



APRENDER SOBRE SÍNTESIS DE PROTEÍNAS: LA LÓGICA DE LOS ESTUDIANTES AL REPRESENTAR MODÉLICAMENTE

Learning about protein synthesis: students' rationale in model representation

Susana Beatriz Castronuovo [susanacastronuovo@gmail.com]

Laura Cecilia Acevedo [lceciliaacevedo@gmail.com]

*Instituto de Investigaciones CeFIEC (Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias)
-Facultad de Ciencias Exactas y Naturales- Universidad de Buenos Aires
Ciudad Universitaria- Int. Güiraldes, C1428 CABA, Argentina*

Resumen

Presentamos reflexiones enmarcadas en una investigación que estudia la función epistémica que cumplen las representaciones no textuales para aprender contenidos específicos de Biología. En este trabajo describimos y analizamos las acciones que realizan los estudiantes ante el pedido de representar cuando se les propone concebir el vínculo entre las proteínas, sintetizadas a nivel molecular, y su funcionamiento a nivel sistémico. Se asumió un estudio cualitativo de carácter descriptivo e interpretativo, recuperando algunos lineamientos de la Ingeniería Didáctica, lo que involucra la concepción y diseño, puesta en aula y análisis de una secuencia de enseñanza. La implementación se realizó en dos cursos de entre veinte y treinta estudiantes de un Profesorado de Biología de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. El análisis de las producciones de los alumnos nos permite sostener que existe una lógica presente en el momento de dibujar. Identificamos que los estudiantes: siguen un orden; seleccionan qué incluir y con qué tipos de marcas hacerlo; se apoyan en modelos convencionales ya conocidos; y excluyen aquellas ideas que no pueden argumentar en la oralidad. Estas dimensiones de análisis son ilustradas con representaciones prototípicas del conjunto de elaboraciones que conforman el corpus empírico de la investigación. Concluimos que tales acciones guardan relación con el conocimiento que portan del tema y con el grado de iconicidad o de abstracción que presenta el objeto representado para quien dibuja, lo que nos lleva a advertir la necesidad de seguir estudiando las relaciones entre lo conceptual y lo figurativo, interpretando que dichas vinculaciones no son biunívocas.

Palabras clave: representación externa; representación no textual; modelos; enseñanza de las ciencias; síntesis de proteínas.

Abstract

We present reflections framed in research that studies the epistemic function of non-textual representations to learn specific contents of Biology. In this paper we describe and analyze the actions that students perform to represent when they are asked to conceive the link between proteins, synthesized at the molecular level, and their functioning at the systemic level. A qualitative study of descriptive and interpretative nature was put in place, recovering some guidelines from Didactic Engineering, which involves the conception, design, classroom implementation and analysis of a teaching sequence. The implementation was carried out in two courses of between twenty and thirty students of a Biology Teacher Training Program in the Province of Buenos Aires, Argentina. The analysis of the students' productions allows us to sustain that there is a logic present at the moment of drawing. We identified that students follow an order; select what to include and with what types of marks to do so; rely on conventional models already known; and exclude those ideas that cannot be argued orally. These dimensions of analysis are illustrated with prototypical representations of the set of elaborations that make up the empirical corpus of the research. We conclude that such actions are related to the knowledge they have of the subject and to the degree of iconicity or abstraction that the represented object presents for the person who draws, which leads us to warn of the need to continue studying the relations between the conceptual and the figurative, interpreting that such links are not biunivocal.

Keywords: external representation; non-textual representation; models; science education; protein synthesis.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo nos proponemos describir y analizar las acciones que realizan los estudiantes ante el pedido de elaborar representaciones no textuales en una secuencia didáctica¹ para aprender sobre síntesis de proteínas en un Profesorado de Biología de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

La enseñanza habitual de este contenido se caracteriza por ser descriptiva y declarativa, y por apoyarse en esquemas, gráficos e imágenes disciplinares convencionales como aquellas presentes en los libros de texto. Sin embargo, aportes provenientes de las perspectivas constructivistas de la psicología del aprendizaje indican que se aprende a partir del conocimiento con que se cuenta sobre el tema en estudio. En este sentido, nos preguntamos por las posibilidades que tienen de comprender estas imágenes quienes se encuentran en situación de aprendizaje de este contenido.

Los antecedentes relevados sobre el abordaje de este tema nos permitieron identificar que se trata de un contenido complejo, abstracto (Roni, Alfie, y Borches, 2013; Díaz Velazquez & Covarrubias Papahiu, 2016; Occelli & Pomar, 2019) y lejano a los estudiantes en la medida que es poco frecuente que se les proponga reflexionar sobre su implicancia en la fisiología orgánica. Su abordaje en la formación de profesores resulta central porque al ser un proceso similar en todos los seres vivos, ofrece sustento a la interpretación de la evolución, y la aparición de nuevas secuencias génicas -nuevas posibles proteínas- constituyéndose como evidencia de la diversidad de especies.

La secuencia didáctica diseñada como parte de la investigación se inicia problematizando la enseñanza del vínculo entre las proteínas, sintetizadas a nivel molecular, y su funcionamiento a nivel sistémico. Dicha secuencia constituye el contexto en el que se solicita a los estudiantes representar para aprender sobre contenidos específicos. Los análisis de sus producciones no textuales nos permiten sostener que existe una lógica presente en el momento de dibujar. Hallamos que los estudiantes: siguen un orden; seleccionan qué incluir y con qué tipos de marcas hacerlo -textuales o pictóricas; se apoyan en modelos convencionales ya conocidos como sostén para imaginar y concebir procesos desconocidos; y excluyen aquellas ideas que no pueden argumentar en la oralidad. Ilustraremos estas dimensiones analíticas con una serie de representaciones que entendemos prototípicas del conjunto de elaboraciones que conforman el corpus empírico de la investigación.

Consideramos que desentrañar la lógica que siguen los estudiantes al representar constituye un aporte valioso para comprender los vínculos que se establecen entre lo figurativo y lo conceptual, así como para concebir posibles intervenciones docentes que favorezcan la reorganización del conocimiento de los alumnos.

El problema de la investigación

En el campo de la Didáctica de las Ciencias Naturales, desde hace varias décadas se interpreta que modelizar es una actividad intelectual donde se pueden vincular hechos con modelos producidos por otros reconstruyéndolos, y así explicar fenómenos bajo estudio y abordar nuevas cuestiones de interés no resueltas. En su mayoría se la asume como práctica científica-escolar (Gilbert & Osborne, 1980; Adúriz Bravo, Gomez, Márquez & Sanmartí, 2005; Adúriz Bravo & Izquierdo, 2009; Díaz Guevara, Garay Garay, Acosta Paz & Aduriz Bravo, 2019; Lozano, Aduriz Bravo & Bahamonde, 2020).

Algunas investigaciones analizan la incidencia de las representaciones gráficas de los libros de texto en la comprensión de los contenidos, y estudian como influyen en las prácticas docentes (Moya & Idogaya, 2021), otras analizan la incidencia de representaciones múltiples en la competencia argumentativa de los estudiantes (Mazo Cano & Bonilla Perez, 2021).

Los estudios que se focalizan en la elaboración de representaciones gráficas por parte de los estudiantes, sostienen que promueven el desarrollo de actividades cognitivas y favorecen la evolución de ideas de los estudiantes (Justi, 2006; Gómez Galindo, 2013; Acher, 2014) Otros argumentan que la elaboración de modelos conlleva a estimular destrezas prácticas (Gómez Díaz, 2018; Occelli & Pomar, 2019). En algunos casos, el pedido de modelización es solicitado para que se expliciten ideas previas (Justi, 2006; Ageitos Prego & Puig, 2016), mientras que en otros la mejora de la comprensión se sitúa en el momento de

¹ Este trabajo se enmarca en una investigación de tesis de maestría en la Enseñanza de la Ciencias Exactas y Naturales en la Universidad Nacional del Comahue (2021), realizada por Prof. Susana Castronuovo, dirigida por Dra. Cecilia Acevedo, y co-dirigida por Dra. Ana De Michelli)

la evaluación cuando además de representar se les pide una explicación escrita (Flores-Camacho, García-Rivera, Báez-Islas & Gallegos-Cazares, 2017; Flores Camacho, García-Rivera, Báez Islas, Gallegos-Cazares & Calderón-Canales, 2020). En la mayoría de estas investigaciones relevadas se trabaja con representaciones convencionales propias de la disciplina en cuestión.

