



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

***MAESTRÍA EN EDUCACIÓN EN CIENCIAS
EXPERIMENTALES Y TECNOLOGÍA***

**Caracterización de las representaciones
visuales de genética en libros de texto de
biología de segundo año de la educación
secundaria de la Ciudad de Buenos Aires**

2022

Autora: Michelle Alvarez

Director: Ignacio Idoyaga

Codirectora: María Gabriela Lorenzo

ISBN

AGRADECIMIENTOS

*“Agradece a la llama su luz,
pero no olvides el pie del candil que paciente la sostiene”*

Rabindranath Tagore

A mis directores, Dr. Ignacio Idoyaga y Dra. Gabriela Lorenzo, por abrirme las puertas del CIAEC, por su compañía a lo largo de la realización de esta tesis y su generosidad para enseñarme.

A las Dras. Nora Valeiras, Leticia García y Maricel Ocelli por llevar adelante la dirección de esta carrera de una manera tan profesional y humana, por haberme hecho sentir en casa desde el primer día.

A la Universidad Nacional de Córdoba por brindarme una formación tan valiosa.

A la Universidad de Buenos Aires por ser mi *alma mater*.

A mis docentes de la maestría por haberme invitado a pensar cosas nuevas. Gracias por compartírnos las anécdotas que hacen a la historia de la Didáctica de las Ciencias en Argentina. Gracias por ser quienes la forjaron y por hacernos parte tan generosamente.

A mis compañeros y compañeras de maestría por ser pares en este camino, por las anécdotas que construimos, los vínculos que generamos y los aprendizajes compartidos.

A la Dra. Claudia Lanari por sus consejos y enseñanzas que trascienden en el tiempo y me siguen marcando el rumbo.

A mis compañeros y compañeras del CIAEC por acompañarme en el proceso de esta investigación, ofreciéndome sus aportes, consejos y palabras de ánimo.

A la Profesora Paula Leales y al Profesor Gabriel Capuya, queridos convivientes en esta aventura, amigos, sostén y proveedores de momentos felices que guardaré con todo cariño en mi corazón.

Al Licenciado Germán Sánchez y la Profesora Belén Manfredi por acompañarme de cerca a pesar de la distancia, y cederme su tiempo para *estar* y revisar producciones.

Al Profesor Dr. Ezequiel Surace por asesorame con algunas lecturas importantes.

A la Dra. Citlali Peláez Zanatta por su compañía atenta y empática y por su colaboración inconmensurable en los análisis estadísticos de esta tesis.

A la Asociación de Docentes de Biología de la Argentina (ADBiA), que nos acompaña para seguir formándonos, y a mis compañeros y compañeras de la asociación, que han sabido entenderme en este proceso.

A todas las personas que fueron fuente de inspiración y que me impulsaron a avanzar.

A mis estudiantes, que día a día me enseñan que siempre nos queda algo por aprender.

A mis amigos y amigas, sostén fundamental, por ser andamio, impulso y fuente inagotable de risas.

A mis padres, Mario y Mónica, por el esfuerzo que hicieron toda la vida para darnos educación. Y por recordarme siempre qué es lo importante.

A mis hermanos, Mauro, Leandro y Verónica, por ser los que me enseñaron a compartir, y por acompañarme y ayudarme siempre.

A mi abuelo, Ítalo, por inculcarme los valores más importantes que tengo y habernos ayudado siempre. Por apoyar nuestros estudios y hacer esto posible.

A mi marido, Emmanuel, mi equipo, por la paciencia, amor e incondicionalidad.

A la vida, por mostrarme tantos caminos posibles y regalarme la posibilidad de elegir y transitarlos de manera consciente y reflexiva. Por permitirme conocer tanta gente maravillosa.

Gracias

Caracterización de las representaciones visuales de genética en libros de texto de biología de segundo año de la educación secundaria de la Ciudad de Buenos Aires

Resumen

En esta tesis se caracterizaron las representaciones visuales de genética y su uso en cinco libros de texto de biología, y se describieron los lineamientos para su abordaje según el diseño curricular de segundo año de Biología de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Se utilizó un diseño mixto de alcance descriptivo. El diseño curricular incluye referencias escasas y ambiguas sobre las representaciones visuales y su uso en clase. En los libros, las representaciones abundaron en las explicaciones y no en las actividades. En ambos casos, el tipo y nivel de representación variaron según el tema central. El tipo de representación más usado fueron los diagramas, visuales en explicaciones y verbales en actividades. Los resultados de esta tesis constituyen un aporte para la didáctica de la biología ofreciendo criterios para la vigilancia representacional de los libros de texto.

Palabras clave: representaciones visuales, enseñanza de la genética, materiales didácticos, educación media, didáctica de la biología.

Characterization of the visual representations of genetics in biology textbooks of the second year of secondary education

Abstract

In this thesis, the visual representations of genetics and their use in five biology textbooks were characterized, and the guidelines for their approach were described according to the curricular design of the second year of Biology of the Autonomous City of Buenos Aires. A mixed design of descriptive scope was used. The curricular design includes few and ambiguous references to visual representations and their use in class. In the books, the representations abounded in the explanations and not in the activities. In both cases, the type and level of representation varied according to the central theme. The most used type of representation were diagrams, visual in explanations and verbal in activities. The results of this thesis constitute a contribution to the didactics of biology, offering criteria for the representational surveillance of textbooks.

Key words: graphic representations, teaching of genetics, didactic materials, secondary education, didactic of biology.

ÍNDICE

Resumen.....	5
Capítulo 1: Introducción	
1.1. <i>Introducción.....</i>	9
1.2. <i>Problema y justificación de la investigación.....</i>	9
1.3. <i>Preguntas de investigación.....</i>	13
1.4. <i>Objetivos de la investigación.....</i>	15
1.5. <i>Estructura de la tesis.....</i>	15
Capítulo 2: Marco teórico	
2.1 <i>Introducción.....</i>	18
2.2 <i>Las representaciones externas.....</i>	18
2.2.1 <i>Definiciones y características principales de las representaciones externas</i>	18
2.3 <i>Las representaciones visuales.....</i>	29
2.3.1 <i>Definiciones y características principales.....</i>	29
2.3.2. <i>Clasificación</i>	31
2.3.4. <i>Clasificación de las RV en la educación en genética.....</i>	34
2.3.3. <i>Aportes historiográficos</i>	41
2.4 <i>La educación en genética y sus representaciones</i>	46
2.4.1. <i>Las representaciones visuales de genética en el desarrollo disciplinar y su trasposición a los libros de texto.....</i>	46
2.4.2. <i>Los contenidos de genética y sus representaciones en la educación secundaria.....</i>	54
2.4.3. <i>Los contenidos de genética y sus representaciones en los libros de texto de educación secundaria</i>	62
Capítulo 3: Metodología	
3.1. <i>Introducción.....</i>	73
3.2. <i>Enfoque metodológico.....</i>	73
3.3. <i>Análisis documental</i>	74
3.3.1. <i>Análisis del diseño curricular.....</i>	75
3.3.2. <i>Análisis de libros de texto.....</i>	76
3.3.2.1. <i>Análisis de contenido.....</i>	78
3.4. <i>Parte I. La genética y sus representaciones visuales en el diseño curricular de segundo año de la Nueva Escuela Secundaria.....</i>	80
3.5. <i>Parte II. Caracterización de las RV de genética de los libros de texto</i>	81
3.5.1. <i>Estudio 2</i>	91
3.5.2. <i>Estudio 3</i>	94

