretende ofrecer una nueva instancia de reorganizar ideas y que respondan al problema planteado al inicio de la secuencia didáctica. Para su preparación los estudiantes cuentan con las nuevas reflexiones alcanzadas en la situación de lectura, las representaciones elaboradas, el análisis del caso de estudio y las discusiones que surgieron a lo largo del trabajo en clase. La propuesta consiste en la producción de un escrito breve que los estudiantes elaboran en parejas.

En la primera puesta en aula los estudiantes elaboraron sus escritos bajo la consigna: “Explicar en un fragmento breve de qué manera se produce y cómo funciona la lactasa”.

Al analizar esas producciones se observó que la mayoría de las explicaciones priorizaban las etapas de la síntesis, por lo que en la segunda implementación se reformuló la consigna a: “Elaborar un escrito breve que, de cuenta de la relación entre el material genético y la fisiología de los sistemas, tomando como insumo los textos leídos, las representaciones, las imágenes explicadas y los apuntes de las explicaciones ofrecidas.” El ajuste permitió que en más escritos se observara cómo los estudiantes retomaron el caso de estudio para explicar las vinculaciones entre la síntesis, el material genético y la fisiología.

Las ideas expresadas en los escritos de ambas implementaciones, permiten distinguir explicaciones sobre el caso de estudio en relación con la ubicación, el lugar de acción, el accionar y la producción de la lactasa. Se puede observar que los estudiantes también incluyen otras reflexiones que generalizan lo estudiado sobre la lactasa para pasar a considerar el papel de diferentes proteínas en la fisiología orgánica. Estas ideas se sistematizan en dos tablas, la primera sobre la lactasa (tabla 8) respecto de dónde funciona, quién y cómo se produce, y la segunda (tabla 9) con ideas que explican la síntesis de proteínas en relación con lo fisiológico.

**Tabla 8. Las ideas escritas en relación con la lactasa**

Aspectos		Ideas expresadas en los escritos producidos por los estudiantes
La enzima lactasa	¿Dónde funciona?	La lactasa se encuentra en mucosa intestinal. // La lactasa queda depositada del lado de afuera de los enterocitos, en sus microvellosidades. // En el intestino delgado, en las microvellosidades.
	¿Quién la produce?	La lactasa es una enzima producida por células especializadas llamadas enterocitos. // El material genético de todas las células del cuerpo realiza síntesis de proteínas y el fenotipo puede ser ejemplo de esto. // Las células poseen en su código genético información necesaria para producir las proteínas específicas que necesite. // Las células están constantemente sintetizando proteínas.

	¿Cómo se produce?	<p>La lactasa es una proteína que se produce por síntesis de proteínas a través de la transcripción y traducción. // En el núcleo de los enterocitos se forma el ARN como copia de la cadena de ADN. // El ARNm viaja del núcleo al citoplasma donde actúa como molde para la síntesis de proteínas. // El ARNm se une al ARNt con un aminoácido, se unen todos los aminoácidos y se forma polipéptido. // La formación de la lactasa (proteína) está mediada por la expresión de un gen que se transcribe en ARNm. // Las moléculas de ARNt traducen la información genética del ARN a la correspondiente secuencia de aminoácidos de un polipéptido. // El ribosoma forma un complejo con el ARNm que se arma para la síntesis.</p>
--	-------------------	---

Las ideas transcriptas en la tabla 8 se refieren a la lactasa. En cuanto al lugar donde actúa, los estudiantes precisan en los escritos que la enzima actúa pegada a la mucosa del intestino, a los enterocitos o a sus microvellosidades. Esto permite distinguir que hubo modificaciones de ideas -tal como se muestra en el Capítulo 5- respecto de algunas representaciones modélicas en las que la lactasa actuaba en la luz intestinal. En relación con quién produce la enzima, en muchos de los escritos se señala que está a cargo de células, y aunque no todos aseguran que esas células son enterocitos. Si se compara estas ideas con algunas representaciones modélicas, en esta instancia se deja de responsabilizar a estructuras como la mucosa intestinal, o el intestino. En referencia a cómo se produce la enzima, todos los escritos remiten a las etapas de la síntesis de proteínas, en contraste con algunas representaciones en las que se evitó incluir este aspecto, o con otras que lo incluyeron representando simplemente vínculos entre el núcleo celular o el ADN y la enzima. Este aspecto muestra una evolución conceptual más notoria.

Nótese que en la tabla se excluyen explicaciones sobre el accionar enzimático. Tal decisión responde a que todas las ideas plasmadas sobre el tema son coincidentes: la lactasa degrada a la lactosa obteniéndose como resultado glucosa y galactosa. Cuando se

compara esta idea con lo representado modélicamente, es posible destacar que la misma se mantuvo casi sin variaciones, lo que permitiría señalar que se trata de un conocimiento asimilado. Las diferencias enunciadas sobre las conceptualizaciones alcanzadas entre la situación de escritura y la situación de elaborar representaciones modélicas permiten poner de manifiesto que las conceptualizaciones de los estudiantes se modificaron y profundizaron.

Otras de las ideas que los estudiantes vuelcan en los escritos, sistematizadas en la tabla 9, refieren a sus reflexiones sobre cómo la síntesis de proteínas se vincula tanto con el material genético como con la fisiología del organismo.

**Tabla 9. Las explicaciones sobre la síntesis de proteínas en relación con el interrogante inicial**

Aspectos	Ideas expresadas en los textos producidos por los estudiantes
¿Cómo se vincula ADN, proteínas y fisiología?	El cuerpo produce lactasa cuando tiene necesidad de ella. // El funcionamiento de los sistemas está determinado por el ADN. // La fisiología está determinada por el ADN a través del silenciamiento o no de los genes. // Cuando la heterocromatina se abre a la transcripción se realiza el proceso explicado por el dogma central. // La expresión del genoma depende de la necesidad específica del sistema. // El material genético es vital ya que interviene en el proceso de síntesis de las que dependen todos los sistemas. // La relación entre el ADN y los sistemas es directamente proporcional a la creación de proteínas que ocurre en todas las células del cuerpo. //En el ADN se encuentran las instrucciones para que cada sistema pueda realizar funciones esenciales para la vida.

Las ideas expresadas en la tabla 9, muestran que los estudiantes recuperan contenidos estudiados anteriormente y los ponen en relación con lo trabajado a lo largo de la secuencia. Entre los argumentos expuestos sobre la vinculación entre síntesis de proteínas, fisiología y material orgánico, se puede identificar que algunos explicitan que

el ADN determina el funcionamiento de los sistemas, otros que los genes activos son responsables de la síntesis de proteínas y otros que la síntesis depende tanto del ADN como de las necesidades del organismo. Estas explicaciones permiten reconocer cómo los estudiantes, en esta instancia cuentan con otras conceptualizaciones para dar respuesta al interrogante inicial, a diferencia del momento en que se comenzó con esta secuencia didáctica. A continuación, se transcriben tres escritos, que permiten dar cuenta de dicha evolución.

“La lactasa se forma en el enterocito, es una proteína, y como toda proteína su formación estará mediada por la expresión de un gen, el cual deberá ser transcrito por el ARNm y luego fuera del núcleo será traducido por el ARNt, formándose así la unión peptídica de los aminoácidos que darán origen a dicha proteína, cuya función será la degradación del disacárido lactosa en glucosa y galactosa.” [Texto de estudiantes a cargo representación A-15 Clase 15-10-2018]

Se observa en el escrito anterior como los estudiantes explican la síntesis de proteínas e incluyen la enzima involucrada en el caso de estudio. La idea que la enzima es producida por una célula específica y para una acción determinada está puesta en relación con las etapas del proceso.

Otra de las producciones de los estudiantes, explica:

“El funcionamiento de los sistemas está predeterminado en el ADN (material genético) el cual se encuentra en el núcleo de las células. Esta información saldrá del núcleo donde se realizó la transcripción al ARNm, luego en el citoplasma se dará la traducción del mismo con el ARNm, ARNt y ribosoma, donde se forman cadenas polipeptídicas (síntesis de proteínas). Por ejemplo, una proteína enzimática (lactasa) que actúa en el intestino delgado desdoblado disacáridos, los cuales serán finalmente utilizados como fuente de energía. En este ejemplo, damos cuenta que el funcionamiento de la misma ha sido determinado por el ARN, cuya función principal es la transmisión del material genético. Así como será

dado en el resto de los sistemas, ya sean glándulas, tejidos, órganos, proteínas.” [Texto de estudiantes a cargo representación C-07 Clase 23-09-2019]

Los estudiantes muestran cómo en esta instancia, pueden fundamentar aquellas primeras discusiones producidas en torno a la situación inicial cuando en su momento responsabilizaban sólo al ADN de ser la molécula con poder controlador y sin argumentos que lo sostuvieran. Esto revela que la propuesta de enseñanza donde se priorizó el trabajo con representaciones modélicas promovió que los estudiantes reflexionaran sobre el interrogante inicial modificando las conceptualizaciones movilizadas oportunamente.

En otras producciones, con algunas variantes, también se observa lo comentado en el anterior:

“La relación de la fisiología con el material genético es que el segundo va a determinar su funcionamiento a través del silenciamiento o no de sus genes que pueden estar dado por una heterocromatina facultativa que puede abrirse a la transcripción o no, en el caso de que si se abra se puede realizar el proceso explicado a través del dogma central.” [Texto de estudiantes a cargo representación C-08 Clase 23-09-2019]

En este último escrito, las estudiantes también precisan la vinculación esperada recuperando y relacionando, de manera distintiva a otras producciones, conceptos como el de heterocromatina, estudiado antes de abordar la síntesis de proteínas. Se podría inferir que consideran a la fisiología de los sistemas (tema que también fue estudiado anteriormente) como dependiente de la expresión de los genes activos, quienes a su vez son responsables de la síntesis de las proteínas necesarias en cada caso.