En cambio, en nuestro trabajo, el pedido de elaboración de representaciones es solicitado para comprender un problema que no cuenta con modelos convencionales dentro de la disciplina. Y, además, se realiza con un propósito explicativo que se distancia de la explicitación de ideas previas y del arribo a los mismos modelos por otros elaborados. Por tal motivo, consideramos que existe un vacío respecto a cómo, haciendo uso de una imaginación informada, los estudiantes elaboran las propias. Nos preguntamos cuáles son los criterios a considerar desde la enseñanza para que los estudiantes se apropien de problemas relevantes de la Biología cuando se ven involucrados saberes de diferentes campos disciplinares. El primer objetivo planteado es:

- a- Caracterizar las condiciones didácticas en las que los estudiantes elaboran representaciones originales para aprender contenidos de relevancia de la Biología que no cuentan con ilustraciones convencionales acerca de la relación entre lo genético y lo fisiológico.

En función del momento de la secuencia en que se solicita la elaboración de representaciones también nos preocupa interpretar cómo usan las reglas de los sistemas de representación al estudiar un tema nuevo para ellos. Nos preguntamos por la lógica de quién aprende al representar y por las marcas que selecciona en relación con la complejidad del contenido involucrado, con la intención de comprender ideas movilizadas y el papel que cumple el conocimiento ya adquirido en lo nuevo por representar. Nuestro segundo objetivo es:

- b- Describir las acciones que los estudiantes despliegan cuando utilizan los sistemas de representación externa para aprender contenidos específicos.

Partimos de concebir la necesidad de que los futuros docentes puedan representarse el papel de las proteínas en el marco de la relación entre diferentes niveles de organización. Este recorte conceptual opera en la secuencia didáctica diseñada, cuya intencionalidad reside en que los estudiantes elaboren una representación para explicar un problema. Nos preguntamos de qué manera interviene lo figurativo cuando se trata de aprender aquello que todavía no se conoce siendo que las representaciones son solicitadas en un momento que antecede a la lectura de las explicaciones científicas. Por tal motivo nuestro tercer objetivo es:

- c- Identificar relaciones que se establecen entre lo figurativo (lo que se dibuja) y lo conceptual (lo que se puede significar) cuando se representa en situación de aprender contenidos específicos.

MARCO TEÓRICO

Partimos de concebir que elaborar representaciones supone una interacción entre un objeto que se externaliza y las ideas que tiene el sujeto de ese objeto. Producto de dicha interacción se inscriben marcas sobre el papel cuyas propiedades espaciales -por ejemplo, las relaciones de proximidad, la inclinación de los trazos, la distancia entre ellos- no son arbitrarias, sino que son portadoras de significado y pueden ofrecer dificultades para su interpretación (Martí, 2003). Las representaciones externas no son traducción directa de la realidad, sino modelos de la misma según determinadas restricciones. Salsa y Peralta (2010) y Tolchinsky (2007) sustentan 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. Se pueden considerar como herramienta epistémica que expanden la mente.

En situación de aprendizaje, las representaciones que los estudiantes elaboran según Lombardi, Caballero y Moreira (2009) se consideran pictóricas en la medida que se combina el mundo representante con las reglas de representación, promoviendo 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 lo es. Estos lineamientos nos permiten deducir que los dibujos ofrecen amplias posibilidades de expresar ideas provisorias que los estudiantes van construyendo. La primera de nuestras categoría de análisis: *representar siguiendo un orden determinado* se vincula con estas

orientaciones teóricas en la medida que las marcas que se incluyen y el momento en que se las inscribe guarda relación con la complejidad conceptual del objeto a representar.

Desde la epistemología, Giere (1992, 2004) entiende que la ciencia elabora modelos que le permiten entender porciones parciales del mundo, que con la observación y experimentación simplemente se revelan modificaciones temporales, pero no las causas que las producen ya que éstas suelen ser inobservables. Interpreta a los modelos como entidades abstractas similares al sistema real. Los considera mediadores entre la teoría y la realidad, que no derivan linealmente de los datos empíricos, sino que son construidos conceptualmente teniendo en cuenta factores relevantes del fenómeno. La elaboración de modelos es considerada una actividad compleja que ocupa un lugar central en la organización de las tareas cognitivas de los científicos, dado que pueden ser usados como dispositivos para realizar cálculos o para conceptualizar y demostrar ciertas probabilidades y sirven para comunicar hallazgos tanto dentro de la comunidad científica como hacia el resto de la sociedad.

La producción de modelos implica dos niveles de representación, la elección de atributos del sistema que son relevantes incluir, y la decisión de cómo representarlos en alguna forma material. *“Los modelos se diferencian de las formas de representación que adoptan. Al igual que existen múltiples modelos que pueden utilizarse para dar sentido a un fenómeno, también hay múltiples modos de representación que pueden adoptar cualquier modelo”* (Passmore, Svoboda Gouvea & Giere, 2014, p.1179). A menudo, estos dos niveles no pueden separarse, ya que las mismas ideas pueden transmitirse en una variedad de modos de representación, como diagramas, ecuaciones, modelos físicos o por escrito. Sin embargo, estos modos no deben concebirse como modelos diferentes en sí mismos. Esto nos lleva a reafirmar la distinción entre modelo y representación y a desarrollar herramientas analíticas a efectos de interpretar los aspectos figurativos de los modelos (nivel representacional).

Desde la Psicología cognitiva, Vosniadou (2013) asume que la elaboración de modelos implica una tarea cognitiva análoga al razonamiento de los científicos. El uso de modelos permite razonar sobre situaciones o fenómenos desconocidos, colaborando con la construcción de explicaciones. La actividad cognitiva que se pone en juego al aprender no es sólo un proceso interno sino uno distribuido entre lo interno, las representaciones externas simbólicas y el contexto situacional, incluyendo dentro de este último a los artefactos y sistemas simbólicos. En tal sentido, identificamos que en el momento de representar los estudiantes incluyen como parte de su dibujo ilustraciones de circulación habitual en la cultura. Nuestra segunda categoría de análisis *representar con apoyatura de imágenes convencionales* se sostiene en la tesis anterior en la que lo interno y lo externo interactúan en los procesos cognoscitivos.

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. Desde la Psicología genética, autores como Bovet, (1998) sostienen que los adultos cuando modelizan seleccionan algunos factores o atributos considerados móviles, flexibles y cambiantes y desconocen otros, produciendo centraciones conceptuales. Nuestra tercera categoría de análisis *representar excluyendo ideas que aún cuesta asimilar* se sustenta en que todo proceso de modelización no solo selecciona algunos factores y omite otros, sino que, de los seleccionados, algunos son prestigiados.

A partir de la lectura del amplio repertorio de investigaciones recorridas y los aportes provenientes de diferentes ciencias, decidimos reemplazar la denominación representaciones pictóricas o no textuales (Lombardi et al., 2009), por representaciones modélicas porque entendemos que las representaciones externas adquieren su carácter modélico cuando explican un fenómeno a estudiar. En nuestra investigación interpretamos que, en determinadas condiciones didácticas, las marcas que los estudiantes plasman en el papel permiten inferir sus explicaciones sobre el fenómeno estudiado, en este caso: cómo la síntesis de proteínas media entre la fisiología sistémica y la información genética.

METODOLOGÍA

La propuesta de investigación se enmarcó bajo la modalidad de estudio cualitativo de carácter descriptivo e interpretativo y recuperando algunos lineamientos de la Ingeniería Didáctica, sus revisiones y actualizaciones (Artigue, Douady & Moreno, 1995; Artigue, 2002; Perrin Glorian & Baltar Bellemain, 2019; Artigue, 2020). Sus orígenes se remontan a la Teoría de las situaciones didácticas (Brousseau, 1998) y en la Transposición didáctica (Chevallard, 1985). Optamos por esta metodología dado que la preocupación

principal reside en comprender la complejidad de la clase junto al estudio de las condiciones en las que la enseñanza puede colaborar con el aprendizaje de contenidos específicos.