3.5.3. Estudio 4 95
 3.6. Diseño metodológico general 96

Capítulo 4: Resultados y discusión

4.1. Introducción..... 98
 4.2. Parte I. La genética y sus representaciones visuales en el diseño curricular de segundo año de la Nueva Escuela Secundaria..... 98
 4.2.1. Estudio 1. Descripción de los contenidos de genética y los usos de las representaciones visuales propuestos en el diseño curricular..... 98
 4.3. Parte II. Caracterización de las RV de genética de los libros de texto 100
 4.3.2. Estudio 2 Caracterización de las representaciones visuales de genética en las explicaciones de los libros de texto 100
 4.3.2. Estudio 3. Caracterización de las representaciones visuales de genética en las actividades prácticas de los libros de texto 126
 4.3.3. Estudio 4. Estudio comparativo entre las características de las RV de las explicaciones y actividades prácticas de genética de los libros de texto 138
 4.4. Resumen de resultados 146

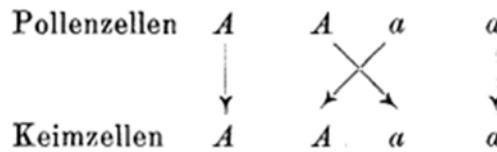
Capítulo 5: Conclusiones y perspectivas

5.1. Introducción..... 150
 5.2. Conclusiones 150
 5.4. Aportes para la enseñanza..... 157
 5.5. Perspectivas 159

Referencias bibliográficas 161

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

eine Pollenzelle a mit einer Keimzelle A , die andere mit a verbunden werden.



Das Ergebniss der Befruchtung lässt sich dadurch anschaulich machen, dass die Bezeichnungen für die verbundenen Keim- und

“Das Ergebniss der Befruchtung lässt sich dadurch anschaulich machen, dass die Bezeichnungen für die verbundenen Keimund Pollenzellen in Bruchform angesetzt werden, und zwar für die pollen zellen über, für die Keimzellen unter dem Striche.”

*El resultado de la fertilización se puede **representar** usando términos para las células germinales y de polen unidas en forma cruzada, arriba se encuentran las células de polen y debajo de la línea las células germinales.*

(Mendel, 1866, p.388)

1. Introducción

Este trabajo de investigación se centró en el estudio de las características de las representaciones visuales (RV) en los libros de texto (LT) empleados para enseñar contenidos de genética en el contexto de la asignatura Biología de segundo año de la Nueva Escuela Secundaria. A su vez, se indagó sobre cuáles son los lineamientos propuestos por el Ministerio de Educación en el diseño curricular (DC) en relación con el uso de las RV en la enseñanza.

En la enseñanza de la genética, al igual que en la de las Ciencias Naturales, se despliega una diversidad de modos de representación que incluye el lenguaje natural, las representaciones visuales y, en algunos casos, el lenguaje algebraico (Lemke, 2002). Por eso, tanto su enseñanza como su aprendizaje resultan complejos. Conocer las características de las representaciones visuales que se despliegan en una serie de libros de texto, permitirá echar luz sobre estos aspectos y tener más claridad sobre las restricciones que imponen estas representaciones. De este modo, es posible plantear estrategias que permitan abordarlas adecuadamente a lo largo de los procesos de enseñanza.

Es por eso por lo que, a lo largo de los estudios que componen esta tesis, se arribó a resultados que permitieron caracterizar las representaciones visuales de genética de estos libros de texto. Incluso, se analizan estas características en relación con diferentes temas centrales tratados en este nivel. Estos hallazgos constituyen información de utilidad a la hora de seleccionar las representaciones visuales para la enseñanza. Además, estas reflexiones aportan conocimiento valioso a la hora de seleccionar un libro de texto o material educativo con representaciones visuales.

En este Capítulo se introduce el problema de investigación y se exponen las razones que sostienen su relevancia para el campo. Luego, se presentan las preguntas que se espera responder a partir de la investigación realizada y se detallan los objetivos generales y particulares que orientan a este trabajo. Por último, se incluye un apartado que detalla la estructura del documento de la tesis y su organización a los fines de facilitar la lectura.

1.2. Problema y justificación de la investigación

Esta tesis se enmarca en el nivel secundario de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) cuyo proyecto educativo actual se denomina Nueva Escuela Secundaria (NES), particularmente en la asignatura Biología del segundo año. La formación de bachillerato en las escuelas medias de la CABA se organiza en dos ciclos: el ciclo básico y el ciclo orientado. El ciclo básico, de carácter común a todas las orientaciones, consta de primer

y segundo año y busca establecer las bases para la comprensión de los contenidos del siguiente ciclo. Por su parte, el ciclo orientado, de carácter diversificado y específico según la orientación, consta de tercer, cuarto y quinto año y busca preparar a los estudiantes para la formación superior a través de la consolidación de saberes generales y la introducción progresiva en un campo de conocimientos específicos (Ministerio de Educación, 2015a;b).

De esta manera, Biología de primer y segundo año son asignaturas que forman parte del ciclo básico, común a todas las orientaciones. Biología de primer año cuenta con 4 horas cátedra (40 minutos) semanales y versa sobre las características de los seres vivos, su diversidad y clasificación; el origen de la vida y los distintos tipos celulares; la reproducción de los seres vivos y la reproducción humana. Mientras que Biología de segundo año, avanza sobre aspectos que incluyen nuevos niveles de organización como la evolución de los seres vivos, las características de las células y su nutrición, la nutrición humana, herencia, ácidos nucleicos, reproducción celular, entre otros contenidos.