Las producciones escritas permiten identificar que los estudiantes, luego del trabajo didáctico realizado, interpretaron las conceptualizaciones que la ciencia ofrece y apropiándose de ellas, las pusieron en juego para elaborar respuestas al interrogante planteado al inicio de la secuencia.

## **El papel de las representaciones convencionales en la secuencia**

### **didáctica**

Este capítulo, se focalizó en el análisis sobre cómo los estudiantes luego que interpretan imágenes convencionales en el contexto de la lectura de un texto expositivo, pueden reflexionar sobre el interrogante inicial y las vuelcan en sus producciones escritas.

El trabajo con lo representacional se propone como hilo conductor de toda la secuencia didáctica. La propuesta de elaborar representaciones está lejos de la intención de recabar ideas previas. Las imágenes convencionales tampoco son utilizadas como modelo del docente para que los estudiantes elaboren las propias. Y tampoco se utilizan representaciones convencionales al inicio del estudio del contenido síntesis de proteínas. En cambio, en esta tesis, las condiciones didácticas en que se presenta la secuencia didáctica contemplan que las representaciones convencionales sean trabajadas en el contexto de un texto que aporta explicaciones científicas y que los estudiantes acceden a ellas, luego de haber elaborado las propias y de analizarlas con el grupo clase.

El trabajo didáctico realizado con lo representacional proporcionó que se aprendiera el uso de las imágenes convencionales en tanto herramienta de comunicación y como objeto de estudio. Los estudiantes reconocieron la necesidad de interpretar sus significados teniendo en cuenta los aportes del texto expositivo, y que para entender la información que aportan, es pertinente y necesario cuestionarlas.

En otras investigaciones que abordan la enseñanza de este contenido (Roni y Carlino, 2017, 2018) a través de una secuencia didáctica que entrelaza lectura, escritura y animaciones, e indagan situaciones didácticas y acciones docentes que promueven o dificultan asumir a la lectura y a la escritura como herramientas epistémicas, la relación entre imágenes y texto se propone de manera diferente a la presente. La video simulación

se propone como condición para entrar en el tema y propiciar la lectura y la escritura. Se acuerda en la orientación que sume tal investigación en involucrar a los estudiantes con el problema a estudiar y en las prácticas de estudio propias del área. En esta tesis, la observación de imágenes convencionales se plantea interrumpiendo la lectura del texto expositivo por considerar que la información que aporta requiere ser expandida para facilitar su comprensión. En acuerdo con investigaciones recientes (Acevedo et al., 2019; Castronuovo et al., en prensa; Espinoza et al., 2020) la salida del texto expositivo se realiza proponiendo otra situación de enseñanza: la observación e interpretación de imágenes convencionales. Esta nueva propuesta procuró otro espacio para que los estudiantes reorganizan ideas retomando aspectos relevantes del texto en colaboración con las discusiones propiciadas y guiadas por la docente. Además, la interacción texto-imagen convencional permitió que los estudiantes aprendieran que el uso de las mismas en contexto de lectura propicia la reflexión sobre lo conceptual, y que, en tanto herramienta, comunican significados consensuados, siendo el producto de esos acuerdos lo que las vuelve convencionales.

En cuanto a la situación de escritura, siguiendo a los aportes teóricos de Espinoza et al. (2009) se concibe que proponer la elaboración de un escrito brinda un nuevo momento de revisión de ideas y reorganizarlas. Las ideas expresadas en el papel narran de manera explicativa las etapas de la síntesis de proteínas y las vinculan a la fisiología orgánica y al material genético apropiándose también del enfoque holístico con el que se propuso la enseñanza.

Desde este enfoque, los estudiantes contaron con la posibilidad de entender cómo un proceso en el que participan distintos niveles de organización incide finalmente sobre la fisiología orgánica. Interpretar vinculaciones conceptuales que provienen de diferentes ramas de la ciencia (Biología General, Celular, Molecular, Genética, etc.) no debería ser

una tarea que quede a cargo de quien se está formando. La información científica organizada en capítulos de los libros de textos, con la intención de profundizar el conocimiento, se aleja de colaborar con esta integración. Por lo que se considera que esta propuesta brindó la posibilidad de comprender el sentido por el cual se realiza la síntesis de proteínas y que esto sirva como sustento para continuar profundizado en su estudio.

## *Capítulo 9*

### *Conclusiones*

---

#### **Introducción**

En los capítulos de 5, 6, 7 y 8 se describió y analizó el trabajo didáctico realizado en la antesala a representar, durante la elaboración de representaciones, en el momento de analizar los significados de lo representado en el grupo clase, en la situación de lectura de un texto expositivo sobre la síntesis proteica y en la situación de escritura. También se incluyó el análisis de la movilidad de ideas y las intervenciones de la docente a lo largo de toda la secuencia didáctica.

En este último capítulo, se retoma todo lo analizado y se despliegan las conclusiones obtenidas a partir de interpretar el papel que cumplieron las representaciones en relación con la transformación del conocimiento en un contexto didáctico y en relación con un campo disciplinar específico. Se recupera además el objeto de análisis de esta tesis, las condiciones didácticas, en las que la elaboración de representaciones cumple una función epistémica.

#### **El papel de las representaciones en las aproximaciones al conocimiento disciplinar**

Esta tesis partió de concebir que la elaboración de representaciones modélicas a cargo de los estudiantes colabora con la aproximación al conocimiento disciplinar. El despliegue del trabajo didáctico realizado, donde la elaboración de representaciones modélicas ocupó

el centro de la propuesta, permitió que los estudiantes conceptualizaran un proceso complejo y abstracto que no conocían y comenzaron a imaginarlo a partir de lo que sí sabían, advirtieron el entrelazamiento entre lo conceptual y lo figurativo, tomaron conciencia que lo descriptivo está sujeto a distintas interpretaciones, y expresaron inquietudes sobre conceptos ya estudiados ante una nueva contextualización.

*Conceptualizar lo que no se sabe a partir de lo que se sabe*

A los estudiantes se les propone elaborar representaciones modélicas sobre un proceso abstracto y complejo que no conocen debiendo imaginar cómo plasmar sus ideas sobre al papel a partir de lo que ya saben, teniendo en cuenta los intercambios producidos en clase y lo leído sobre el caso de estudio. Sutton (2003) ha dado cuenta cómo a lo largo de la historia de la ciencia, lo figurativo colaboró en la tarea de los científicos cuando comenzaban por imaginar aquello que aún no conocían. Elaborar representaciones pictóricas y modélicas en las circunstancias expuestas, guarda cercanía epistemológica con lo que Einstein e Infeld (2011) resaltaron de la producción de Galileo al postular el principio de inercia: éste “no puede inferirse directamente de la experiencia, sino mediante una especulación del pensamiento, coherente con lo observado” (p. 14). Estas ideas trasladadas al campo de la didáctica nutrieron la propuesta de elaboración de representaciones sosteniendo que contribuye a una aproximación explicativa a los saberes del área.

Las investigaciones hasta ahora desarrolladas sobre lo representacional permiten conocer cómo funcionan las representaciones cuando se indagan ideas previas o lo recientemente aprendido. En cambio, se desconoce cómo funcionan cuando los estudiantes deben plasmar sus ideas surgidas de la imaginación sobre aquello que aún no saben, dado que no se cuenta con imágenes que vinculen el material genético con la fisiología orgánica. La función de representar, en esta tesis, permitió advertir lazos entre aquello que se

especula o imagina y lo que se conceptualiza, siendo esto parte de lo que ofrece como distintivo.

Las representaciones pictóricas son consideradas modélicas porque buscan explicar un conjunto de ideas a partir de un caso de estudio. Siguiendo los aportes de Giere (2004) quien sustenta que los científicos diseñan modelos con un propósito determinado y para explicar una parte de la realidad, en este contexto de enseñanza se configuró un sistema real -ligado a lo fisiológico- que les permitiera a los estudiantes explicar la problemática planteada inicialmente elaborando representaciones modélicas. Tal como se explicitó en el capítulo 5, tanto el interrogante inicial como el sistema real configurado están lejos de ser considerados un *a priori*. El trabajo didáctico desplegado para instalar el problema y, el caso de la lactasa involucró a los estudiantes en una tarea cognitiva que se continuó actualizando tanto en el momento de representar como a posteriori. En otras investigaciones que también coinciden con los aportes de Giere, la elaboración de modelos comienza produciéndose en clase, entre el docente y los alumnos (Gomez Galindo, 2013), o a partir de que expresan los alumnos (Acher, 2014). Desde esta tesis, se consideró necesario que los modelos estuvieran a cargo de los estudiantes, razón por la que la docente propuso un escenario convocante, comprometiéndolos a asumir el problema como propio. Se interpretó, además, que los estudiantes se encontraban lejos de formular dudas que despertaran el propósito de elaborar un modelo explicativo sobre la relación entre la síntesis de proteínas, y sus repercusiones en distintos niveles de organización, tal como el enfoque holístico que se propuso para la enseñanza de este contenido.

En el capítulo 5 se demostró cómo los estudiantes discutieron un problema conceptualmente relevante instalado en clase. En el capítulo 6 se analizó cómo elaboraron sus representaciones explicando el problema planteado y su acercamiento a interpretar la

vinculación entre la información genética y la fisiología orgánica teniendo en cuenta el accionar de una enzima particular.