La Ingeniería Didáctica involucra una interacción entre diferentes fases denominadas análisis preliminares, concepción y análisis a priori, experimentación, y análisis a posteriori que se destacan por la recursividad de las mismas y una validación esencialmente interna avalada por la confrontación de los análisis a priori con los a posteriori, por lo que, esta investigación no se limita a la fase de experiencia didáctica. Cabe destacar que una de las autoras de este artículo es investigadora y docente de los cursos en que se desarrollaron las puestas en aula de la secuencia, al igual que sucede en otros estudios de la didáctica específica (Gomez Galindo, 2013; Lozano et al., 2020). La docente, además de aportar su saber disciplinar y didáctico contribuye con su conocimiento sobre las características del grupo de estudiantes y los atravesamientos curriculares e institucionales. Esta decisión metodológica obedece a uno de los modos posibles de sortear la problematizada relación docente-investigadores entendida como ejecutores y productores de conocimiento. Otras modalidades adoptadas, que también siguen esta tradición en investigación, corresponden a la conformación de grupos de trabajo colaborativos (Desgagné, Bednarz, Lebuis, Poirier & Couture, 2001; Sadovsky, Itzcovich, Quaranta, Becerril & García, 2016; Sensevy & Bloor, 2019; Acevedo, Espinoza & Casamajor, en prensa).

En la fase de análisis preliminares nos ocupamos de seleccionar el contenido, recortamos y caracterizamos la enseñanza usual, relevamos las ideas de los estudiantes a partir de investigaciones recientes y de entrevistas clínico-didácticas -semiestructuradas- que nos permitieron estudiar las ideas que los sujetos despliegan en interacción con un objeto de conocimiento, a partir de sus argumentaciones y las contraargumentaciones presentadas por la docente-investigadora. Compartimos una de las ideas que interpretamos representativa de las entrevistas realizadas a alumnos de la carrera que ya habían pasado por el estudio del tema. A una de las entrevistadas, le preguntamos cómo vincularía la relación entre la fisiología sistémica y el material genético, quien explicitó su preocupación: “*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, 15-05-2018).

Este “vacío” se reiteró en distintas entrevistas y, sumado a las preocupaciones por la forma en que se enseña el contenido habitualmente, nos confirmó que una propuesta de enseñanza en la que las condiciones didácticas fueran diferentes podría colaborar con que los estudiantes vislumbren, orientados por la docente, las relaciones conceptuales que la síntesis de proteínas involucra.

La fase de los análisis a priori comprende una parte descriptiva en la que seleccionamos el contenido, caracterizamos las situaciones de enseñanza a incluir y las condiciones didácticas en las que las presentaríamos para sostener el trabajo en la clase. Si bien privilegiamos que los estudiantes elaboraran representaciones, dicha situación estuvo precedida por otra que permitiera instalar el objeto de estudio, y sucedida por propuestas de enseñanza donde los estudiantes analizaran lo representado, accedieran a los aportes de la ciencia y elaboraran escritos finales. Y otra parte predictiva, donde anticipamos cuáles serían las consideraciones didácticas pertinentes que colaborarían para que la elaboración de representaciones alcance su objetivo epistémico. En la metodología de la Ingeniería Didáctica los investigadores anticipamos y elaboramos hipótesis (Artigue et al., 1995, Artigue, 2002, 2020) que formarán parte de la triangulación interna entre análisis a posteriori y los a priori. Estas se basaron en:

- Un enfoque holístico que favorecería vislumbrar las repercusiones de un proceso realizado a nivel sub-celular en el funcionamiento de los sistemas. Lo proponemos en contraposición con la enseñanza usual valorada como descriptiva y fragmentada.
- Una situación inicial que vinculara el material genético y la fisiología orgánica a partir de un caso de estudio donde se cuestiona si la síntesis de una proteína en una célula determinada puede relacionarse con el funcionamiento de ese órgano o sistema de órganos. Esta consideración atiende a lo expresado por los estudiantes en las entrevistas cuando aluden a “un vacío” entre la síntesis proteica y el funcionamiento sistémico.
- La explicitación y discusión sobre diferentes factores involucrados -ADN y proteínas- su papel y su relación con lo producido a nivel celular o sistémico, con la intención de promover la movilidad de las ideas de los estudiantes.
- La producción de representaciones que incluyan relaciones entre distintos niveles de organización (celular y sistema de órganos) como desafío para explorar estas vinculaciones y

comenzar a construir nuevas relaciones conceptuales, cuestionando la disociación con la que habitualmente se enseña este contenido.

- La situación de representar propuesta antes de abordar la lectura de un texto con explicaciones científicas con la intención de favorecer la interpretación posterior de imágenes convencionales que la ciencia aporta.

La experimentación consistió en la puesta en aula de la secuencia diseñada e implementada en dos oportunidades, en cohortes sucesivas, con una duración de tres semanas en las que se desarrollaron tres clases de tres horas reloj cada una. La decisión de realizar dos puestas en aula posibilitó incrementar el corpus empírico y encontrar generalidades, como así también realizar ajustes entre ambas (Psillos & Kariotoglou, 2016) con el fin de mejorar la propuesta. Los dos grupos constituidos por entre veinte y treinta estudiantes del segundo año de la carrera de Profesorado de Biología, estuvieron a cargo de la primera autora de este trabajo quien desempeñó el rol de docente-investigadora.

El pedido de elaboración de representaciones en el marco de una secuencia didáctica, junto a otras situaciones de enseñanza, desafía cognitivamente a los estudiantes, les exige precisión al plasmar sus ideas sobre el papel, y admite su revisión junto a sus pares colaborando con la reorganización del conocimiento (Espinoza, Casamajor & Muzzanti, 2010; Espinoza, Casamajor, Muzzanti, Acevedo & Lifschitz, 2012; Acevedo et al., en prensa). A continuación, se comparte un esqueleto de la secuencia (tabla 1) en el que se enuncian por clase las situaciones de enseñanza y las intervenciones de la docente.

Tabla 1. Esqueleto de secuencia didáctica

Clase N°	Situaciones de enseñanza	Intervenciones de la docente
1	- Planteo de problema: ¿Cómo es posible vincular el material genético con la funcionalidad de los sistemas y cómo se entiende dicha relación?	- Presenta y contextualiza el problema. - Formula el interrogante inicial. - Promueve la expresión de dudas - Coordina discusiones.
	- Lectura del caso de estudio: Se lee un texto de divulgación científica (Vénica, Perotti, Wolf, Bergamini & Zalazar, 2011, p.50-51) que aborda la producción de la lactasa en el organismo, con la intención de pensar el problema planteado. - Lectura de Información Adicional: Se lee una selección de fragmentos informativos de distintos tipos de textos (Megías, Molist & Pombal, 2017; Tocoian, 2006) con el propósito de expandir algunas cuestiones morfológicas y fisiológicas sobre el lugar donde se produce la enzima -enterocitos. (Ver anexo)	- Plantea un caso de estudio. - Propone una revisión conjunta de la información aportada por los textos. - Describe oralmente aquellas estructuras anatómicas sobre las que los estudiantes preguntan, por ejemplo: glicocalix, zona apical, ribete en cepillo. - Promueve la discusión de ideas.
	- Diseño de representaciones: Los estudiantes producen en parejas sus propias representaciones en respuesta a la siguiente consigna: ¿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?	- Proporciona descripciones sobre estructuras anatómicas a los grupos que así lo requieran. - Indica que se focalicen en el objeto de estudio. - Impulsa a inscribir marcas pictóricas. - Sugiere que incluyan las ideas discutidas.
2	- Análisis en clase de las producciones representacionales: Los estudiantes cuentan con fotocopias de todas las representaciones. Se abre un espacio de intercambios orales sobre las dudas y/o aclaraciones que generan las representaciones propias y ajenas.	- Propone un espacio para explicitar oralmente los significados de lo representado. - Indaga el significado de algunas marcas. - Facilita los medios para que todos estudiantes puedan preguntar sobre los significados de las representaciones ajenas.
	- Lectura de texto expositivo: Se lee en clase un fragmento de un manual de Biología General (Sadava, Heller, Orians, Purves & Hillis, 2012), habitualmente utilizado por estudiantes que se inician en el nivel superior, en el que se detalla el proceso de síntesis. El texto se propone con la intención de acercar las explicaciones de la ciencia luego de haber elaborado sus propios modelos. - Explicación a cargo de la docente. Se explicita con imágenes convencionales y video el proceso de traducción con el propósito de confrontar las ideas de los estudiantes con las que la ciencia aporta.	- Plantea una revisión conjunta de la información aportada por el texto científico. - Procura que los estudiantes identifiquen las estructuras y moléculas que se presentan en el video sobre la transcripción. - Explica el concepto de traducción interactuando con los estudiantes por medio de una imagen convencional inscrita en papel y en video expandiendo la información que aporta el texto. - Estimula el intercambio de ideas. - Responde a las dudas que los estudiantes formulan en relación con los aportes de la ciencia.
3	- Escritura: Los estudiantes elaboran escritos cortos cuya consigna es: 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.	- Recupera oralmente todo lo trabajado en clases anteriores y propone la elaboración de un texto que explique el interrogante planteado en la primera clase. - Incentiva la escritura, orienta a responder la consigna.