Estos contenidos, son fundamentales para la formación para la ciudadanía. En tiempos de emergencia sanitaria como los que se han dado en los últimos años, han adquirido especial relevancia, ya que permiten comprender aspectos vinculados a la innovación científica y tecnológica en el cuidado de la salud. Algunos ejemplos de ello son: las nuevas tecnologías del ADN, la biotecnología, el desarrollo de vacunas, clonación, la identificación de personas en la historia de nuestro país como la identificación de los nietos de desaparecidos en 1976 (recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/bndg/historia>), la genética reproductiva y sus aspectos éticos (Aristi, 2010), las pruebas de paternidad (Suárez Espino, 2008), la genética forense (Rocabado, Carvajal, Núñez de Arco y Corach, 2004), la generación de organismos genéticamente modificados, el cuidado del ambiente, entre otros.

Comprender estos temas permite tomar posición frente a los dilemas que se presentan en la actualidad. En consecuencia, es necesario propiciar una alfabetización en genética de los estudiantes (Stern y Kampourakis, 2017), tendiente a promover el entendimiento de las tensiones Ciencia, Tecnología y Sociedad, la toma de decisiones fundadas y la participación ciudadana. Para esto, dada la complejidad intrínseca de estos conceptos abordados durante la escolarización obligatoria (Martschenko, Trejo, Domingue, 2019), es necesario superar múltiples desafíos desde el punto de vista de la enseñanza.

Uno de estos desafíos está relacionado con que la enseñanza de la genética, se sostiene en un híbrido semiótico (Lemke, 2002) el cual incorpora el uso sinérgico de distintas representaciones externas. Entre ellas, se encuentran las representaciones visuales (RV). Las RV son el tipo particular de representación compuesta por diferentes elementos

(líneas, puntos, manchas, colores, etc.) cuya disposición en una superficie bidimensional encierra un significado (Pérez Echeverría, Martí y Pozo, 2010). Así, para alcanzar el significado canónico de las ideas propias de la genética es necesario recurrir, entre otros registros, a las RV y que los estudiantes puedan integrarlas en sus explicaciones (Lombardi, Caballero y Moreira, 2009). Por lo cual, la enseñanza de la genética demanda la enseñanza de un conjunto de RV específicas que surgen en el campo disciplinar y son transpuestas al campo escolar como parte de los contenidos a enseñar (Lorenzo y Pozo, 2010).

De esta manera, aprender genética implica aprender sus representaciones visuales. La comprensión de las RV del campo es posible si se cuenta con una alfabetización gráfica. Se entiende por alfabetización gráfica como la capacidad de leer, comprender y construir representaciones visuales para comunicar la información (López Manjón y Postigo, 2016). La alfabetización gráfica es necesaria para poder alcanzar una alfabetización científica de calidad (Legarralde, Ramírez, Vilches y Lapasta, 2013; Pozo y Postigo, 1999).

Las investigaciones actuales muestran que las RV utilizadas en la educación condicionan fuertemente el aprendizaje de los conceptos de genética (Flores Camacho, García Rivera, Báez Islas y Gallegos Casares, 2020). Por lo tanto, enseñar con representaciones constituye un reto y requiere la reflexión crítica de los docentes en torno a la naturaleza de estas, su selección y su uso, realizando una vigilancia representacional que permita propiciar mejoras en las propuestas de enseñanza en disciplinas de gran carga semiótica (Idoyaga y Lorenzo, 2021). Así, conocer las características de las RV que se utilizan en la enseñanza de genética, resulta un aporte importante en vías de poder conocer cuáles son las restricciones y dificultades que estas podrían representar. Y, por lo tanto, echar luz sobre algunos aspectos de la enseñanza de la genética con RV.

Una de las fuentes más utilizadas por los docentes como material de enseñanza y organizadores de sus clases son los libros de texto (LT). En estos, las RV ocupan un gran porcentaje de su superficie impresa (López Manjón y Postigo, 2014). La tradición comunicacional, la inclusión de determinadas representaciones en libros de alta difusión y las políticas editoriales traccionan las decisiones de los docentes (Aguilera y Perales, 2018). Si bien existen otros documentos con gran cantidad de RV a los cuales los docentes pueden recurrir a la hora de diseñar sus clases: páginas web especializadas, libros de texto de nivel superior, cuadernillos, entre otros; las RV que estos presentan son semejantes a las presentes en los libros de texto.

Actualmente, los LT siguen jugando un rol esencial en la educación media. Evidencia de ello es la cantidad de artículos que se han publicado en el último año cuyo objeto de

investigación son los LT, por ejemplo, el número especial de la revista *Scientia in educatione* acerca de las investigaciones en libros de texto de Ciencias Naturales publicado en 2021 (Rusek, 2021). También el hecho de que algunas instituciones educativas de CABA han puesto a disposición libros de editoriales reconocidas digitalizados en campus virtuales o páginas web a fines de emular la biblioteca escolar y que los estudiantes y docentes tengan acceso a su consulta. Incluso algunas editoriales como Puerto de Palos en el 2020 han compartido en sus páginas web de manera gratuita los libros de texto que tradicionalmente se comercializaban en papel para el nivel secundario.

Desde el ambiente académico hubo algunas iniciativas por generar libros digitales para la enseñanza de las Ciencias Naturales en estos contextos que, si bien incluyen aspectos novedosos como actividades interactivas, permiten recorridos no lineales, conservan la estructura y el estilo de las RV de los libros de texto tradicionales (Mandoza Castro, 2021). Por otro lado, algunos estudios que indagan sobre el rol de los materiales educativos en contexto de enseñanza remota de emergencia muestran que los libros de texto tradicionales siguen siendo incluidos como material de consulta obligatoria y opcional dentro de las propuestas educativas para la educación a distancia (Brown y Krzic, 2021). Por su parte, una serie de investigaciones sugieren que la investigación sobre LT de Ciencias Naturales puede contribuir a mejorar la producción de nuevos LT y a ofrecer lineamientos sobre su mejor aprovechamiento a docentes y formadores de docentes (Rusek, 2021).

Las investigaciones dedicadas al análisis de libros de texto y otros materiales han crecido en la última década, sobre todo en el nivel secundario. Sin embargo, en un relevamiento relativamente reciente de las publicaciones de investigaciones en LT se vio que son pocos los artículos dedicados particularmente a las imágenes o representaciones visuales en los LT de la enseñanza de las ciencias en general y de la biología en particular (Vojíř y Rusek, 2019). Esto da cuenta del aporte que representa esta tesis para el campo.