Respecto sobre cómo explicitan lo representado, se pudo interpretar que los estudiantes primero expresan sus ideas en relación con lo conocido, representan estructuras anatómicas (intestino, vellosidades intestinales, células) recordando lo estudiado en otros niveles educativos. Luego vuelcan ideas sobre el papel intentando explicar lo menos conocido (por ejemplo, la producción de la lactasa). Esta organización condujo a identificar que lo más icónico es aquello que se representa en primer término dado que sus marcas son análogas a las imágenes que figuran en los libros de textos del área, mientras que para lo más abstracto incluyen también marcas textuales representando procesos que aún no han sido estudiados.

En el capítulo 8, después que se trabajaron las ideas sobre el dogma de la Biología, se analizaron las explicaciones que los estudiantes expresaron ante una situación de escritura, donde debían volcar sus ideas en respuesta al interrogante inicial utilizando como insumo todo el trabajo realizado en clase. Se pudo constatar que en los escritos los estudiantes lograron narrar las vinculaciones esperadas entre la síntesis, el material genético y la fisiología, interpretándose como una consecuencia del trabajo realizado con lo representacional.

Las explicaciones que los estudiantes expusieron en distintos momentos de la secuencia: en las representaciones modélicas, en la oralidad al explicar significados de lo representado, o a través del escrito fueron instancias que contribuyeron a la reorganización conceptual.

*Advertir que el entrelazamiento entre lo figurativo y lo conceptual colabora con la reorganización de los conocimientos*

En esta tesis se partió de considerar que lo figurativo es poseedor de significado y que las marcas plasmadas sobre el papel guardan relación con las conceptualizaciones de sus autores. Desde esa premisa se propuso que los estudiantes compartieran en el grupo clase sus representaciones, explicitando los significados sobre lo representado. En el capítulo 7 se describió cómo un grupo de estudiantes, impulsados por la docente, explicaron la disposición que le habían otorgado a los enterocitos en el intestino, ubicándolos hacia el interior de las vellosidades intestinales. El análisis de los intercambios en clase permitió advertir que dicha ubicación espacial condujo a los estudiantes a conceptualizar que dichas células nunca podrían tomar contacto con los alimentos. En otras representaciones, se analizó cómo la ubicación de la lactasa en la luz intestinal, en lugar del epitelio intestinal, también dificultó que los estudiantes adjudicaran su producción a los enterocitos. El análisis desarrollado permitió reafirmar que la disposición espacial, la proximidad o el distanciamiento entre marcas, y las relaciones de tamaño, confieren a las representaciones significados distintos (Martí, 2003). Por lo que la explicitación de lo representado también colaboró con la posibilidad que la docente detectara dónde era necesario describir cuestiones anatómicas o ampliar explicaciones.

El entrelazamiento de lo figurativo con lo conceptual también se enseñó al momento de proponer la interpretación de representaciones convencionales en el contexto de un texto disciplinar. En acuerdo con investigaciones sobre cómo la interrupción de la lectura de un texto expositivo para abordar otra situación didáctica colabora con la apropiación de las ideas científicas (Acevedo et al., 2019; Castronuovo y Acevedo, en prensa; Espinoza et al., 2020), se propuso la interacción entre la situación de lectura y la observación de imágenes convencionales. La propuesta, analizada en el capítulo 8, se realizó con la

intención que los estudiantes comprendieran que las imágenes convencionales seleccionadas para la enseñanza también son objeto de estudio, que son portadoras de significado, que su interpretación depende del contexto y está supedita a los saberes del lector, y que para alcanzar esos significados es necesario cuestionarlas. Dicho trabajo colaboró también para que los estudiantes, en su calidad de futuros docentes, reconozcan la importancia de estudiar ciencias apoyados en textos y en la interpretación de imágenes convencionales.

*Tomar conciencia que lo descriptivo también es interpretativo*

Al elaborar representaciones los estudiantes reconocen que lo descriptivo admite diferentes interpretaciones, y que ni las descripciones anatómicas aportadas por los libros de textos son claras y objetivas totalmente, sino que están condicionadas al conocimiento del lector. Cuando los estudiantes intentan incluir en sus representaciones estructuras anatómicas referidas a las vellosidades, a la disposición de los enterocitos, a su ribete en cepillo, etc., algunos de ellos manifiestan dudas sobre cómo disponer marcas sobre el papel. Estas dudas aparecen aun cuando recuperan la información descriptiva que aporta el texto que amplían el caso de estudio. Se interpretó que estos estudiantes consideran a la descripción como insuficiente para imaginar cómo representar.

En el capítulo 6, se describió cómo la docente colaboró con explicaciones sobre lo descriptivo de manera oral para que los estudiantes pudieran plasmar sus ideas sobre el papel. También se describió cómo sus intervenciones en el momento de representar, por ejemplo, cuestionando la ubicación de la lactasa, colaboró para que los estudiantes puedan relacionar la enzima con las células que la producen. La explicación aportada por la docente promovió una modificación en la disposición de las marcas contribuyendo a que otra distribución espacial de lo anatómico permitiera pensar sobre lo funcional. En esta tesis se interpreta como distintivo que representar colabora también con reconocer que lo

descriptivo está sujeto a interpretaciones variadas y que las mismas dependen del lector y del contexto.

*Volver a revisar lo que ya se sabe*

Las discusiones surgidas tanto en las propuestas de elaboración de representaciones como la de interpretación de imágenes convencionales en el marco de la lectura de un texto expositivo, condujeron a que se explicitaran dudas sobre contenidos que habían sido estudiados con anterioridad. En el capítulo 6 se describió cómo, a pesar que la docente consideraba que el concepto de degradación ya había sido comprendido al enseñar la fisiología del sistema digestivo, los estudiantes expresaron sus dudas al elaborar sus representaciones. Tanto el concepto de degradar como el de sintetizar fueron estudiados en el contexto de la enseñanza de la fisiología del sistema digestivo. En el capítulo 8 se describió también la revisión de los conceptos de absorción y de transporte de nutrientes cuando algunos estudiantes cuestionaron la presencia de aminoácidos en el citoplasma celular. En ambos casos, se discutieron y actualizaron los conceptos en el marco de una nueva situación de enseñanza.

Desde esta investigación se considera valioso que la propuesta de trabajo con lo representacional permitió visitar contenidos que se consideraban aprendidos, y que cuando se mencionaron en el contexto de una nueva situación de enseñanza, fueron puestos en duda. Esto permitió que la docente identifique temas que necesitan ser revisados y prever las actualizaciones pertinentes que solventen las dudas expresadas. Esta característica surgida al trabajar con representaciones se diferencia de otras investigaciones en las que su análisis sobre lo representacional se enfoca sólo sobre el contenido que es objeto de enseñanza.

## **Las condiciones didácticas que permitieron elaborar representaciones modélicas**

El papel que las representaciones cumplen en las aproximaciones al conocimiento disciplinar estuvieron supeditadas a ciertas condiciones didácticas que, luego de analizar lo sucedido a lo largo de toda la secuencia, se les puede adjudicar la responsabilidad de promover lo epistémico.

En esta investigación, la secuencia didáctica se organizó priorizando la situación de elaboración de representaciones y su análisis en el grupo clase en articulación con otras situaciones de enseñanza. Las representaciones modélicas elaboradas por los estudiantes intentaron explicar el problema planteado al inicio de la secuencia, lo que permitió analizar cómo se fueron movilizando las ideas de los estudiantes. La articulación entre situaciones de enseñanza es propia de una concepción de secuencia didáctica donde los estudiantes cuentan con variadas instancias de aproximarse al conocimiento disciplinar. Esta articulación se considera como condición fértil para el aprendizaje, permitiendo ofrecer un aporte singular al estudio del trabajo en clase con la elaboración de representaciones modélicas.

Los criterios en los que se solicitó su elaboración se consideran promotores del escenario productivo para la transformación de los conocimientos, y consistieron en que los estudiantes asumieran como propio el problema a resolver, elaboraran representaciones modélicas que explicaran el caso de estudio, reflexionaran sobre lo representado, y se enfrentaran a representaciones convencionales luego de elaborar y cuestionar las propias.

### *Asumir un problema como propio para explicarlo*

Los estudiantes representaron luego de discutir sus ideas respecto de un problema planteado al inicio de la secuencia y del caso de estudio, condición didáctica que

promoviendo el despliegue de ideas colaboró con la posterior propuesta de representar. En el capítulo 5 se analizó como los estudiantes discutieron sus ideas respecto del interrogante inicial y el caso de estudio que fue instalado como sistema real. Se interpreta que ninguno de ellos se constituye *a priori*. En las discusiones se identificó cómo los estudiantes fluctuaron entre responsabilizar al ADN y a las proteínas en control de todo lo que sucede en el organismo permitiendo que se promoviera pensar en explicaciones posibles al problema planteado.

#### *Representar para explicar el problema asumido*

La elaboración de representaciones de carácter modélico implicó que los estudiantes expresaran explicaciones a partir de sus conocimientos y de los intercambios producidos sobre el sistema real configurado. La representación en tanto modélica, constituyó una mediación entre dicho sistema y un conjunto de ideas. En el capítulo 6 se analizó cómo los estudiantes decidieron de qué manera expresarlas sobre el papel, cuáles incluir o dejar afuera. La situación de representar les permitió revisar sus conocimientos e imaginar cómo responder al interrogante inicial. En sus representaciones plasmaron ideas sobre el lugar donde se ubica la lactasa, su accionar y cómo se produce. Los dos primeros aspectos fueron representados por la mayoría, y el último por poco menos de la mitad de los estudiantes. Esto permitió entender que el trabajo didáctico anterior abrió la posibilidad de comenzar a pensar en un tema que todavía no habían estudiado y que inclusive así lo pudieran volcar sobre el papel. Desde estas observaciones se puede sostener que la elaboración de representaciones modélicas contribuyó a la evolución de conceptos.