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

En la fase de análisis a posteriori analizamos 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 previo al diseño de representaciones involucrando el análisis de las situaciones de enseñanza que anteceden a su producción,
- la situación de enseñanza en la que los estudiantes diseñan sus representaciones plasmando sus ideas sobre el papel.
- 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 también las situaciones de enseñanza posteriores a la elaboración de las representaciones.

Atento la extensión de la investigación original, decidimos compartir en este artículo el análisis realizado sobre cómo los estudiantes diseñan sus representaciones en clase produciéndolas bajo ciertas condiciones didácticas².

Escenario previo a la representación: el sistema empírico a explicar

La secuencia se inició con una revisión breve y oral a cargo de la docente sobre los temas estudiados con anterioridad (cuya organización conceptual fue propuesta a partir de contenidos de nivel macro como la fisiología de los sistemas, para luego pasar a contenidos de nivel micro como: núcleo celular, material genético, constitución y replicación del ADN) que desencadenó en una pregunta de la que no se esperaba respuesta concreta, sino que generara un espacio de intercambio de ideas. La misma pregunta se retomó al finalizar la propuesta de enseñanza. La pregunta inicial *¿Cómo es posible vincular el material genético con la funcionalidad de los sistemas y cómo se entiende dicha relación?* motivó discusión entre los estudiantes, quienes expresaron y movilizaron ideas. Cabe aclarar que este momento estuvo lejos de lo que habitualmente se conoce como indagación de ideas, sino que se propuso con la intención de instalar un problema en el que debían vincular los contenidos ya estudiados y comenzar a imaginar cómo explicar el nuevo contenido a estudiar.

Durante dicho intercambio se registró cómo fluctuaron las ideas de los estudiantes, quienes recurrieron al ADN, las proteínas y los genes para explicar la pregunta planteada. Interpretamos que los mismos son factores (Bovet, 1998) seleccionados por ellos con la intención de formular posibles respuestas al problema inicial. Discutieron, por ejemplo, cómo es posible que todas las células de un organismo puedan tener funciones tan distintas cuando conservan el mismo ADN. Otros alumnos afirmaron que *“Las proteínas se producen en las células en las que tiene sentido su producción. Ej. amilasa salival en glándulas salivales y no en músculo”*. Otros sostuvieron: *“En las células de la piel va a haber unos genes que se van a expresar y otros no, quedan dormidos”*. A pesar de que no todas las afirmaciones contaron con el mismo nivel de argumentación, podemos remarcar que la centración conceptual estuvo puesta en el ADN, ya que en reiteradas oportunidades lo seleccionaron por sobre las proteínas y los genes.

La propuesta de un caso de estudio tuvo como intención didáctica de configurar un sistema real a ser explicado (Giere, 1992; Lombardi, 2010) ofreciendo un referente común y compartido que permitiera situar el papel que cumplen los factores involucrados (ADN y proteínas). Dicho sistema, lejos de ser un a priori, quedó constituido por el accionar de una enzima sobre un sustrato en el sistema digestivo. La enzima seleccionada para el caso de estudio fue la lactasa debido a que, por un lado, los estudiantes ya conocían su actividad enzimática y por otro porque dicha molécula se produce en los enterocitos, actúa fuera de ellos sin desprenderse de su glicocalix, orientado su accionar hacia la luz intestinal, a diferencia de otras enzimas digestivas que luego de ser sintetizadas se secretan en el tracto digestivo para efectivizar su función.

² Para profundizar sobre el resto de los aspectos se puede consultar Tesis de Maestría mencionada en la nota al pie anterior; en Acevedo y Castronuovo (2021); en Castronuovo, Acevedo y De Michelli (2018); y en Acevedo et al., (en prensa)

Esperábamos que los estudiantes cuestionaran el centramiento conceptual sobre el ADN y se interrogaran sobre el papel de las proteínas.

A diferencia de la situación anterior donde se trató de instalar y contextualizar el problema a estudiar, en esta oportunidad son los estudiantes quienes aportan sus ideas y las discuten con sus pares. La propuesta didáctica consistió en desplegar interpretaciones a partir de un cuerpo de lecturas, sin imágenes: texto de divulgación referido a la lactasa y de información adicional que aporta información sobre morfología y función de los enterocitos. Ambas se realizaron en clase.

La lectura del caso de estudio sobre la lactasa permitió a los estudiantes 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 continuó invisible para casi la mitad de los estudiantes. Interpretamos que aquello que parece obvio para un conocedor del tema, es muy poco claro para quien transita su estudio. El trabajo didáctico propició una gran movilización de ideas y pocos consensos, entre ellas: si bien para algunos el material genético de las células se encarga de formar nuevas proteínas, y que para ello participa el ARN, la mayoría no logró asociar a los enterocitos como responsables de la síntesis de la lactasa; les resultó impensable que algunos genes se expresen y otros no, o que parte del material genético carezca de información aprovechable por la célula. Esta ausencia de consenso se consideró como escenario propicio en el que proponer a los estudiantes plasmar las ideas sobre el papel con una representación no textual.

Representar imaginando cómo explicar lo desconocido

El problema y el caso de estudio condicionaron el diseño de representaciones que se realizó a continuación. La consigna para esta tarea consistió en que los estudiantes, en parejas, representaran pictóricamente una explicación a los siguientes interrogantes ¿cómo es posible que se produzca la lactasa? y ¿cómo será su actuación para que los nutrientes de la lactosa puedan ser aprovechados? La propuesta se orientó a que asumieran el desafío de diseñar sus propias representaciones modélicas explicitando, reformulando, o “jugándose” por algunas de todas las ideas que circularon durante la situación anterior, vinculando el material genético con la fisiología sistémica. La elaboración contó con el insumo de contenidos ya estudiados, los intercambios de ideas y los textos leídos en esa clase, carentes de ilustraciones que los estudiantes pudieran considerar. La decisión del pedido de representar obedece a estudiar qué elementos ponen en juego y cuáles seleccionan al momento de representar, lo que se enmarca dentro del segundo objetivo de este trabajo.

Dado que en la secuencia se prestigió la movilización de ideas de los alumnos, la intervención de la docente se fundamentó en la acción didáctica caracterizada como dialéctica *reticencia-expresión* de Sensevy (2015, p.64): “*Cuando un profesor enseña, tiene que ser reticente (ser tácito, ocultar) sobre algunos significados, y tiene que expresar (explicitar, mostrar) otros*”. La docente decidió cuándo intervenir y cuándo callar, dependiendo de las necesidades y el momento en que se desarrollaba la secuencia. En sus intervenciones orientó a los estudiantes para que en la elaboración de las representaciones recuperaran las descripciones de los textos, brindó explicaciones sobre algún concepto que les generaba dudas, sugirió que se focalizaran en el objeto de estudio, invitó a inscribir marcas pictóricas, y estimuló a que incluyeran en las representaciones las ideas que aún eran inciertas.

Analizamos que los estudiantes realizan inscripciones sobre el papel desde una lógica conceptual que tiene sentido para ellos y que nos interesaba indagar. La revisión minuciosa de las representaciones y registros de clase nos permite señalar que la mayoría de los estudiantes representan siguiendo un orden, incluyendo diferentes tipos de marcas pictóricas y/o textuales según la exigencia de lo que se debe representar, en algunos casos recuperan en parte modelos convencionales por ellos conocidos, y otras veces excluyen ideas que aún les cuesta concebir.

a- Representar siguiendo un orden determinado

Reconocimos que hay un orden con el que los estudiantes inician la representación y con el que plasman marcas sobre el papel. En algunas representaciones señalan un punto de atención que luego es ampliado - como si se hiciera un zoom con una cámara- permitiendo observar el interior de una estructura (figura 1), en otras inscriben marcas que refieren a flechas indicando un recorrido posible (figura 2), en otras también se

aprecia el agregado de números que permiten detectar cuáles son las marcas iniciales y cuáles las finales (figura 3).