En Argentina existen algunos estudios sobre las imágenes utilizadas en LT para Biotecnología (Occelli, Valeiras, y Bernardello, 2015) y sobre la replicación del ADN (Rosenberg, Legarralde, y Vilches, 2015), no obstante, son pocas las investigaciones dedicadas al estudio de las RV de los contenidos de genética en LT. En consecuencia, resulta de interés conocer en profundidad la naturaleza y las características de las RV en una muestra de libros de texto de Biología utilizados para la enseñanza de los contenidos de genética. Esto permitirá identificar posibles dificultades para la enseñanza y proponer estrategias para el trabajo fundamentado con RV.

En este sentido, resulta de interés conocer los tipos de RV que se despliegan en los LT. Es decir, poder clasificar las RV según sean: ilustraciones, diagramas o gráficos (López Manjón y Postigo, 2014, capítulo 2, pp.35), ya que de esta manera es posible identificar qué tipo de relaciones se representan en las RV de los capítulos en estudio. Un segundo aspecto de interés son los niveles de representación que aparecen en dichas representaciones: macroscópico, microscópico, submicroscópico y simbólico (Tsui y Treagust, 2003, capítulo 4, pp.41). Este aspecto es relevante para la genética ya que esta es una disciplina que recurre a fenómenos de distintos órdenes de magnitud, lo que posiblemente esté plasmado en sus representaciones. A su vez, este último aspecto ha sido relevado como una de las dificultades a la hora de comprender genética (Duncan y Reiser, 2007). Por último, todos estos análisis se combinan con una clasificación de las RV de acuerdo con el tema central de la genética que representan: ácidos nucleicos, reproducción celular, herencia o tecnologías de los ácidos nucleicos (Aivelo y Uitto, 2019, capítulo 2, pp.55). Esto da cuenta de una investigación estrechamente ligada a los contenidos disciplinares por lo que sus resultados constituyen aportes de interés para la Didáctica de la biología.

En suma, esta investigación busca generar conocimiento original sobre las características representacionales de las RV presentes en algunos libros de texto de biología para la enseñanza de la genética en el segundo año del nivel medio.

1.3. Preguntas de investigación

El propósito de esta investigación fue caracterizar la naturaleza y usos de las representaciones visuales de genética en libros de biología de secundaria y su rol en el diseño curricular para contribuir con los procesos de vigilancia representacional al momento de enseñar con estos materiales didácticos

Las preguntas que orientaron la investigación fueron:

1. ¿Cuáles son los lineamientos del diseño curricular de la Nueva Escuela Secundaria (NES) respecto de los contenidos de genética a enseñar en Biología de segundo año y el uso de representaciones visuales en las explicaciones y actividades en este nivel?

Esta primera pregunta fue abordada a través del **Estudio 1**, el cuál incluyó las siguientes preguntas particulares: *¿Cuáles son los contenidos de genética prescritos por el diseño curricular de Biología de segundo año de la NES? ¿Este DC prescribe cómo debe ser el uso de las RV en la enseñanza de la genética? ¿Cuáles son los lineamientos respecto a*

los tipos de RV a utilizar y respecto del modo en que se articulan en la enseñanza? ¿Cuáles son los lineamientos respecto de las actividades con RV? ¿Qué tipo de actividades con RV propone este diseño curricular?

2. *¿Qué características tienen las representaciones visuales que se despliegan en las explicaciones de genética de los libros de texto de Biología de segundo año de la NES?*

Esta segunda pregunta general fue abordada a través del **Estudio 2**, el cuál incluyó las siguientes preguntas particulares: *¿Cuántas RV se despliegan en las explicaciones de genética de estos LT? ¿A qué temas centrales corresponden? ¿De qué tipo son? ¿A qué niveles de representación aluden? ¿Todos los temas centrales se enseñan recurriendo a los mismos tipos de RV? ¿Todos los tipos de RV aluden a los mismos niveles de representación? ¿Cuáles son los tipos de RV más frecuentes en esta muestra y qué características poseen?*

3. *¿Qué características tienen las representaciones visuales que se despliegan en las actividades prácticas de genética de los libros de texto de Biología de segundo año de la NES?*

Esta tercera pregunta general fue abordada a través del **Estudio 3**, el cuál incluyó las siguientes preguntas particulares: *¿Cuántas actividades con RV de genética aparecen en estos LT? ¿Qué tipo de actividad se propone con el uso de una RV? ¿A qué temas centrales corresponden? ¿De qué tipo son? ¿A qué niveles de representación aluden? ¿Qué cantidad y tipos de RV se utilizan en las actividades de cada uno de los temas centrales abordados? ¿Cuáles son los niveles de representación aludidos según el tipo de RV utilizado? ¿Cuáles son los tipos de RV más frecuentes en esta muestra y qué características poseen?*

4. *¿Cuáles son las semejanzas y las diferencias entre las representaciones visuales que se despliegan en las explicaciones respecto de las utilizadas en las actividades prácticas en esta muestra de estudio?*

Esta cuarta pregunta general fue abordada a través del **Estudio 4**. Por último, esta investigación busca generar aportes originales para la didáctica de las Ciencias Naturales. Así, como corolario de los resultados, se espera poder responder la siguiente pregunta:

1.4. Objetivos de la investigación

A partir de dichas se preguntas, se plantearon los siguientes objetivos de investigación:

Objetivo 1: Identificar los contenidos de genética y los lineamientos generales para el uso de RV propuestos por el DC de Biología de segundo año de la NES.

Objetivo 2: Documentar y caracterizar las RV de las explicaciones de los capítulos de genética de los cinco libros de texto de acuerdo con el tipo, nivel de representación y tema.

Objetivo 3: Documentar y caracterizar las RV de las actividades prácticas de los capítulos de genética de los cinco libros de texto acuerdo con el tipo, nivel de representación y tema.

Objetivo 4: Establecer comparaciones entre las características representacionales de las RV de las explicaciones respecto de las que se despliegan en las actividades prácticas en los capítulos de genética de los cinco libros de texto.

1.5. Estructura de la tesis

Este trabajo de tesis de maestría se organiza en cinco capítulos. El Capítulo 1 constituye la Introducción, tal y como se describió anteriormente.