Así como las condiciones didácticas desplegadas en la situación inicial permitieron que los estudiantes pudieran representar, el proponer que las representaciones fueran analizadas en clase promovió que las mismas se resignifiquen.

#### *Reflexionar sobre lo representado requiere ser ampliado*

La instancia posterior a representar se constituyó en un espacio en que los estudiantes expusieron los significados de sus representaciones al grupo clase y con ayuda de otro sistema de representación, pudieron entender lo representado. Los estudiantes al rellenar en la oralidad lo plasmado sobre el papel, pudieron aprender que sus representaciones modélicas, en tanto objeto de estudio, pueden ser interpretadas cuando el autor expone sus significados, y que éstos están sujetos al conocimiento del lector y al contexto en que se las revisa. Lo analizado en el capítulo 7 posibilitó advertir cómo los estudiantes comenzaron a cuestionar las representaciones ajenas para poder interpretarlas y percibieron el entrelazamiento que existe entre lo figurativo y lo conceptual. Este primer intento de interpretar las representaciones producidas por sus pares contribuyó a que luego al enfrentarse con imágenes convencionales que la ciencia ofrece las pudieran cuestionar para entenderlas.

*Abordar las representaciones convencionales habiendo participado de instancias de elaboración*

Cuando los estudiantes se enfrentan con las representaciones convencionales, lo hacen dentro del contexto de lectura de un texto expositivo, por lo que en esta oportunidad reafirman la existencia del entramado entre lo conceptual y figurativo que es imposible desconocer para interpretar lo representado. En el capítulo 8, se analiza cómo en estas condiciones didácticas, los estudiantes pueden cuestionar las imágenes convencionales para apropiarse de sus significados, identifican las vinculaciones con el texto y toman conciencia que no pueden ser obviadas al estudiar ciencias. La postura que adoptan frente a ellas es consecuencia de haber analizado las propias en clase, luego haberlas elaborado. Es posible afirmar que los criterios seleccionados para el diseño de esta secuencia didáctica colaboraron para que el trabajo sobre lo representacional condujera a los estudiantes, futuros docentes de ciencias, a valorar la elaboración de representaciones en

el contexto de la disciplina y en el marco de una propuesta de enseñanza. Este trabajo didáctico también posibilitó la evolución de conceptos sobre el contenido síntesis de proteínas desde el enfoque holístico propuesto para la enseñanza.

El aporte sobre lo representacional que esta tesis ofrece como distintivo fue posible gracias a poder identificar la movilización de ideas producidas realizando un análisis cruzado de todas las situaciones de enseñanza articuladas entre sí que componen esta secuencia.

### **Aportes y discusiones abiertas**

La secuencia implementada cuyo hilo conductor fuera lo figurativo y modélico, respondió a condiciones didácticas que priorizaron la elaboración de representaciones en tanto situación didáctica que contribuyera a la función epistémica. Desde esta tesis se espera que lo investigado sobre el trabajo con lo representacional en el aprendizaje del contenido síntesis de proteínas, pueda contribuir a la enseñanza de ciencias con los siguientes aportes:

- La distinción de estudiar la función epistémica de la propuesta de elaboración de representaciones en lugar de ser solicitadas para indagar ideas previas o últimos saberes aprendidos.
- La posibilidad de realizar análisis cruzados sobre la movilidad de ideas de los estudiantes como consecuencia de la implementación de una secuencia didáctica donde se priorizó la articulación entre la situación de representar y otras situaciones de enseñanza.
- La singularidad de proponer elaborar representaciones alejadas de lo convencional para el estudio de un contenido específico del área.

- La particularidad de proponer elaborar representaciones modélicas con la intención que se aprenda a considerarlas como objeto de estudio y como herramienta didáctica.
- La peculiaridad de analizar cómo las intervenciones de la docente antes, durante y después de representar contribuyeron al despliegue y movilización de ideas de los estudiantes.

Los aportes aquí señalados se consideran el resultado de una investigación que siguiendo las preocupaciones de Castorina (2015), se propuso indagar la enseñanza y el aprendizaje de un contenido específico desde la intimidad del aula, analizando la forma en que se propuso y las transformaciones logradas por los estudiantes bajo las condiciones didácticas pensadas desde los saberes profesionales de la docente-investigadora. Se espera que los mismos puedan ser resignificados en nuevas propuestas de enseñanza abordando otros contenidos.

En una nueva implementación a partir de los relevamientos realizados de ambas implementaciones y siguiendo la propuesta de diseñar secuencias didácticas en el marco de un proceso evolutivo y cíclico iluminado por los datos de la investigación (Psillos y Kariotoglou, 2016), se podría incorporar a la presente otra situación de enseñanza luego de la observación y análisis del video que desafíe a los estudiantes a reconocer, ordenar y escribir epígrafes de distintas figuras (sub unidades de ribosomas, ARNm, aminoácidos, ARNt, polipéptidos) que representen las etapas de la traducción. Se estima que la misma colaboraría con la interpretación del tema.

Así como este trabajo de investigación pretendió ofrecer diversas aportaciones, también se interpreta que durante el desarrollo de esta investigación quedaron abiertas ciertas cuestiones para continuar estudiando. El trabajo con lo representacional en una secuencia constituida por situaciones de enseñanza articuladas entre sí, permitió advertir los lazos

que en distintos momentos de la secuencia didáctica se establecieron entre diferentes sistemas representacionales: la escritura, lo figurativo y la oralidad. Por ejemplo, en la oralidad los estudiantes rellenaron los significados de lo representado, y si bien esa vinculación no fue objeto de estudio de esta tesis, puso en evidencia que la misma colaboró con la reorganización de ideas. En la enseñanza de las ciencias, la propuesta de combinar diferentes situaciones didácticas con lo representacional para aprender contenidos específicos y entender cómo influyen en su aprendizaje merece ser objeto de otras investigaciones.

Por otra parte, y dado que los estudiantes de ambas cohortes reconocieron la importancia de implementar una secuencia didáctica que valorara la vinculación de procesos desde un enfoque integral, se interpreta que este reconocimiento también impulsa a que se continúen desarrollando investigaciones que apunten a fortalecer el aprendizaje de contenidos científicos en el nivel superior, procurando además contribuir al mismo tiempo con la formación didáctica de los futuros docentes y que esos insumos los puedan trasladar a sus prácticas profesionales.

## *ANEXOS*

---

[Nutrición y salud]

# Intolerancia a la lactosa. Productos lácteos modificados

Vénica C. I.; Perotti M. C.; Wolf I. V.; Bergamini C. V.; Zalazar C. A.  
Instituto de Lactología Industrial (INLAIN) - Universidad Nacional del Litoral (UNL) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Santa Fe, Argentina



### Lactosa: definición e intolerancia

La leche es un alimento natural, esencial y bien balanceado para la alimentación del ser humano, ya que es fuente de proteínas de alto valor biológico, vitaminas, minerales y lactosa, entre otros componentes. Si nos referimos específicamente a la fracción glucídica, la lactosa –denominada comúnmente “azúcar de leche”– es única en la naturaleza, ya que se halla sólo en la leche de los mamíferos (vaca, cabra, oveja, etc.). La concentración en la cual se encuentra es muy variable, la leche humana tiene un elevado contenido de aprox. 7g/100 mL, mientras que en la leche bovina su nivel es inferior, 4,5-5g/100 mL<sup>1, 2</sup>.

Desde el punto de vista nutricional, la lactosa es la principal fuente de energía en los primeros años de vida del ser humano, aportando prácticamente la mitad de la energía que requieren los infantes<sup>3</sup>. Al igual que otros azúcares, actúa como transportador de minerales, facilitando la absorción de los mismos, y es fuente de galactosa, nutriente esencial en la formación de galactolípidos cerebrales<sup>4</sup>.

Luego de su ingestión, la lactosa no se asimila directamente en el tracto digestivo, sino que necesita de una enzima denominada lactasa (o b-galactosidasa) que se encuentra en la mucosa de la parte superior del intestino delgado. Esta enzima actúa desdoblándola en sus componentes glucosa y galactosa, los cuales son transportados al hígado para ser utilizados finalmente como fuente de energía<sup>1, 2, 5</sup>.

La lactasa ya está presente en el feto durante la segunda mitad del embarazo, alcanzando su máxima actividad poco después del nacimiento<sup>7</sup>. Posteriormente, es normal que se produzca una disminución progresiva de la enzima, la que se inicia en la infancia, adolescencia o en la edad adulta. La persistencia de la enzima está genéticamente controlada y varía entre las diferentes razas y grupos étnicos. De hecho, en poblaciones como las nórdicas los niveles de la enzima en la adultez son similares a los encontrados en la infancia. Se ha observado una variación en los niveles de enzima entre las diferentes personas; algunos adultos son capaces de digerir grandes cantidades de leche mientras que otros presentan síntomas de mala absorción de lactosa tras la ingesta de pequeñas cantidades.

Asimismo, se puede producir una disminución (reversible) de la enzima debido a una agresión a la mucosa intestinal provocada por virus, infecciones bacterianas o parasitarias, antibióticos, diarreas infecciosas, enfermedad celíaca, ingesta excesiva de alcohol, etc. Por otro lado, también puede ocurrir una deficiencia congénita de la enzima, es decir que la enzima falta desde el nacimiento, aunque este hecho no es muy común<sup>8, 9, 10</sup>.

Cuando se tiene una disminución o ausencia de lactasa, la lactosa no digerida en el intestino delgado pasa al intestino grueso y allí es fermentada por las bacterias de la flora intestinal produciendo desórdenes intestinales, problema que se denomina intolerancia a la lactosa.