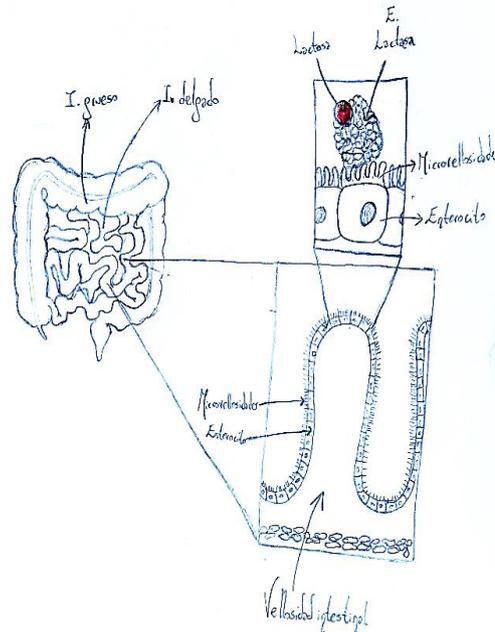


Figura 1 - El uso de ampliaciones. En el lado izquierdo de la figura se dibuja intestino delgado y grueso. A su derecha dos líneas amplían un corte de vellosidades intestinales, por encima, con mayor detalle, enterocitos con microvellosidades y sobre ellos lactasa y lactosa. (Representación de Luli-Natu. Clase 1-10-2018)

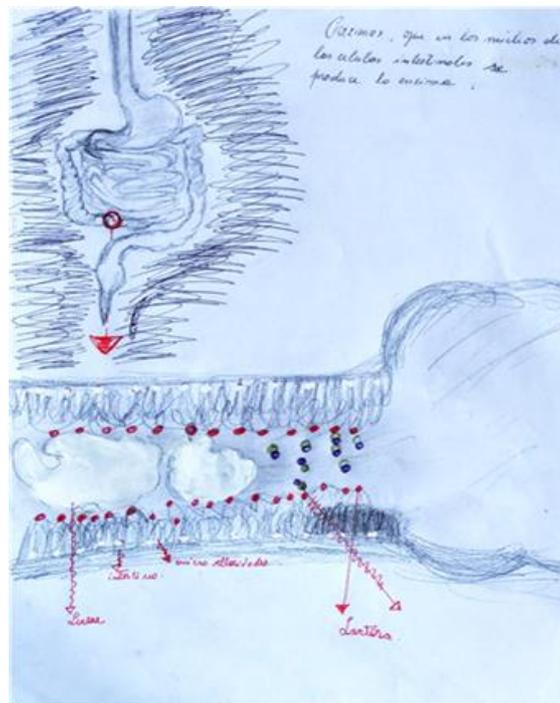


Figura 2 - La flecha como indicadora de un recorrido. En extremo superior izquierdo: gran parte del tubo digestivo con un círculo en rojo y una flecha que parece indicar que debajo se amplía parte de lo dibujado, incluyendo un corte longitudinal de intestino delgado donde se puede distinguir la enzima y el sustrato. (Representación de Maru-Sil. Clase 1-10-2018)

Como puede observarse en la figuras 1 y 2, los estudiantes primero incluyen marcas referidas a niveles de organización mayor, como sistema digestivo o intestino delgado, y luego, en muchas de sus ampliaciones, se pueden identificar otras que refieren a niveles menores de organización como: células (enterocitos), orgánoides (núcleo, ribosomas, aparato de Golgi, retículos endoplasmáticos) o moléculas (enzima lactasa, lactosa, glucosa, galactosa, ADN, ARN). Estimamos que dicho ordenamiento en la inclusión de diferentes niveles de organización se sustenta en sus propios conocimientos dado el nivel de formación en el que se encuentran. En la figura 3 se observa cómo los estudiantes organizan sus marcas en sectores que identifican con números, permitiendo seguir el orden en que fue producida.

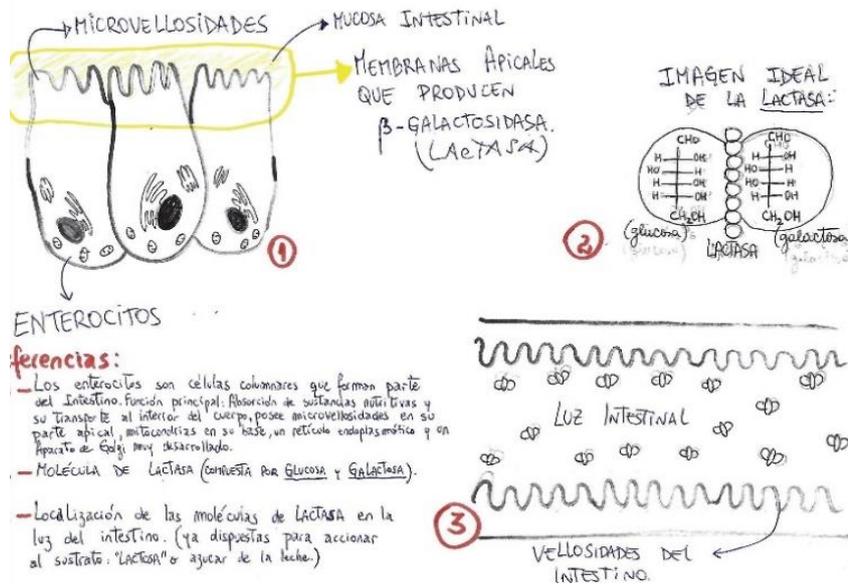


Figura 3 - La inclusión de la enumeración. Organización de dibujos e información escrita por medio de números que se identifican con un círculo rojo: en el 1, refieren a los enterocitos; en el 2, a la composición de la lactosa (aunque la identifiquen como lactasa); y en el 3 a un corte de intestino con vellosidades. (Representación de Alfi-Nani. Clase 9-09-2019)

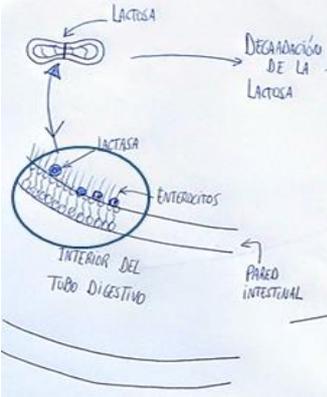
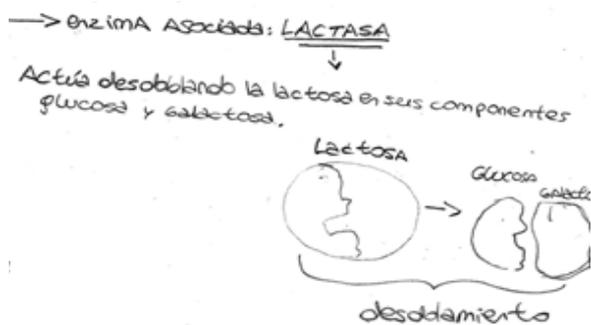
Algunas investigaciones (Drouin, 1987; Postigo & Pozo, 2000; Lombardi et al., 2009; Salsa & Peralta, 2010; Grilli, Laxague & Barboza, 2015) describen la relación entre el objeto a representar y su representación considerándolas como icónicas -analógicas- o arbitrarias -abstractas. Las icónicas son las que guardan mayor grado de analogía con lo representado -fotografía o dibujo científico- mientras que las abstractas son las que conservan un menor grado de analogía con lo que se pretende representar. En esta investigación interpretamos que lo más icónico corresponde a aquello que los estudiantes representan en un primer momento, apelando a la memoria de imágenes convencionales conocidas desde sus estudios de nivel primario y secundario: sistema digestivo, intestino delgado o 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.

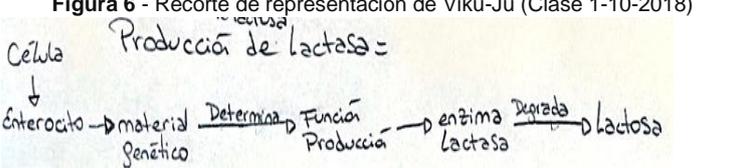
En cambio, lo más abstracto, que en su mayoría se representa en un segundo momento, refiere al accionar enzimático o a la síntesis de la proteína. Si se comparan ambos, también es posible otorgarles distinto grado de abstracción pues los estudiantes los representan contando con diferentes apoyaturas 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 les es más cercano, mientras que la producción de la enzima, tema que aún no ha sido estudiado, la representan apelando a su imaginación condicionada por los conocimientos que ya poseen, informaciones y discusiones dadas durante la secuencia. De este modo, recuperamos los aportes de los autores mencionados y agregamos que lo icónico y lo abstracto no pueden definirse por fuera de los conocimientos de quien representa, su propósito explicativo y el contexto disciplinar y de estudio en el que tiene lugar.

b- Representar utilizando marcas pictóricas y textuales

Identificamos que los estudiantes plasman sus ideas al papel recurriendo a marcas pictóricas y textuales cuya selección, lejos de ser azarosa, guarda relación con la naturaleza de lo que se debe representar (tabla 2) y con el conocimiento que poseen sobre el tema. Algunas investigaciones relevadas (Ainsworth, 2006; Gómez, 2008; Cook, 2011; Gómez Galindo, 2014) consideran que el uso coordinado de diversos modos semióticos o comunicativos, es decir representaciones múltiples -texto, imagen y sonido- favorece 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.