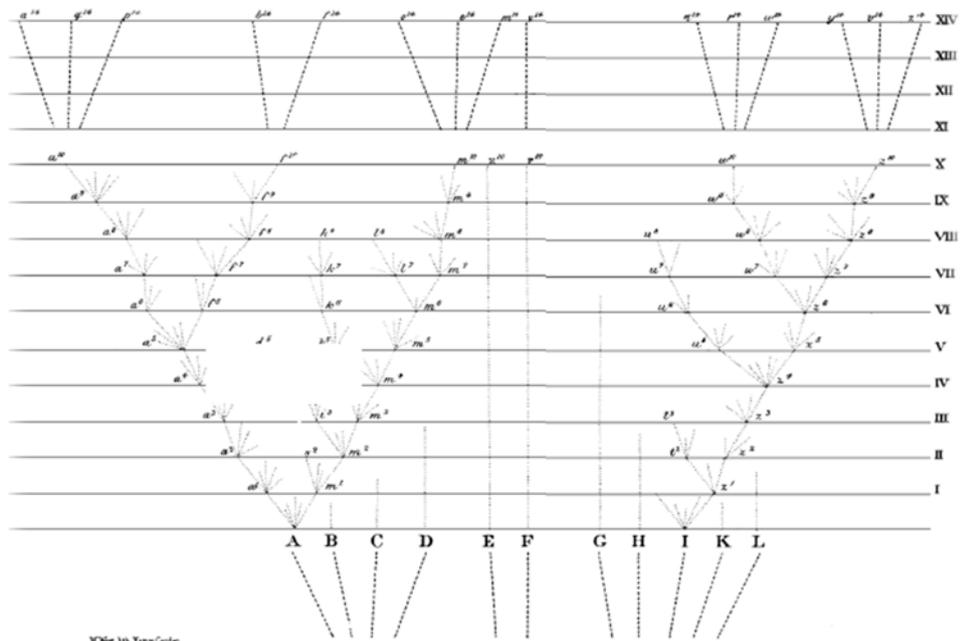
En el Capítulo 2, Marco teórico, se desarrollan los principales aportes teóricos recabados de la bibliografía que dan sustento a esta tesis. Se desarrolla como marco general la definición de representación externa y luego se avanza hacia la definición y características de las representaciones visuales. Por último, se relevan los aportes vinculados con las representaciones visuales de genética tanto en el ámbito disciplinar como en el ámbito educativo, para finalizar en su rol dentro de los libros de texto, objeto de estudio de esta tesis.

En el Capítulo 3, Metodología, se describen los aportes metodológicos que fueron empleados para desarrollar esta tesis. Considerando una investigación de tipo documental de alcance descriptivo con enfoque mixto. Se describe la técnica de análisis de contenido como estrategia metodológica para el análisis del DC y de los LT, respectivamente. Por último, y de manera particular, se presenta la metodología empleada para llevar a cabo cada uno de los estudios. En cada caso se detalla la muestra, se definen las variables en estudio, el procesamiento de los datos, la obtención de los resultados en relación con cada uno de los objetivos específicos.

En el Capítulo 4, Resultados, se presentan y discuten los resultados obtenidos a partir de la investigación. En la Parte I se describen los hallazgos del Estudio 1 en relación con los contenidos de genética y los usos de las RV en el diseño curricular. En la Parte II se presentan los resultados obtenidos en los Estudios 2, 3 y 4, a partir del análisis de las RV presentes en las explicaciones y las actividades prácticas de los libros de texto.

En el Capítulo 5, Conclusiones, se presentan las conclusiones de esta investigación, exponiéndose una síntesis de los resultados alcanzados. A su vez, se presenta una serie de recomendaciones para el trabajo con RV en las clases de genética, particularmente con libros de texto, como así también para futuros trabajos en esta línea de investigación.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO



[DIAGRAM OF DIVERGENCE OF TAXA]

“The accompanying **diagram** will aid us in understanding this rather perplexing subject. Let A to L represent the species of a genus large in its own country; these species are supposed to resemble each other in unequal degrees, as is so generally the case in nature, and as is represented in the diagram by the letters standing at unequal distances”

El **diagrama** adjunto nos ayudará a comprender este tema bastante desconcertante. Sean de A a L las especies de un género grande en su propio país; se supone que estas especies se parecen entre sí en grados desiguales, como suele ser el caso en la naturaleza, y como se representa en el diagrama por las letras situadas a distancias desiguales

(Darwin, 1859, pp.116)

2.1 Introducción

En este capítulo se presenta el marco teórico de la tesis. El mismo se encuentra organizado de lo general a lo particular comenzando por las definiciones y características principales de las representaciones externas, pasando por las representaciones visuales como tipo particular de las anteriormente mencionadas, hasta llegar a las representaciones visuales utilizadas en la enseñanza de la genética.

Como marco general, se recuperan los principales antecedentes del campo de la semiótica y la psicología cognitiva en relación con la enseñanza mediada por representaciones externas. Luego, se da paso a una revisión más exhaustiva en lo referido a las diversas clasificaciones existentes para el estudio de las representaciones visuales en la enseñanza de las ciencias naturales en general y de la genética en particular, por ser este el foco de interés de la tesis. Por último, se presentan los principales antecedentes de la bibliografía referidos al estudio de las representaciones visuales de genética en los libros de texto, materiales didácticos ampliamente utilizados en la educación secundaria.

2.2 Las representaciones externas

2.2.1 Definiciones y características principales de las representaciones externas

Los humanos entienden el mundo que los rodea y el mundo imaginario a través de representaciones. Estas representaciones pueden clasificarse en representaciones internas (RI) o privadas, y representaciones externas (RE) o públicas, (Duval, 1999). De este modo, las representaciones pueden ser entendidas como construcciones que resultan fundamentales en el establecimiento de intersubjetividades y, por lo tanto, imprescindibles en todo circuito comunicativo (Lemke, 2002).

Las RI son construcciones mentales que se forman en el plano privado a partir del aprendizaje y operan en todas las actividades de orden cognitivo. Por ejemplo, en la resolución de problemas, percepción, entre otros. Por su parte, las RE son públicas e involucran sistemas de signos que se relacionan entre sí a través de ciertas reglas y representan aspectos del mundo en su ausencia (Lombardi, Caballero, Moreira, 2009). Algunos ejemplos de RE son el lenguaje corporal, el lingüístico y las representaciones simbólicas, materiales y visuales.

Las RE pueden definirse como constructos de los sujetos que refieren a objetos, ideas o fenómenos. Estas representaciones están conformadas por un sistema de signos y reglas

de composición que permiten asociarle un significado (Pérez Echeverría, Martí y Pozo, 2010). Las RE se clasifican en no permanentes, como el lenguaje oral; y permanentes, como la escritura, los mapas o la notación numérica. Las primeras, se despliegan en el tiempo y no tienen materialidad, mientras que las segundas, se inscriben en una superficie física lo que permite su permanencia en el tiempo (Martí y Pozo, 2000). Esta característica facilita su manipulación y su conservación de una generación a otra (Martí, 2003).