Los individuos con este problema sufren de molestos síntomas, tales como diarreas, distensión abdominal, náuseas, flatulencias, pérdida de apetito, cólicos intestinales, etc. La presencia de estos desórdenes depende de varios factores, tales como la cantidad de lactosa ingerida, la sensibilidad del individuo, la velocidad de vaciado gástrico, el tiempo de tránsito gastrointestinal y el tipo de flora del intestino grueso<sup>11, 12</sup>. Otra consecuencia desfavorable, además de la disminución o ausencia de absorción de la lactosa, es la mala absorción de minerales, que en el caso particular del calcio podría ocasionar una descalcificación del esqueleto<sup>13</sup>.

Muchas veces la intolerancia a la lactosa se confunde con la alergia a la leche de vaca, ya que los síntomas son a menudo similares, sin embargo ambos problemas no están relacionados. La alergia a la leche de vaca es una reacción hacia las proteínas (principalmente hacia una de las proteínas solubles de la leche, la b-lactoglobulina) provocada por el sistema inmune; a diferencia de la intolerancia a la lactosa que es un problema causado por el sistema digestivo, como ha sido mencionado. Esta reacción alérgica ocurre casi exclusivamente en los infantes<sup>(1,2)</sup>.

La intolerancia a la lactosa es una patología común en muchas partes del mundo; se estima que alrededor del 70% de la población mundial se ve afectada por este problema. En América del Sur, África y Asia la prevalencia es del 50%, pudiendo alcanzar un 100% en países como Japón y China. En Estados Unidos existen unos 50 millones de personas con este problema, variando la prevalencia desde un 15% en la población blanca hasta un 80% en la población negra. Solamente hay una escasa incidencia de personas intolerantes en Europa del Norte y Central, Islas Británicas, Australia y Nueva Zelanda<sup>(3, 9, 13, 14)</sup>.

#### **Tratamientos para eliminar o reducir los síntomas de intolerancia a la lactosa**

La solución al problema de la intolerancia a la lactosa consiste en eliminar parcial o totalmente de la dieta aquellos alimentos que contengan lactosa en su composición, tales como leche y productos lácteos, debido a que no existe ningún tratamiento para aumentar la habilidad del organismo para sintetizar la enzima lactasa. Sin embargo, dejar de consumir leche y sus productos derivados ocasiona que no se incorporen al organismo los niveles de calcio necesarios y otros nutrientes esenciales que la leche provee, por lo que encontrar un sustituto a la misma no resulta una tarea fácil<sup>(15)</sup>.

A las personas intolerantes usualmente se les recomienda regular el consumo de leche. La mayoría de los sujetos son capaces de digerir una pequeña cantidad sin sufrir síntomas, especialmente si la leche se consume junto a otro alimento<sup>(8)</sup>.

Por otro lado, existen en el mercado preparaciones farmacéuticas de la enzima b-galactosidasa que se han desarrollado para tratar este problema. Estas preparaciones en forma de tabletas se ingieren junto con los alimentos o pueden ser utilizadas para preparar en el hogar una leche con un menor contenido de lactosa<sup>(3, 4)</sup>. Para ello se adiciona la enzima a la leche y se la deja toda una noche en el refrigerador<sup>(16)</sup>. Si bien existen evidencias que el empleo de estas preparaciones provoca una disminución o alivio de los síntomas, las diferentes enzimas disponibles en el mercado parecen variar en su efectividad<sup>(3)</sup>.

La solución más efectiva y conveniente para tratar el problema de la intolerancia a la lactosa es con-

# REDALatina

Food Processing Plants

## TECNOLOGÍA EUROPEA EN LATINOAMÉRICA



Dársena de descarga por vacío



Centrifuga Autodeslodante c/titulador

**LATINA PROCESAMIENTOS S.A.**  
Lincoln 1125 2300 Rafaela (SF)  
Tel: 03492-505599 info@latinapro.com.ar

## Anexo II: Información adicional

Molist, P., Pombal, M., & Megías, M. (2011). *Atlas de histología vegetal y animal*. Cap. I, Dpto. de Biología Funcional y Ciencias de la Salud. Facultad de Biología. Universidad de Vigo. Recuperado de: a) <http://webs.uvigo.es/mmegias/descargas/v-meristemas>. Pdf. |

### Enterocito

“Los enterocitos son células columnares que forman la mayor parte del epitelio prismático simple de la mucosa del intestino” “(...) Su principal misión es la absorción de sustancias nutritivas desde la luz del intestino y su transporte al interior del cuerpo.”

“Los enterocitos poseen microvellosidades en su parte apical, numerosas mitocondrias en su base, un retículo endoplasmático y un aparato de Golgi muy desarrollados. La integridad del epitelio, es decir, los enterocitos se mantengan unidos entre sí formando una capa celular sellada, sin dejar espacios intercelulares, depende de los complejos de unión que se establecen entre enterocitos contiguos.” “(...) Los enterocitos presentan en su superficie apical una gran cantidad de microvellosidades densamente dispuestas formando lo que se denomina ribete en cepillo, y aumenta la superficie apical de la célula de 15 a 40 veces. En estas membranas apicales se encuentran los transportadores necesarios para la incorporación de moléculas que resultan de la digestión, mientras que en las membranas basolaterales se encuentran los transportadores necesarios para sacar del enterocito estas moléculas incorporadas que tienen que pasar al torrente sanguíneo. Esta distribución desigual esta mediada por un tráfico vesicular especial.”

“Los enterocitos están en contacto con sustancias tóxicas y sufren daños continuos. En vez de repararse, son renovados constantemente mediante una alta producción de nuevos enterocitos y por la eliminación mediante extrusión desde la capa epitelial o mueren por apoptosis los más viejos y dañados.”

“La principal función de los enterocitos es la de absorber nutrientes que provienen de la degradación estomacal y enzimática, aunque también realizan digestión mediante la secreción de enzimas propias que degradan péptidos y disacáridos. El glicocalix de la membrana apical de los enterocitos forma una capa de 400 a 500 nanómetros de espesor, a veces hasta 1  $\mu\text{m}$ , contiene enzimas para la digestión final. De hecho, se habla de dos fases de la digestión, una que ocurre en el espacio interior del tubo digestivo alejado de las paredes epiteliales llevado a cabo fundamentalmente por enzimas pancreáticas, y otra realizada por las enzimas asociadas a la superficie de los enterocitos. La mayor absorción de alimentos la realizan los enterocitos del intestino delgado, mientras que los del intestino grueso absorben principalmente agua.”

---

Tocoian, Adina (2006) *Patrón genético de la hipolactasia de tipo adulto en los niños y adolescentes de Galicia*, Universidad de Santiago de Compostela. pp20

“La lactasa o hidrolasa fluorizin lactasa es un enzima que se localiza en la superficie apical de la membrana en cepillo de los enterocitos, donde está anclada a la membrana por su extremo C-terminal y tiene la mayor parte de la molécula proyectándose hacia el intestino (Swallow-2003).”

## Anexo III: Texto expositivo<sup>5</sup>

### 12.2 ¿Cómo fluye la información desde los genes hasta las proteínas?

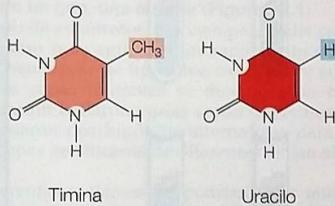
La expresión de un gen para formar un polipéptido se produce en dos pasos principales:

- La **transcripción** copia la información de una secuencia de DNA (un gen) en la información correspondiente en una secuencia de RNA.
- La **traducción** convierte esta secuencia de RNA en la secuencia de aminoácidos de un polipéptido.

#### El RNA difiere del DNA

El RNA es un intermediario clave entre el DNA y los polipéptidos. El **RNA (ácido ribonucleico)** es un polinucleótido similar al DNA (véase Figura 3.24), pero difiere de éste en tres formas:

- El RNA por lo general consiste en sólo una cadena de polinucleótidos.
- La molécula de azúcar que se encuentra en el RNA es ribosa, en lugar de la desoxirribosa que se encuentra en el DNA.
- Aunque tres de las bases nitrogenadas (adenina, guanina y citosina) en el RNA son idénticas a las del DNA, la cuarta base en el RNA es el **uracilo (U)**, que es similar a la timina, pero que carece del grupo metilo ( $-\text{CH}_3$ ).



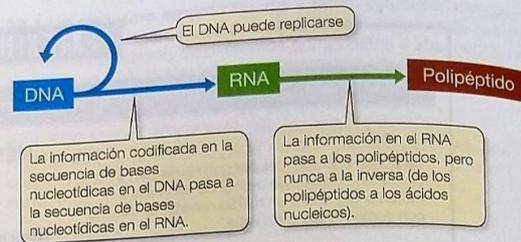
Las bases en el RNA pueden aparearse con las de una cadena monocatenaria de DNA. Este apareamiento obedece a las mismas reglas de apareamiento de bases complementarias que en el DNA, excepto que la **adenina se aparee con el uracilo** en lugar de la timina. El RNA monocatenario puede plegarse en formas complejas por medio de un apareamiento de bases interno, como se verá más adelante en este capítulo.

#### La información fluye en una dirección cuando los genes se expresan

Poco después de haber propuesto, con James Watson, la estructura tridimensional del DNA, Francis Crick se planteó el problema de la relación funcional entre el DNA y las proteínas. Esto lo llevó a proponer lo que denominó el **dogma central** de la biología molecular, según el cual —explicado de manera simple— el DNA tiene la información para la producción de RNA, el RNA codifica la producción de proteínas (más exactamente, polipéptidos) y las proteínas no codifican la producción de proteínas, RNA o DNA (Figura 12.2). En las palabras de Crick, “una vez que la ‘información’ pasó a las proteínas no puede salir nuevamente”.