Tabla 2. La función de las marcas pictóricas y textuales en las representaciones realizadas por los estudiantes

Conceptos representados	Ejemplos: Recorte de representaciones	Función de las marcas utilizadas
El lugar donde actúa la lactasa	 <p>Figura 4 - Recorte de representación de Ezi-Migui (Clase 1-10-2018) En el círculo se observa la enzima ubicada en relación con los enterocitos.</p>	El sistema de representación pictórico permite dar cuenta de la posición que ocupa la lactasa en relación con los enterocitos del intestino. El sistema de representación textual es empleado para etiquetar partes de lo representado.
La acción enzimática de la lactasa sobre el sustrato	 <p>Figura 5 - Recorte de representación de Carli-Eri (Clase 9-9-2019) La primera flecha indica "enzima asociada: LACTASA". La inscripción textual 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>	Ambos sistemas de representación -el pictórico y el textual- son utilizados para expresar el mismo proceso: el accionar de la enzima sobre la lactosa.

Conceptos representados	Ejemplos: Recorte de representaciones	Función de las marcas utilizadas
<p>La síntesis de la proteína lactasa</p>	<p>Figura 6 - Recorte de representación de Viku-Ju (Clase 1-10-2018)</p>  <p>Bajo el título "Producción de Lactasa" se inscriben 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>El sistema de representación textual es empleado para explicar el papel del material genético de los enterocitos determinando la producción de la lactasa y su función.</p>

En este trabajo hallamos que cuando los estudiantes representan el lugar donde actúa la enzima, concepto que han estudiado con anterioridad, plasman marcas pictóricas acompañadas de etiquetas (figura 4), en cambio, cuando representan el accionar enzimático (figura 5) eligen preferentemente marcas pictóricas acompañadas de textuales, explicando el mismo proceso en los dos sistemas representacionales, y cuando se trató de un proceso desconocido para ellos, como la síntesis de proteínas (figura 6), privilegiaron el uso de marcas textuales. Lejos de pensar la relación entre ambos sistemas como una complementariedad, encontramos que las relaciones entre uno y otro varían en función de la naturaleza de lo representado y el conocimiento que posee del tema quien elabora la representación.

Cabe destacar una de las representaciones en la que dos estudiantes dibujaron las vellosidades intestinales dispuestas hacia el interior de las paredes del órgano. En algunas de esas vellosidades ubicaron a la lactasa, pero la enzima dispuesta de esa manera carecía de contacto con la luz intestinal. En la clase siguiente a la elaboración de las representaciones se trabajaron este tipo de aspectos con el grupo clase. Las estudiantes responsables de la representación descrita explicaron que para ellas la enzima actuaba tomando contacto con el sustrato y lo degradaba. Lo que aporta un dato más para estudiar las relaciones entre lo figurativo y lo conceptual, siendo que en este caso la idea sostenida por las alumnas es pertinente desde lo teórico, pero no así la figuración de la misma. Este momento de la secuencia no estuvo dedicado a destacar y corregir errores, sino para priorizar que los estudiantes pudieran exponer sus ideas e intentaran explicar un fenómeno natural, complejo y abstracto. A tal efecto, la docente intervino despejando dudas y corrigiendo conceptos estudiados con anterioridad, con la intención de prestigiar el problema acerca de la relación entre lo genético y fisiológico.

Representar con apoyatura de imágenes convencionales

Advertimos que cuanto menor es el conocimiento del proceso que deben representar, mayor es el uso de imágenes convencionales. Más arriba sostuvimos que se apoyaron de manera muy adecuada en la imagen del sistema digestivo con la intención de dar cuenta del accionar de la lactasa. Sin embargo, la inclusión de estas imágenes (figura 7) puede presentar una pertinencia parcial.

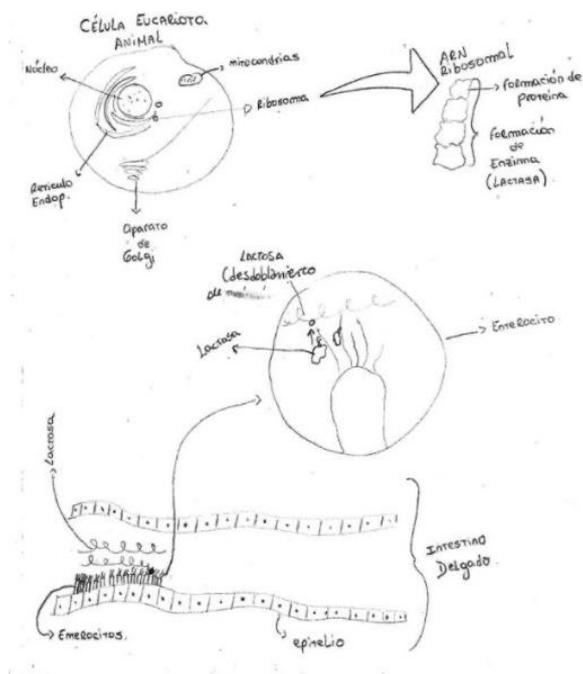


Figura 7 - Imagen convencional de célula. En extremo superior derecho: célula eucariota animal con organoides que se vincula a la formación de la enzima. En extremo inferior: corte longitudinal de intestino delgado con enterocitos y lactosa. (Representación Reni-Mar. Clase: 9-09-2019)

En la figura 7, nótese que sólo en la primera porción de la representación se parte de una imagen convencional genérica de célula, mientras que en la segunda se representa el tipo celular vinculado al caso de estudio, los enterocitos. Interpretamos que, para un proceso desconocido, como lo es la síntesis proteica, los estudiantes apelan, como soporte, a la imagen genérica de célula conocida. Mientras que un proceso ya estudiado, función enzimática, puede ser explicado sobre una célula cuyo formato es imaginado (nunca antes habían trabajado con éste) a partir de la descripción de un texto. Se estima que la relación es inversa. La inclusión de una imagen con menor grado de pertinencia es correlativa con el desafío intelectual que involucra representar un proceso desconocido.

c- *Representar excluyendo ideas que aún cuesta asimilar.*

Identificamos que, en ciertas oportunidades, los estudiantes deciden excluir algunas ideas de la representación en el papel cuando aún son provisorias o cuentan con pocos argumentos para justificarlas. En borrador (figura 8a) los estudiantes incluyen varias marcas textuales entre ellas la leyenda remarcada: “los enterocitos producen lactasa”. Durante la producción la docente sugiere que amplíen esa idea que es muy pertinente, sin embargo, en la entrega final (figura 8b) los estudiantes decidieron evitarla.