Por otro lado, las RE se clasifican en lingüísticas o textuales y pictóricas o no textuales. Las representaciones lingüísticas son representaciones atómicas, de carácter simbólico que se caracterizan por la relación arbitraria existente entre el signo lingüístico y lo que el mismo representa. Por su parte, las representaciones pictóricas o visuales son representaciones molares y su estructura se semeja en mayor o menor medida al mundo que representa o bien al modelo conceptual que representa (Lombardi, Caballero y Moreira, 2009). De este modo, existen representaciones visuales de carácter más analógico, como los dibujos, y otras de carácter más arbitrario, como los gráficos, cuyas características se describirán más adelante. En contextos de enseñanza, por ejemplo, ambos tipos de RE operan de manera sinérgica para contribuir en la construcción de significados canónicos de las ideas de la ciencia.

En líneas generales, las RE están conformadas por cuatro componentes comunes (Lombardi, Caballero y Moreira, 2009) (pp. 156-157):

- Mundo representado o referente. Es aquel objeto o fenómeno representado que puede ser de naturaleza material o parte de un modelo conceptual (abstracto). Este está asociado al contenido y refiere al dominio sobre el que operan las representaciones.
- Mundo representante. Está constituido por un sistema de signos que pretende sustituir al mundo representado. En mundo representante posee características simbólicas y/o analógicas y constituye un sistema que preserva alguna parte de la información del mundo representado. Así, se da una relación de asimetría, el mundo representante no es equivalente al mundo representado ya que en el último se pierde información.
- Reglas de representación. Son las reglas que permiten relacionar el mundo representado con el mundo representante. Estas reglas permiten, por medio de un proceso cognitivo, atribuir significado a las representaciones. Por lo tanto, están condicionadas por las leyes, principios o teorías del campo disciplinar al que pertenece el referente o su representación.
- Un proceso cognitivo que implique el uso de la representación. Las RE se utilizan para llevar adelante diversas tareas cognitivas, como resolución de problemas,

razonamiento, la toma de decisiones y tienen un rol importante en el proceso de comprensión. Por lo tanto, puede decirse que los procesos cognitivos son intrínsecos a la idea de RE y tienen un papel preponderante ya que determinan los significados.

Las RE son una parte central de la construcción y comunicación del conocimiento científico. En el caso particular de esta tesis, el mundo referente al que se hará alusión son los conceptos y fenómenos pertenecientes al campo de la genética. El mundo representante está conformado por todas las representaciones que surgieron en dicho campo disciplinar y también aquellas que son utilizadas para su enseñanza. Dentro de estas, son de interés un tipo particular: las representaciones visuales.

En cuanto a las reglas de representación, puede decirse que conocerlas es imprescindible para la construcción, transformación, comprensión y utilización de las RE. En este sentido, el campo de la semiótica ofrece aportes para definir mejor estas ideas que se abordan a continuación.

El concepto de RE utilizado en las ciencias cognitivas puede ser analogado al concepto de signo utilizado en la semiótica. Mientras que las RE son notaciones que re-presentan, es decir, vuelven a representar algún aspecto del mundo en ausencia de él (Eysenk y Keane, 1990); los signos son trazos materiales que remiten al lector a algo diferente al signo, su referente (Roth, 2002). Como se desarrollará más adelante, los signos son representaciones en la medida en que existe un proceso que permita interpretar la representación (Lombardi, Caballero y Moreira, 2009). El campo que se encarga del estudio de los sistemas de signos y sus significados es la semiótica. Por lo tanto, es menester definir algunas ideas fundantes de esta disciplina que abonen a la construcción del concepto de RE, troncal para este trabajo, de una manera más acabada.

La semiótica es una disciplina relativamente nueva que comienza a delinearse a comienzos del 1900s con los aportes de Saussure y continúa con Pierce y Eco años más tarde. Saussure, un pionero de este campo, plantea que la semiótica podría ser la ciencia que describe en qué consisten los signos y cuáles son las leyes que los regulan. Saussure define al signo como una entidad con dos caras: *significant* (significante) y *signifié* (significado). Así, el significado es el contenido del significante (Eco, 2000). Esta definición ha anticipado y determinado todas las definiciones posteriores de la función semiótica.

En este marco, el significado se refiere a la actividad mental de los individuos dentro de la sociedad. Por ello, se consideraba implícitamente el signo como artificio comunicativo en el cual, la relación entre significante y significado se establece sobre la base de un

sistema de reglas. Además, Saussure distingue los signos intencionales y artificiales, entendidos como “signos” en sentido propio, y todas aquellas manifestaciones naturales y no intencionales a las que, en rigor, no atribuyen el nombre de signos.

Luego, Pierce, considerado el padre de la semiótica moderna, entiende por semiosis una acción que supone una cooperación de tres elementos: un signo o representamen, un objeto y su interpretante (Figura 2.1). Esta actividad tiene influencia trirelativa y en ningún caso puede entenderse a partir de dos componentes. Según Pierce, un signo es algo que está en lugar de alguna otra cosa para alguien en ciertos aspectos o capacidades (Eco, 2000).

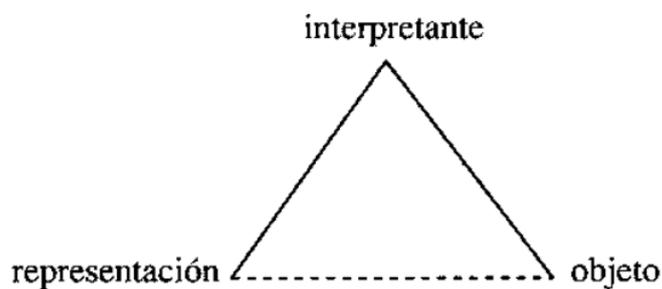


Figura 2. 1. Triángulo de Pierce (Tomado de Eco, 2000).

Un signo puede representar alguna otra cosa en opinión de alguien solo porque esa relación (representar) se da gracias a la mediación de un interpretante. Esta definición, a diferencia de la de Saussure no requiere como condición necesaria para la definición de signo que éste se emita intencionalmente ni que se produzca artificialmente. Por tal motivo, resulta más amplia y se aplica incluso cuando los fenómenos no tienen un emisor humano, por ejemplo, los síntomas meteorológicos. Así entiende como signo a toda cosa que pueda estar en lugar de otra y que requiere de la acción de un interpretante para poder atribuirle cierto significado.