El dogma central planteó dos preguntas:

- ¿Cómo llega la información genética del núcleo al citoplasma? (Como se explica en la Sección 4.3, la mayor parte del DNA de una célula eucarionte está confinada al núcleo, pero las proteínas se sintetizan en el citoplasma).



**12.2 El dogma central** La información fluye del DNA al RNA al polipéptido, como lo indican las flechas.

- ¿Cuál es la relación entre una secuencia de nucleótidos específica en el DNA y una secuencia de aminoácidos específica en una proteína? Para responder a estas preguntas, Crick propuso dos hipótesis.

#### LA HIPÓTESIS DEL MENSAJERO Y LA TRANSCRIPCIÓN

Para responder a la pregunta de cómo llega la información desde el núcleo hasta el citoplasma, Crick y sus colaboradores propusieron la **hipótesis del mensajero**: una molécula de RNA se forma como copia complementaria de una cadena de DNA de un gen que copia complementaria de una cadena de DNA de un gen en particular. Este **RNA mensajero**, o **mRNA**, viaja del núcleo al citoplasma, donde actúa como molde para la síntesis de proteínas en los ribosomas. El proceso por el cual se forma este RNA se llama **transcripción** (Figura 12.3).

La hipótesis de Crick fue probada repetidas veces para los genes que codifican proteínas y el resultado es siempre el mismo: cada secuencia génica en el DNA que codifica una proteína se expresa como una secuencia en el mRNA.

#### LA HIPÓTESIS DEL ADAPTADOR Y LA TRADUCCIÓN

Para contestar la pregunta de cómo una secuencia de DNA se transforma en la secuencia de aminoácidos específica de un polipéptido, Crick propuso la **hipótesis del adaptador**: debe haber una **molécula adaptadora** que puede unirse a un aminoácido específico y reconocer una secuencia de nucleótidos. Imaginó tales adaptadores como moléculas con dos regiones, una que sirve a la función de unión y la otra, a la función de reconocimiento. A su debido tiempo, se encontraron tales moléculas adaptadoras, que en la actualidad se conocen como **RNA de transferencia** o **tRNA**. Debido a que reconocen el mensaje genético del mRNA y simultáneamente transportan aminoácidos específicos, los tRNA pueden **traducir** el lenguaje del DNA al lenguaje de las proteínas. Los adaptadores de tRNA, que llevan aminoácidos unidos, se alinean sobre la secuencia de mRNA de forma tal que los aminoácidos se encuentran en la secuencia apropiada para una cadena polipeptídica en crecimiento, un proceso denominado **traducción** (véase Figura 12.3). Una vez más, la observación de la expresión de miles de genes confirmó la hipótesis de que el tRNA actúa como el intermediario entre la información de la secuencia nucleotídica en el mRNA y la secuencia de aminoácidos en una proteína.

Resumiendo las características principales del dogma central, la hipótesis del mensajero y la hipótesis del adaptador puede decirse que un gen dado se transcribe produciendo una molécula de RNA mensajero (mRNA) complementaria a una de las cadenas de DNA, y que las moléculas del RNA de transferencia (tRNA) traducen la secuencia de bases en el mRNA en la secuencia apropiada de los aminoácidos unidos durante la síntesis de proteínas.

<sup>5</sup> Sadava, D., Heller, G., Orians, G. Purves, W., y Hillis, D. (2009). Vida: La Ciencia de Biología. Buenos Aires, Ed. Médica Panamericana.

## *Referencias bibliográficas*

---

- Acevedo, C. y Gomel, A. (2020). Conceptos e intersubjetividad en las clases de ciencias. Una aproximación vigotskiana. *Espacios en Blanco*, 30 (2), 263-277.
- Acevedo, L., Pitton, E. y Castronuovo, S. (noviembre, 2019). El texto expositivo como organizador de una propuesta de enseñanza. 1º *Congreso Internacional de Ciencias Humanas-Humanidades entre pasado y futuro*. Universidad Nacional de San Martín. Buenos Aires. Recuperado de: <https://www.aacademica.org/1.congreso.internacional.de.ciencias.humanas/1467>
- Acher, A. (2014). Cómo facilitar la modelización científica en el aula. *Tecné Episteme y Didaxis. TED*, 36, 63-75.
- Acosta, M., Manfreda, V. y Delorenzi, O. (septiembre, 2012). Aplicación de un modelo didáctico alternativo en la enseñanza y aprendizaje del contenido “plantas como sistemas autótrofos”. Análisis de su funcionalidad con relación a la construcción del conocimiento. *III Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de La Plata*.
- Aduriz Bravo, A. (febrero, 2010). Hacia una didáctica de las ciencias experimentales basada en modelos. *II Congrès International de Didactiques*. Girona.
- Aduriz Bravo, A., e Izquierdo Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*. 4(1), 40-49.
- Aduriz Bravo, A., Garófalo, J., Greco, M. y Galagovsky, L. (2005). Modelo didáctico analógico: Marco teórico y ejemplos. *Enseñanza de las ciencias, Extra VII Congreso*, 1-6.
- Aduriz Bravo, A., Gomez, A., Márquez, C. y Sanmartí, N. (2005). La mediación analógica en la ciencia escolar. Propuesta de la función modelo teórico. *Enseñanza de las ciencias, Extra VII Congreso*, 1-5.
- Aduriz Bravo, A. y Ariza, Y. (2014). Una caracterización semanticista de los modelos científicos para ciencia escolar. *Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza*, 7(13), 25-34.
- Ageitos Prego, N. y Puig, B. (2016). Modelizar la expresión de los genes para el aprendizaje de enfermedades genéticas en secundaria. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 18(1), 65-84.

- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and instruction*, 16(3), 183-198.
- Ainsworth, S., Prain, V. y Tylter, R. (2011). Drawing to Learn in Science. *Science*, 333, 1096-1097.
- Artigue, M. (2002). Ingénierie didactique: quel rôle dans la recherche didactique aujourd'hui? En: *Les dossiers des sciences de l'éducation. Didactique des disciplines scientifiques et technologiques: concepts et méthodes*, 8, 59-72; Recuperado de [http://www.persee.fr/doc/dsedu\\_1296-2104\\_2002\\_num\\_8\\_1\\_1010](http://www.persee.fr/doc/dsedu_1296-2104_2002_num_8_1_1010)
- Artigue, M., Douady, R. y Moreno, L. (1995). *Un esquema para la investigación y la innovación en la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas*. México: Editor: Pedro Gómez, Una empresa docente y Grupo Editorial Iberoamérica, S.A. de C. V.
- Ast, G. (2010). El otro genoma. En *Investigación y Ciencia*. Temas 59 ¿Qué es un gen?, 4-11.
- Bovet, M. (1998). Explicaciones y cambios en adultos. En M. Moreno, G. Sastre, M. Bovet, M., Leal. A. *Conocimiento y cambio. Los modelos organizadores en la construcción del conocimiento* (pp. 253-283). Barcelona, Paidós.
- Brousseau, G. (1986). *Théorisation des phénomènes d'enseignement des mathématiques*. Thèse d'Etat, Université de Bordeaux I.
- Brousseau, G. (2007). *Iniciación al estudio de las Teoría de situaciones didácticas*. Buenos Aires: Libros del Zorzal
- Cafferata, M. (octubre, 2010). Síntesis de proteínas: propuesta para favorecer su comprensión. *IX Jornadas Nacionales y IV Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología. San Miguel de Tucumán*
- Carlino, P. (2005). *Escribir, leer y aprender en la universidad: una introducción a la alfabetización académica*. Buenos Aires: Fondo de cultura económica.
- Castorina, J. A. (1998). Los problemas conceptuales del constructivismo y sus relaciones con la educación. En Carretero, M, Castorina, J., y Baquero, R. (comps). *Debates Constructivistas*. Buenos Aires: Aique.
- Castorina, J. A. (2003). Las Epistemologías constructivistas ante el desafío de los saberes disciplinares. *Psykhé*, 12(2), 15-28.

- Castorina, J. A. (2015). Los problemas del conocimiento escolar en la investigación educativa: Un análisis crítico. *Espacios en Blanco. Revista de Educación (Serie Indagaciones)*, 25, 373-392.
- CastroNovo, S. y Acevedo, Cecilia, (en prensa) Leer para aprender Biología en el nivel superior. *Polifonías. Revista de Educación*.
- Chamizo, J. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 71, 26-41.
- Chevallard, Y. (1997). *La transposición didáctica*. Buenos Aires: Aique (original en 1985).
- Cobian, F. (2017, mayo 5). ADN de proteínas (Transcripción, Traducción). [Archivo de video]. YouTube. Recuperado de [https://www.youtube.com/watch?v=r2m-vNRV0\\_A](https://www.youtube.com/watch?v=r2m-vNRV0_A)
- Cook, M. (2011). Teachers' Use of Visual Representations in the Science Classroom. *Science Education International*, 22 (3), 175-184.
- Cooper, G. y Hausaman, R. (2017). *La Célula*. Madrid, España: Marbán.
- de Felipe, J. (2005). Cajal y sus dibujos: ciencia y arte. En Aragoz, A (ed.), *Arte y Neurología*. (pp.213-230) Madrid. Saned.
- Departamento de Ciencias Naturales del I.E.S. Suel [Ilustración]. (s.f.). Recuperado de [http://www.iessuel.es/ccnn/interactiv/genetica\\_molecular/genetica\\_molecular\\_16.htm](http://www.iessuel.es/ccnn/interactiv/genetica_molecular/genetica_molecular_16.htm)
- Díaz Guevara, C., Garay Garay, F., Acosta Paz, J. y Adúriz-Bravo, A. (2019). Los modelos y la modelización científica y sus aportes a la enseñanza de la periodicidad química en la formación inicial del profesorado. *Didacticae: Revista de Investigación en Didácticas Específicas*, 5, 7-25.
- Díaz Velazquez, J. y Covarrubias Papahiu, P. (2016). ABP: Una alternativa en la enseñanza. *Eutopia Revista del colegio de Ciencias y Humanidades para el Bachillerato*. UNAM. 9(25), 131-141.
- Díaz-Barriga, F. y Hernández Rojas, G. (2004). Estrategias de enseñanza para la promoción de aprendizajes significativos. En F. Díaz Barriga (Comp.). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Una interpretación constructivista*. México: McGraw Hill Interamericana.
- Drouin, A. (1987). Des images et des sciences. *Aster*, 4, 1-32.