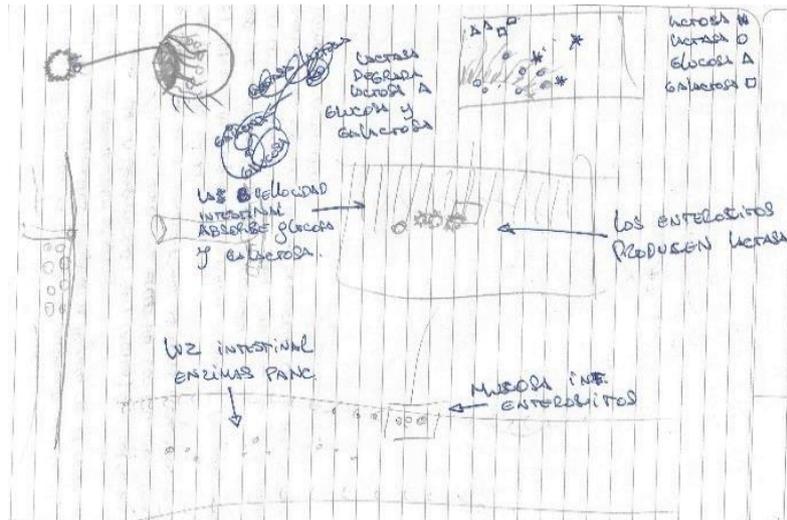


Figura 8a – Primera versión de la representación. En el óvalo dice: "Los enterocitos producen lactasa". La flecha parece indicar que los enterocitos se encuentran en las vellosidades intestinales. (Representación Ju-Lu-borrador- Clase 1-10-2018)

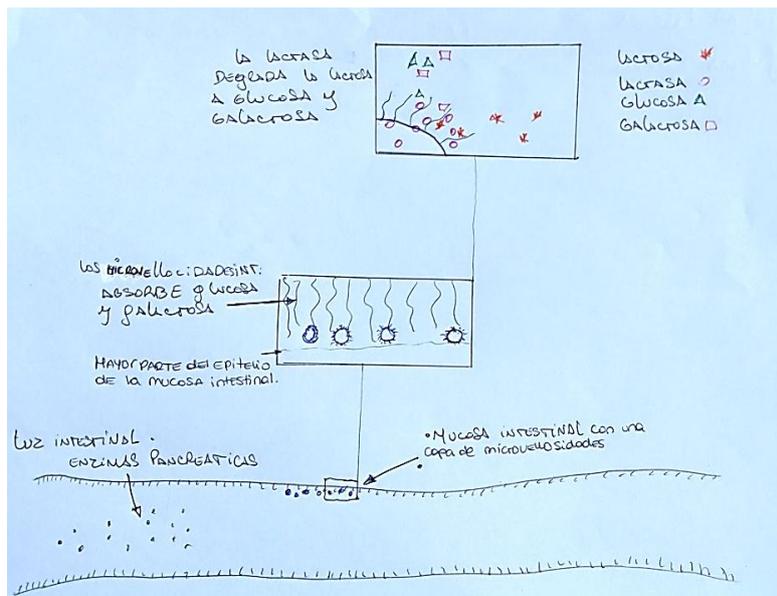


Figura 8b- Solo ideas que se pueden explicar. Las inscripciones finales no refieren a las células responsables de producción de lactasa. (Representación Ju-Lu -final- Clase 1-10-2018)

Lo que se puede pensar y lo que se puede plasmar sobre el papel no siempre es correspondido. Algunas cuestiones conceptuales pueden ser pensadas por los estudiantes y al mismo tiempo 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 alta provisoriedad, que se trata solo de una expresión que necesita más tiempo y mayor aproximación al objeto de estudio para ser explicada.

REFLEXIONES FINALES

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, de los intercambios producidos en clase y de lo leído sobre un caso de estudio. Sin establecer una relación lineal vale considerar que Sutton (2003) ha dado cuenta de 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.

En relación con el primer objetivo de este trabajo, sobre de *las condiciones en las que los estudiantes pueden elaborar representaciones originales para aprender contenidos relevantes de la Biología que no cuentan con ilustraciones convencionales acerca de la relación entre lo genético y lo fisiológico*, prestigiamos la presentación de un caso de análisis y la apropiación progresiva de un problema relevante cuya resolución involucra un genuino esfuerzo intelectual por movilizar ideas y conocimientos ya adquiridos. Destacamos la función epistémica que cumple el pedido de representar reside en explicar y apropiarse del problema de estudio. Entendemos como significativo el momento de la secuencia en que es solicitado representar para que la modelización cumpla con dicha función, puesto que no se propone ni indagar ideas previas, ni dar cuenta de lo recientemente aprendido.

En cuanto al segundo objetivo relativo a *las acciones que los estudiantes despliegan cuando utilizan los sistemas de representación externa para aprender contenidos específicos*, identificamos que algunas de las ideas se plasman sobre el papel antes que otras, que utilizan diferentes tipos de marcas, textuales y pictóricas, y que se apoyan en imágenes convencionales. Esta variación guarda relación con el conocimiento que se porta del tema, con el grado de iconicidad o de abstracción que presenta el objeto representado para quien dibuja.

Respecto al tercer objetivo y en relación con el anterior, aquello que se incluye y que se excluye de una representación nos lleva a seguir estudiando *las relaciones entre lo conceptual y lo figurativo*, interpretando que sus vinculaciones no son biunívocas. A veces se puede sostener una idea desde el punto de vista científico y la figuración de la misma ser leída, por quien sabe del contenido, como errónea; mientras que otras veces los estudiantes tienen ideas muy pertinentes, pero que al intentar figurarlas, las restricciones propias del sistema de representación pictórico intervienen condicionando su externalización; y en otras oportunidades la apoyatura en ilustraciones convencionales por parte de los estudiantes lleva al docente-investigador a inferir conocimientos sobre el tema (que rellena desde su experticia), que el estudiante puede estar, naturalmente, muy distante de conceptualizar.

Consideramos que los análisis realizados colaboran en concebir posibles intervenciones docentes que favorezcan la explicitación y reorganización de las ideas de los estudiantes. Por último, esperamos que este trabajo también impulse otras investigaciones orientadas a fortalecer el aprendizaje de contenidos científicos en el nivel superior, procurando además contribuir al estudio que cumplen los sistemas representacionales en el aprendizaje y a la formación didáctica de futuros docentes.

Agradecimientos

Expresamos nuestra gratitud a la entusiasta colaboración de los estudiantes del segundo año del profesorado en el que se implementó la secuencia. Y un reconocimiento especial para los compañeros del equipo UBACyT: Ana Espinoza, Adriana Casamajor, Silvina Muzzanti, Patricia Luppi y Facundo Dyszel con quienes compartimos la pasión de investigar sobre la enseñanza de las Ciencias Naturales.

REFERENCIAS

Acevedo, C. & Castronuovo, S. (2021). Leer para aprender Biología en el nivel superior. *Polifonías Revista de Educación*, 7(18),17-46. Recuperado de <http://www.polifoniasrevista.unlu.edu.ar/?q=node/5>

Acevedo, C., Espinoza, A. & Casamajor, A. La elaboración de representaciones modélicas para aprender Ciencias Naturales. *Revista IICE*, 50. En prensa.

- Acher, A. (2014). Cómo facilitar la modelización científica en el aula. *Tecné Episteme y Didaxis. TED*, 36, 63-75. <https://doi.org/10.17227/01213814.36ted63.75>
- Adúriz Bravo, A., Gómez, A., Márquez, C., & 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. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/270905240_LA_MEDIACION_ANALOGICA_EN_LA_CIENCIA_ESCOLAR_PROPUESTA_DE_LA_FUNCION_MODELO_TEORICO
- Adúriz Bravo, A., & 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. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273320452005>
- Ageitos Prego, N. & 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. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21172016180104>
- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and instruction*, 16(3), 183-198. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>
- Artigue, M., Douady, R. & Moreno, L. (1995). *Ingeniería Didáctica en Educación Matemática. Un esquema para la investigación y la innovación en la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas*. P. Gómez (ed.) Bogotá, Colombia: Una empresa docente y Grupo Editorial Iberoamérica, S. A. de C. V.
- Artigue, M. (2002). Ingénierie didactique: quel rôle dans la recherche didactique aujourd'hui?. *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
- Artigue, M. (2020). Didactic engineering in mathematics education. In S. Lerman (ed.), *Encyclopedia of Mathematics Education*. (2a ed.) (pp. 202-206). New York, United States of America: Springer
- 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, España: Paidós
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques (Didactique des mathématiques 1970-1990)*. Grenoble, France: La Pensée Sauvage
- Castronuovo, S., Acevedo, C. & De Michelli, A (2018). La elaboración de representaciones gráficas en el estudio de la síntesis de proteínas. En Martín, R., Lingua, G., Tello, N., García, L. (Comps.) Memorias de las Cuartas Jornadas de Investigación Educativa y Terceras Jornadas de Práctica de la Enseñanza del Profesorado en Ciencias Biológicas de la FCEfyN de la UNC. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Archivo Digital: online ISBN 978-950-33-1517-0 Recuperado de http://www.proy.bioweb-educa.efn.uncor.edu/?page_id=229
- Chevallard, Y. (1997). *La transposición didáctica*. Buenos Aires, Argentina: Aique
- Cook, M. (2011). Teachers' Use of Visual Representations in the Science Classroom. *Science Education International*, 22(3), 175-184. Recuperado de <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ941684.pdf>
- Desgagné, S., Bednarz, N., Lebus, P., Poirier, L., & Couture, C. (2001). L'approche collaborative de recherche en éducation: un rapport nouveau à établir entre recherche et formation. *Revue des sciences de l'éducation*, 27(1), 33-64. <https://doi.org/10.7202/000305ar>
- Díaz Guevara, C., Garay Garay, F., Acosta Paz, J. & 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. <https://doi.org/10.1344/did.2019.5.7-25>