Los signos se clasifican en tres grandes grupos según Pierce:

- Los íconos. Son aquellos que sirven para transmitir ideas de las cosas que representan imitándolas (Pierce, 1894). Es decir que un ícono representa a su objeto a través de una relación de semejanza con el mismo. Esta semejanza puede ser más o menos evidente. Por ejemplo, en el caso de las fotografías, son altamente similares a los objetos que representan y su correspondencia punto por punto las hace ser muy instructivas. Los diagramas representan las relaciones de las partes de una cosa mediante relaciones análogas entre sus propias partes. En este caso, si bien no hay parecido sensorial entre el diagrama y su objeto, hay una analogía entre las relaciones de las partes de cada uno. Por último, las metáforas son

aquellos íconos que representan el carácter representativo de un ícono representando un paralelismo en algo distinto (Pierce, 1903).

- Los índices. Son aquellos que muestran algo sobre las cosas por estar físicamente conectados con estas (Pierce, 1894). Los índices funcionan centrando la atención y conectando al interpretante con el objeto (Pierce, 1903). Por ejemplo, el sonido de una centrífuga en un laboratorio de investigación constituye un índice para quien la esté utilizando e indica que el proceso de centrifugación ha finalizado y que es momento de sacar los tubos.
- Los símbolos. Son signos cuyo significado está determinado por el uso en base a convenciones que se hace de los mismos (Pierce, 1894). Por lo tanto, su carácter representativo estará dado por las reglas que determine su interpretante. Las palabras, frases, libros y otros signos convencionales son símbolos. En el caso de una palabra, tanto la palabra como su significado se construyen en base a reglas generales (Pierce, 1903). Por ejemplo, la palabra cromatina no tiene existencia en sí misma, sin embargo, refiere a un objeto que tiene existencia material. En primer lugar, para leer la palabra es necesario conocer las reglas de lectura occidental en orden de izquierda a derecha, conocer las letras y sus sonidos. Luego, desde el punto de vista del significado, es necesario asociar la palabra a algo ya conocido.

Al analizar el triángulo de Pierce es posible identificar una relación con los componentes de las RE mencionados anteriormente. En ambos casos se destaca el rol esencial que tiene el interpretante y su cognición, ya que los signos o representaciones existen como tales si y solo si existe un interpretante capaz de procesarlo cognitivamente y atribuirle un significado. En caso contrario, ese signo no existe como tal y permanece como un objeto físico. Este aspecto adquiere especial relevancia en el contexto educativo. El interpretante, en este caso el alumno, debe ser capaz de interpretar los signos y emplearlos en la construcción del conocimiento.

A su vez, el proceso de atribución de significado a las diferentes representaciones que se despliegan durante la enseñanza requiere poner en relación el mundo representado, el representante y las reglas de composición de la representación. Este proceso cognitivo, altamente demandante, no es natural y debe ser enseñado (Pérez-Echeverría, Martí, y Pozo, 2010). Así, contrario a lo que intuitivamente se piensa, las RE podrían constituir obstáculos para el aprendizaje (Alvarenga, 2001; Bachelard, 1948) o, por el contrario, operar como prótesis cognitivas (Pozo, 2017).

Estos signos están presentes en el circuito comunicativo que se da en las clases de ciencias en forma de palabras, gestos, imágenes, gráficos, entre otros. En la educación en Ciencias Naturales, en general, y en genética, en particular, se recurre a un discurso nutrido por

distintos registros semióticos como el lenguaje natural, el lenguaje gráfico, el lenguaje matemático y el lenguaje gestual (Lemke, 2002). Así, se establece la comunicación a partir de un híbrido semiótico en el cual estos sistemas operan de manera conjunta presentando aspectos particulares del fenómeno en cuestión. Recurrir a este híbrido semiótico es una necesidad impuesta por la naturaleza de los contenidos que se quieren comunicar.

Los diferentes registros se utilizan de manera conjunta con el objetivo de completar la información. Así, el uso de múltiples representaciones lleva a una sinergia entre ellas, a través de dos tipos de relaciones: relación de cooperación, cuando los diferentes modos de representación aluden al mismo aspecto del fenómeno, o de especialización cuando aluden a aspectos diferentes y complementarios (Márquez, Izquierdo y Espinet, 2003). Es decir que, lejos de estar presentando información redundante, el significado de una palabra puede ser modificado por la imagen y viceversa.

Por lo tanto, los distintos registros operan de manera multiplicativa o sinérgica otorgando un nuevo significado a lo que se quiere comunicar. A su vez, la inclusión de diferentes tipos de representaciones pictóricas o visuales en un mismo constructo, permiten representar por ejemplo diferentes niveles estructurales (macroscópico, celular, subcelular o simbólico, por ejemplo). Esto da cuenta de la potencialidad que tiene combinar representaciones lingüísticas con diferentes tipos de representaciones visuales (Lombardi, Caballero y Moreira, 2009). Al mismo tiempo, esto refleja la complejidad intrínseca del discurso científico y, por ende, de su enseñanza.

Estos aportes de la semiótica ofician de marco para entender el modo en que los signos, sus referentes y quienes los interpretan se relacionan en la construcción de significados. Así, los contextos educativos se amplían e incluyen signos y sus reglas, considerando su influencia sobre los procesos de enseñanza y de aprendizaje (García García y Perales Palacios, 2006). De este modo, se hace imposible investigar problemas de la didáctica de las Ciencias Naturales, sin prestar atención a dichos signos y reglas que constituyen sus modos de comunicación.

En este sentido, es menester recuperar el cuarto componente común a toda RE: los procesos cognitivos implicados en su uso. Las RE pueden ser utilizadas para llevar adelante diversas tareas cognitivas, como resolución de problemas, razonamiento, la toma de decisiones y tienen un rol importante en el proceso de comprensión. Es por esto por lo que los procesos cognitivos son intrínsecos a la idea de RE y se hace necesario detenerse en esos procesos.

Como se ha desarrollado anteriormente, si bien las RE pertenecen al ámbito público, estas interactúan con las RI en un proceso dialéctico, permitiendo, tanto la exteriorización de estas últimas (Pozo, 1999) como la adquisición de nuevos conocimientos. Por tanto, no sólo constituyen los canales por medio de los cuales circula el conocimiento, sino que son en sí mismas formas de conocer y aprender (Pérez Echeverría y Scheuer, 2009). De este modo, el procesamiento y construcción de RE requiere de funciones cognitivas propias cuando se utilizan en una determinada tarea (Martí, 2003) y su adquisición es un lento proceso que se da a lo largo de todas las etapas educativas. Esto da cuenta de la necesidad de revisar algunos aportes de la psicología cognitiva que sirvan de anclaje para pensar el problema propuesto en esta tesis.