- Duncan R., y Reiser B. (2007). Reasoning across ontologically distinct levels: students' understandings of molecular genetics. *Journal of Research Science Teaching* 44, 938–959.
- Einstein, A. e Infeld, L. (2011). *La física, aventura del pensamiento*. Buenos Aires, Losada.
- Encina, G. (2013). Biología molecular en oncología: lo que un clínico debiera saber. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 24, 563-570.
- Espinoza, A., Casamajor, A., y Pitton, E. (2009). *Enseñar a leer Textos de Ciencias*. Buenos Aires, Ed. Paidós.
- Espinoza, A., Acevedo, C. y Casamajor, A. (2020). La lectura en el primer ciclo de la escuela primaria: el caso de la nutrición humana. *Confluencia de Saberes. Revista de Educación y Psicología*, 2, 100-124.
- Espinoza, A., Casamajor, A., Muzzanti, S. Acevedo, C. y Lifschitz, C. (2012). Las ciencias naturales en el aula. Cuando los alumnos son convocados a representar sus ideas. *Novedades Educativas* 256, 36-43.
- Espinoza, A., Casamajor, A. y Muzzanti, S. (septiembre, 2010). Relaciones entre la lectura, las representaciones sobre papel y el aprendizaje de las ciencias. *Jornadas Nacionales Cátedra UNESCO de Lectura y Escritura Lectura, escritura y aprendizaje disciplinar*. Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de Río Cuarto. Recuperado de: [https://www.unrc.edu.ar/unrc/digital/libro\\_jornadas\\_unesco\\_unrc\\_2010.pdf](https://www.unrc.edu.ar/unrc/digital/libro_jornadas_unesco_unrc_2010.pdf)
- Ferreiro, E. (2005). *Pasado y presente de los verbos leer y escribir*. Buenos Aires, Fondo de Cultura Económica.
- Flores Camacho, F., García-Rivera, B., Báez Islas, A., Gallegos-Cazares, L. y Calderón-Canales, E. (2020). Logros en la comprensión de temas de genética utilizando representaciones externas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(3), 3101-1- 3101-18.
- Friel, S., Curcio, F. y Bright, G. (2001). Making sense of graphs: critical factors influencing comprehension and instructional implications. *Journal for Research in Mathematics Education*, 32(2), 124-158.
- Gagliardi, R. (1988). Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 291-296.
- Garavaglia, M. (octubre, 2015). Enseñar a mirar las imágenes. *Actas IV Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y*

Naturales Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad Nacional de La Plata. Ensenada. Buenos Aires. Recuperado de: <http://jornadasceyn.fahce.unlp.edu.ar/convocatoria/actas-2015/trabajos-naturales/Garavaglia.pdf/view>

- García, R. (2000). *El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos*. Barcelona: Gedisa.
- Giere, R. (1992). *La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo*. México: Consejo Nacional de Ciencia y tecnología. Original en inglés 1988.
- Giere, R. (2004). How Models Are Used to Represent Reality. *Philosophy of Science*. 71, 742–752.
- Gilbert, J. y Osborne, R. (1980). The use of models in science and science teaching. *European Journal of Science Education*, 2(1), 3-13.
- Gomez Diaz, M. (septiembre, 2018). El ABP mediado por TIC para facilitar el aprendizaje de la síntesis de proteínas en los estudiantes de grado octavo del colegio multipropósito. *XX Encuentro Internacional Virtual Educa Argentina 2018. Educando el presente, conectando al futuro*. Centro de convenciones y exposiciones CABA. Recuperado de <https://encuentros.virtualeduca.red/storage/ponencias/argentina2018/X7qSUm0RTMp12D3ZoDq3EEwVixAbtuzVI5xZXdY.pdf>
- Gómez Galindo, A. (2013). Explicaciones narrativas integradas y modelización en la enseñanza de la biología. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(1), 11-28.
- Gómez Galindo, A. (2014). El uso de las representaciones multimodales y la evolución de los modelos escolares. En Merino, C., Arellano, M., Aduriz Bravo, A. (eds). *Avances en Didáctica de la Química: Modelos y lenguajes*. (pp. 51-61). Valparaíso: Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Gómez Llombart, V. y Gavidia Catalán, V. (2015). Describir y dibujar en ciencias. La importancia del dibujo en las representaciones mentales del alumnado. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(3), 441-455.
- Gómez, A (2008). Construcción de explicaciones multimodales: ¿Qué aportan los diversos registros semióticos? *Revista latinoamericana de estudios educativos*, 4(2), 83-99.
- Gould, S. (1996). Escalas y conos: la evolución limitada por el uso de límites canónicos. En Oliver Sacks, D., Kevles, R., Lewantin; Gould, S. y Millar, J. (1996). *Historias de la ciencia del olvido*. (pp. 44-52). Madrid: Ediciones Siruela.

- Grilli, J., Laxague, M. y Barboza, L. (2015). Dibujo, fotografía y Biología. Construir ciencia con y a partir de la imagen. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 91-108.
- Izquierdo, M. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*. Número extra, 79-91.
- Jiménez, J., y Perales, F. (2001). Aplicación del análisis secuencial al estudio del texto escrito e ilustraciones de los libros de Física y Química de la ESO. *Enseñanza de las Ciencias*, 2001, 19(1), 3-19.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge. Harvard University Press.
- Joshua, S. y Dupin, J. (2005). *Introducción a la Didáctica de las ciencias y la Matemática*. Buenos Aires: Colihue.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las ciencias*, 24(2), 173-184. Disponible en:  
<https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/75824/96328>
- Kalman, J. (2003). El acceso a la cultura escrita: la participación social y la apropiación de conocimientos en eventos cotidianos de lectura y escritura. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 8(17), 37-66.
- Klimovsky, G. (1999). *Las desventuras del conocimiento científico*. Bs. As.: AZ Editora.
- Knippels, M. (2002). *Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education. The yo-yo learning and teaching strategy*. Tesis doctoral. Recuperado de: <https://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/219/full.pdf?sequence=2>
- Lemke, J. (1995). Intertextuality and text semantics. *Advances in Discourse Processes*, 50, 85-114.
- Lemke, J. (1997). *Aprender a hablar ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores*. Barcelona: Paidós.
- Lemke, J. (1998). Multiplying meaning. En Martin, J. y Veel, R. (eds.). *Reading Science, Visual and verbal semiotic in scientific text*, (pp. 87-114). Londres: Routledge.
- Lenzi, A. y Castorina, J. A. (2000). Investigaciones de nociones políticas: Psicogénesis “natural” y psicogénesis “artificial”. Una comparación metodológica. Castorina, J. A., y Lenzi, A. (Comp.), *La formación de conocimientos sociales en los niños. Investigaciones psicológicas y perspectivas educativas*, 253-273.

- Lerner, D. (1996). El maestro, la enseñanza y el aprendizaje. En Castorina, J., Ferreiro, E., de Oliveira, M., y Lerner, D. *Piaget-Vigotsky: contribuciones para replantear el debate*. Barcelona: Paidós.
- Lombardi, G., Caballero, C. y Moreira, M.A. (2009). El concepto de representación externa como base teórica para generar estrategias que promuevan la lectura significativa del lenguaje científico. *Revista de Investigación*, 66, 147-186.
- Lombardi, O. (1998). La noción de modelo en ciencias. *Educación en Ciencias*, II(4), pp. 5-13.
- Lombardi, O. (2010). Los modelos como mediadores entre teoría y realidad. En L. Galagosvsky (coord.): *Didáctica de las Ciencias Naturales. El caso de los modelos científicos*. (pp. 83-94) Buenos Aires: Lugar Editorial. Colección Nuevos Paradigmas.
- Lozano, E., Adúriz-Bravo, A. y Bahamonde, N. (2020). Un Proceso de Modelización de la Membrana Celular en la Formación del Profesorado en Biología en la Universidad. *Ciência & Educação*, 26, 1-15.
- Mardarás, M. (2012). ¿Cómo funcionan los genes? En Mardarás, M., Corbacho, V., Galotti, L y Maggi, A. (2012). *Del gen a la proteína*. (pp. 55-84). Buenos Aires: Ministerio De Educación Nacional. Recuperado de: <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL005271.pdf>
- Márquez, C. y Prat, A. (2005). Leer en clase de ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 25(3), 4431-440.
- Martí, E. (2003). *Representar el mundo externamente. La adquisición infantil de los sistemas externos de representación*. Madrid: Machado Libros.
- Martí, E. (2012). Cognición y semiosis. En Carretero, M. y Castorina, J. (2012 comps). *Desarrollo cognitivo y educación [II]. Procesos del conocimiento y contenidos específicos*. Buenos Aires: Paidós.
- Martí, E., Gabuccio, F., Enfedaque, J. y Gilabert, S. (2010). Cuando los alumnos interpretan un gráfico de frecuencias. Niveles de comprensión y obstáculos cognitivos. *Revista IRICE*, 21, 65-80.
- Mattick, J. (2010). Los intrones. *Investigación y Ciencia Temas 59 ¿Qué es un gen?*, 13-19.
- Maturano, C., Aguilar, S. y Núñez, G. (2009). Conversión de imágenes al lenguaje escrito: un desafío para el estudiante de ciencias naturales. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(1), 63-78.