- Díaz Velazquez, J. & 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. Recuperado de <http://www.revistas.unam.mx/index.php/eutopia/article/view/58021>
- Drouin, A. (1987). Des images et des sciences. *Aster*, 4, 1-32. <https://doi.org/10.4267/2042/9175>
- Espinoza, A., Casamajor, A. & 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
- Espinoza, A., Casamajor, A., Muzzanti, S., Acevedo, C., & Lifschitz, C. (2012). Las ciencias naturales en el aula. Cuando los alumnos son convocados a representar sus ideas. *Novedades Educativas*, 24(256), 36-43. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11336/69653>
- Flores-Camacho, F., García-Rivera, B., Báez-Islas, A., & Gallegos-Cázares, L. (2017). Diseño y validación de un instrumento para analizar las representaciones externas de estudiantes de bachillerato sobre genética. *RIEE. Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa*, 10(2), 151-169. <https://doi.org/10.15366/riee2017.10.2.008>
- Flores Camacho, F., García-Rivera, B., Báez Islas, A., Gallegos-Cazares, L. & 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. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i3.3101
- Giere, R. (1992). *La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo*. México, México: Consejo Nacional de Ciencia y tecnología
- Giere, R. (2004). How Models Are Used to Represent Reality. *Philosophy of Science*, 71, 742–752. <https://doi.org/10.1086/425063>
- Gilbert, J. y Osborne, R. (1980). The use of models in science and science teaching. *European Journal of Science Education*, 2(1), 3-13. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0140528800020103>
- Gómez Díaz, 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/X7qSUm0RTMp12D3ZoDq3EEwVixAbltuzVI5xZXdY.pdf>
- Gómez, A. (2008). Construcción de explicaciones multimodales: ¿Qué aportan los diversos registros semióticos? *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 4(2), 83-99. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=134112597006>
- Gómez Galindo, A. (2013). Explicaciones narrativas integradas y modelización en la enseñanza de la biología. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(1), 11-28 ISSN: 0212-4521. Recuperado de https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2013v31n1/edlc_a2013v31n1p11.pdf
- Gómez Galindo, A. (2014). El uso de las representaciones multimodales y la evolución de los modelos escolares. En C. Merino, M. Arellano, & A. Adúriz Bravo (Eds). *Avances en Didáctica de la Química: Modelos y lenguajes*. (pp. 51-61). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso
- Grilli, J., Laxague, M. & 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. <http://hdl.handle.net/10498/16926>
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las ciencias*, 24(2), 173-184. Recuperado de <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/75824/96328>

- Lombardi, G., Caballero, C. & 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. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376140381007>
- 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, Argentina: Lugar Editorial. Colección Nuevos Paradigmas
- Lozano, E., Adúriz-Bravo, A. & Bahamonde, N. (2020). Un Proceso de Modelización de la Membrana Celular en la Formación del Profesorado en Biología en la Universidad. *Ciência & Educação (Bauru)*, 26, 1-15. <https://doi.org/10.1590/1516-731320200027>
- Martí, E. (2003). *Representar el mundo externamente. La adquisición infantil de los sistemas externos de representación*. Madrid, España: Machado Libros
- Mazo Cano, J. & Bonilla Pérez, G. El uso de representaciones múltiples en clases de Ciencias Naturales para fortalecer la competencia argumentativa. *South Florida Journal of Development*, Miami, 2(3), 4643-4651. Recuperado de <https://southfloridapublishing.com/ojs/index.php/jdev/article/view/617>
<https://doi.org/10.46932/sfjdv2n3-063>
- Megías, M., Molist, P., & Pombal, M. (2017). *Atlas de histología vegetal y animal. Tipos celulares*. Recuperado de <http://mmegias.webs.uvigo.es/8-tipos-celulares/listado.php>
- Moya, C. & Idoyaga, I. (septiembre, 2021). Enseñar ciencias naturales con representaciones gráficas. Una propuesta para la formación docente continua. Memorias del V Congreso Latinoamericano de Investigación en Didáctica de las Ciencias. *Bio-grafía. Escritos sobre Biología y su enseñanza* Recuperado de <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/bio-grafia/article/view/14846>
- Ocelli, M. & Pomar, S. (mayo, 2017). 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 https://memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.11946/ev.11946.pdf
- Passmore, C., Svoboda Gouvea, J. & Giere, R. (2014). Models in Science and in Learning Science: Focusing Scientific Practice on Sense-making. En M. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*. (pp.1171-1202). Dordrecht., Netherland: Springer Science. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8_36
- Perrin Glorian, M. & 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/caminhos_da_educacao_matematica/article/view/298/202
- Postigo Y. & Pozo J. (2000) Cuando una gráfica vale más que mil datos: Interpretación de gráficas por estudiantes adolescentes. *Revista de Estudios de Educación y Desarrollo. Infancia y Aprendizaje*, 23 (90), 89-110. <https://doi.org/10.1174/021037000760087982>
- Psillos, D. & Kariotoglou, P. (2016). Theoretical issues related to designing and developing teaching-learning sequences. *Springer Science*, 11-34. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5_2
- Roni, C. Alfie, L. & Borches, E. (2013). Leer, escribir y..., YouTube? Una secuencia didáctica sobre Síntesis de Proteínas. *Revista de Educación en Biología*, 16(1), 15-27. Recuperado de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaadbia/article/view/22382>
- Sadava, D., Heller, G., Orians, G., Purves, W. & Hillis, D. (2012). *Vida: La Ciencia de Biología*. Buenos Aires, Argentina: Médica Panamericana

- Sadovsky, P., Itzcovich, H., Quaranta, M.E., Becerril, M.M. & García, P. (2016). Tensiones y desafíos en la construcción de un trabajo colaborativo entre docentes e investigadores en didáctica de la matemática. *Educación Matemática*, 28(3), 1-22. <https://doi.org/10.24844/EM3102.05>
- Salsa, A. & Peralta, O. (2010). La influencia cognitiva, cultural y educativa de las representaciones externas. *Revista IRICE*, 21, 7-12. Recuperado de <https://ojs.rosario-conicet.gov.ar/index.php/revistairice/article/view/v21n21a01>
- Sensevy, G. (2015). Analysing Teachers' Pedagogical Content Knowledge From the Perspective of the Joint Action Theory in Didactics. En M. Grangeat (Ed.), *Understanding Science Teachers' Professional Knowledge Growth* (pp. 63–85). Sense Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-313-1_5
- Sensevy G. & Bloor, T. (2019) Cooperative Didactic Engineering. In S. Lerman (Ed.) *Encyclopedia of Mathematics Education*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77487-9_100037-1
- Sutton, C. (2003). Los profesores de ciencias como profesores de lenguaje. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 21(1), 21-25. Recuperado de <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/issue/view/1816>
- Tocoián, A. (2006). *Patrón genético de la hipolactasia de tipo adulto en los niños y adolescentes de Galicia* (tesis doctoral) 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. Santiago de Compostela, España. Recuperado de https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/2264/9788497508186_content.pdf;jsessionid=5918C9C78E6908BB03E7D17B17D2B054?sequence=1
- Tolchinsky, L. (2007). The multiple functions of external representations: Introduction. En Teubal, J. Dockrell, & L. Tolchinsky (Eds.), *Notational knowledge. Developmental and historical perspectives* (pp. 1-10). Rotterdam, Netherlands: Sense
- Vénica, C., Perotti, M., Wolf, I., Bergamini, C. & 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
- Vosniadou, S. (2013). Model based reasoning and the learning of counter-intuitive science concepts, *Infancia y Aprendizaje*, 36(1), 5-33. <http://dx.doi.org/10.1174/02103701380482651>

Recebido em: 16.10.2021

Aceito em: 21.04.2022

Anexo: Información Adicional

Megías, M., Molist, P., y Pombal, M. (2017). *Atlas de histología vegetal y animal. Tipos celulares.*

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 mantienen 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 está 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 μm , 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, (2006) Patrón genético de la hipolactasia de tipo adulto en los niños y adolescentes de Galicia, Universidad de Santiago de Compostela. p20

“La lactasa o hidrolasa fluorizina 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).”