- Molist, P., Pombal, M. y Megías, M. (2011). *Atlas de histología vegetal y animal*. Dpto. de Biología Funcional y Ciencias de la Salud. Facultad de Biología. Universidad de Vigo. Recuperado de: <https://mmegias.webs.uvigo.es/descargas/v-meristemos.pdf>
- Moreira, M., Greca, I. y Palmero, M. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. *Revista brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2(3), 84-96.
- Morrison, M. (1999). Models as mediating instruments. En Morgan, M., y Morrison, M. *Models as mediators* (pp. 10-37). Cambridge: Cambridge University Press.
- Nersessian, N. (2008). Mental modelling, in conceptual change. En S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change*, (pp. 391-416). New York: Routledge.
- Occelli, M. y Pomar, S. (mayo, 2019). Modelizando síntesis de proteínas en la escuela secundaria con las TIC: una propuesta a partir de "la resistencia al VIH". V *Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales*. Universidad Nacional de La Plata. Ensenada. Recuperado de: [http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab\\_eventos/ev.11946/ev.11946.pdf](http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.11946/ev.11946.pdf)
- Occelli, M., y Valeiras, N. (2013). Los libros de texto de ciencias como objeto de investigación: una revisión bibliográfica, *Enseñanza de las Ciencias*, 31(2), 133-152.
- Oliva, J. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 37(2), 5-24. Recuperado de: <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648>
- Passmore, C., Svoboda Gouvea, J. y Giere, R. (2014). Models in Science and in Learning Science: Focusing Scientific Practice on Sense-making. En Matthews, M. (ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 1171-1202). Dordrecht: Springer Science.
- Perales Palacios, F. (2006). Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*.24(1), 13-30.
- Perales Palacios, F. y Jiménez, J. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 369-386.
- Perrin Glorian, M. y Baltar Bellemain, P. (2019). L'Ingenierie Didactique entre recherche et ressource pour l'enseignement et la formation des maitres. *Caminhos da*

*Educação Matemática em Revista/Online*, 9(1), 45-82. Recuperado de: [https://aplicacoes.ifs.edu.br/periodicos/index.php/caminhos\\_da\\_educacao\\_matematica/article/view/298](https://aplicacoes.ifs.edu.br/periodicos/index.php/caminhos_da_educacao_matematica/article/view/298)

- Postigo Y. y Pozo J. (1999). Hacia una nueva alfabetización: el aprendizaje de información gráfica. En: Pozo, J., y Monereo, C. (coord.), *El aprendizaje estratégico*. Madrid. Santillana.
- Postigo Y. y Pozo J. (2000). Cuando una gráfica vale más que 1.000 datos: la interpretación de gráficas por alumnos adolescentes. *Infancia y Aprendizaje*, 90, 89-110.
- Psillos, D., y Kariotoglou, P. (2016). Theoretical issues related to designing and developing teaching-learning sequences. *Springer Science*, 11-34 DOI 10.1007/978-94-007-7808-5\_2
- Roa-Acosta, R., García-Sandoval, Y. y Chavarro-Amaya, C. (2008). Formación de profesores de Biología a través de la Biotecnología. *Investigación Pedagógica*, 11(2), 69-88. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/834/83411206.pdf>
- Rodríguez Palmero, M., Marrero Acosta, J. y Moreira, M. (2001). La Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird y sus principios: una aplicación con modelos mentales de célula en estudiantes del Curso de Orientación Universitaria. *Investigações em ensino de ciencias*, 6(3), 243-268.
- Roldán, C., Vázquez, A. y Rivarosa, A. (2010). Un estudio sobre las consignas: las representaciones figurativas en las clases universitarias de ciencias. *Revista de educación en Biología*, 13(2), 30-37.
- Roni, C. Alfie, L. y Borches, E. (2013). Leer, escribir y..., YouTube? Una secuencia didáctica sobre Síntesis de Proteínas. *Revista de Educación en Biología* 16(1), 15-27.
- Roni, C., Alfie, L. D. y Borches, E. (septiembre, 2012). Entramar lectura, escritura y animaciones de Youtube. Una Secuencia didáctica sobre síntesis de proteínas. *III Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales*. Universidad Nacional de La Plata. Ensenada.  
Recuperado de: <http://jornadasecyn.fahce.unlp.edu.ar/III-2012>
- Roni, C., y Carlino, P. (2017). Reading to write in science classrooms: Teacher's and students' joint action. En Plane, S., Bazerman, C., Donahue, C., Rondelli, F., Boré, C., Carlino, P., Marquilló Larruy, M., Rogers, P. y Russell, D. *Research on*

- Writing: Multiple Perspectives*. Estados Unidos: The WAC Clearing house and CREM. Recuperado de: <https://www.aacademica.org/paula.carlino/230>
- Roni, C. y Carlino, P. (2018). Viejas y nuevas TIC para aprender biología molecular. En Occelli, M., García, L., Valeiras, N. y Quintanilla, M., *Las tecnologías de la información y la comunicación como herramientas mediadoras de los procesos educativos. Recursos y Experiencias*, 2, 36-59. Recuperado de: <https://www.aacademica.org/paula.carlino/239>
- Rotbain, Y., Stavy, R. y Marbach-Ad, G. (2008). The Effect of Different Molecular Models on High School Students' Conceptions of Molecular Genetics. *Science Education Review*, 7(2), 59-64.
- Sadava, D., Heller, G., Orians, G. Purves, W. y Hillis, D. (2009). *Vida: La Ciencia de Biología*. Buenos Aires, Ed. Médica Panamericana.
- Salsa, A. y Peralta, O. (2010). La influencia cognitiva, cultural y educativa de las representaciones externas. *Revista IRICE*, 21, 7-12.
- Sanmartí, N. Izquierdo, M. y García, P. (1999). Hablar y escribir. Una condición necesaria para aprender ciencias. *Cuadernos de Pedagogía*, 281, 54-58.
- Seringhaus, M., y Gerstein, M. (2010). ¿Qué es la ontología genética? *Investigación y Ciencia Temas 59 ¿Qué es un gen?*, 28-36
- Southard, K. Wince, T. Meddleton, S. y Bolger, M. (2016). Features of Knowledge Building in Biology: Understanding Undergraduate Students' Ideas about Molecular Mechanisms, *CBE Life Sciences Education*. 15, pp. 7-15; doi:10.1187/cbe.15-05-0114
- Sutton, C. (2003). Los profesores de ciencias como profesores de lenguaje. *Enseñanza de las ciencias*, 21 (1) 21-25. Recuperado de <https://ddd.uab.cat/record/1591>
- Tamayo Alzate, O. E. (2013). Modelos y modelización en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, Extra, 3484-3487. Recuperado de: <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/308487/398501>
- Tamayo, Ó. (2006). Representaciones semióticas y evolución conceptual en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas. *Revista educación y pedagogía*, 18(45), 37-49.
- Tapia Luzardo, F. y Arteaga Quevedo, Y. (2012). Selección y manejo de ilustraciones para la enseñanza de la célula: propuesta didáctica. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(3), 281-294.
- Tocoian, A. (2006). *Patrón genético de la hipolactasia de tipo adulto en los niños y adolescentes de Galicia*, Universidad de Santiago de Compostela. Facultad de

- medicina. Hospital clínico universitario. Departamento de Pediatría. Unidad de Investigación en nutrición y Desarrollo Humano de Galicia. p. 20. Recuperado de: [https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/2264/9788497508186\\_content.pdf;jsessionid=5918C9C78E6908BB03E7D17B17D2B054?sequence=1](https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/2264/9788497508186_content.pdf;jsessionid=5918C9C78E6908BB03E7D17B17D2B054?sequence=1)
- Tolchinsky, L. (septiembre, 2007). El desarrollo de la narración oral y escrita más allá de la infancia. *Coloquio Internacional: Las narrativas y su impacto en el desarrollo infantil*. Centro de Estudios Lingüísticos y Literarios. Recuperado de: <https://hispanismo.cervantes.es/congresos-y-cursos/coloquio-internacional-las-narrativas-su-impacto-desarrollo-linguistico-infantil>
- Tytler, R. y Prain, V. (2007). Representation and learning about evaporation. En Pinto, R., Couso, D. (eds). *Contributions from science education research* (pp. 237-248). Dordrecht: The Netherlands Springer.
- van Mil, M. Boerwinkel, D. y Waarlo, A. (2013). Modelling Molecular Mechanisms: A Framework of Scientific Reasoning to Construct Molecular-Level Explanations for Cellular Behaviour. *Science y Education*. 22, 93-118 Recuperado en <https://www.researchgate.net/publication/226907759>
- Vénica, C., Perotti, M., Wolf, I., Bergamini, C. y Zalazar, C. (2011). Intolerancia a la lactosa. Productos lácteos modificados. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, 65, 50-55. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/281589062\\_Intolerancia\\_a\\_la\\_lactosa\\_Productos\\_lacteos\\_modificados](https://www.researchgate.net/publication/281589062_Intolerancia_a_la_lactosa_Productos_lacteos_modificados)
- Vigotsky, L. (1978). *Pensamiento y lenguaje*. Buenos Aires: La playade.
- Vosniadou, S. (2013). Model based reasoning and the learning of counter-intuitive science concepts, *Infancia y Aprendizaje*, 36(1), 5-33, Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1174/02103701380482651>