En primer lugar, existen dos formas básicas de significar: hay signos cuya relación con su referente está motivada y otros, cuya relación es arbitraria (Harris, 1995 en Pérez Echeverría, Martí y Pozo, 2010). Las formas de significar arbitrarias tienen reglas de composición interna más cerradas respecto de las formas de significar figurativas. Es decir, que la relación de significación en el caso de un dibujo, como ejemplo de relación signo-referente figurativa, puede construirse a partir de las características del referente. De esta manera, si tomamos diferentes referentes, cada vez que se represente uno de ellos, quien intente comprender esa representación, deberá conocer reglas de composición interna específicas una y otra vez.

En el caso en que la relación signo-referente sea arbitraria, la comprensión se basa en las reglas arbitrarias del sistema. Independientemente de cuál sea el referente, estas reglas se pueden aplicar. Por ejemplo, en el caso del lenguaje natural una vez que se conocen las reglas de composición, estas pueden ser trasladadas para la lectura de todas las palabras.

Otro elemento aporta a los modos de significar son los niveles de estructuración de las RE que propone Pozo (2017). Este autor plantea que las RE se disponen en un gradiente en el cual existen representaciones más estructuradas, en cuanto a sus reglas de composición, y otras representaciones menos estructuradas. La lengua natural, por ejemplo, presenta una estructuración considerable ya que sobre ella rige un gran número de reglas que permiten operar los elementos arbitrarios que la componen para formar infinidad de mensajes. Muchas de las representaciones visuales, por su parte, presentarían un menor grado de estructuración, aunque este varía según sea el tipo de RV. Sobre esto se avanzará más adelante en el apartado 2.3 dedicado a las representaciones visuales.

En segundo lugar, las RE se configuran como herramientas mediadoras entre el mundo exterior y las RI, y por lo tanto, permiten su modelado. Lorenzo y Pozo (2010) sostienen que las RE y las RI se apelan mutuamente y unas condicionan la construcción de las otras. Estas RI se construyen a partir de las experiencias de la vida, la formación académica,

entre otras. Y, por lo tanto, son el soporte de las concepciones de los estudiantes que condicionan el aprendizaje. Acceder a ellas resulta imposible, sin embargo, es factible aproximarse proponiendo actividades que promuevan su explicitación progresiva a través de RE (Pozo, 2017).

Por lo antedicho, puede pensarse a las RE como prótesis cognitivas, ya que sirven como instrumentos para apoyar y ampliar el funcionamiento de la mente (Pozo, 2001). Las RE pueden ser consideradas artefactos cognitivos ya que son el resultado de prácticas de representación en las que los sujetos son capaces de controlar la información a través de depositarla en elementos materiales según códigos que posibilitan determinadas transformaciones de la información (Vega Ecabo 2005).

En este sentido, las autoras López Manjón y Postigo (2016), presentan una clasificación para las actividades prácticas con RV, aquellas que proponen un enunciado de trabajo sobre una representación visual a partir del cual los estudiantes tienen una cuestión por resolver. De acuerdo con el tipo de tarea que requiere realizar, pueden identificarse tres tipos de actividades en orden de complejidad creciente:

1. Actividades de lectura de la RV: se presenta la RV y la tarea principal consiste en su observación y análisis.
2. Actividades de intervención de RV: se presenta la RV incompleta y la tarea consiste en completar partes de esta.
3. Actividades de elaboración de RV: no se presenta ninguna RV, pero la actividad solicita la construcción de una.

Como puede verse, estos tres tipos de actividades invitan a realizar diferentes actividades cognitivas con distintos niveles de complejidad. En el primer nivel, la tarea requiere solo leer la RV, en el segundo requiere completar la RV para lo cual es necesario previamente ser capaz de leerla, y en el tercero, la tarea demanda la construcción de una RV.

Esto puede relacionarse con las actividades cognitivas ligadas a la semiosis propuestas por Duval (2006). Este autor reconoce tres actividades cognitivas ligadas a la semiosis que son necesarias para la enseñanza y el aprendizaje de la matemática, trasladables al plano de las ciencias naturales. Estas actividades cognitivas son:

1. La formación de una representación semiótica. Este proceso implica la construcción de una representación a partir de un juego de signos que sustituyen un objeto. Estos signos pertenecen a un sistema semiótico determinado: lengua materna, representaciones visuales o álgebra. Este tipo de actividades se pondrían en juego en las tareas de elaboración de una RV en los casos en que se solicita la

- construcción de una RV con un dado fin a partir de una consigna, por ejemplo, escrita.
2. El tratamiento de una representación semiótica. Este proceso consiste en la transformación de una representación inicial en otra, denominada terminal, siendo ambas constituidas a partir del mismo sistema semiótico. Por lo tanto, implica un movimiento dentro del registro y una amplificación de la información. Este tipo de actividad cognitiva se pondría en juego en las tareas de intervención de una RV.
 3. La conversión de una representación semiótica. Es la transformación de la representación de un objeto que se encuentra en un registro semiótico determinado en una representación de ese mismo objeto en otro registro. A diferencia de lo que sucede con las reglas de los casos anteriores, las reglas de conversión son vagas y ambiguas (Duval, 2017). Este tipo de actividades se pondrían en juego en las tareas de elaboración de una RV en los casos en que se ofrece una representación externa no visual (lengua natural, lenguaje algebraico) de partida y se les pide a los y las estudiantes que construyan una RV. Estas actividades pueden resultar difíciles para estudiantes que no estén habituados este tipo de demandas.

Según Duval (1999) es necesario llevar adelante una enseñanza de las Ciencias Naturales que promueva los tres tipos de actividades por igual. Generalmente la enseñanza privilegia la formación y el tratamiento en detrimento de las actividades de conversión. Cuando esto ocurre o cuando la enseñanza ha privilegiado un registro semiótico frente a otros, los conocimientos aprendidos quedan limitados a dicho registro.

Adicionalmente, cuando se recurre a una enseñanza con múltiples representaciones externas, resulta esencial el proceso de traducción, que se refiere al procesamiento, mapeo y movimiento entre las diferentes representaciones. La traducción requiere comprender las relaciones entre las múltiples representaciones externas y vincularlas con la idea que estas representan (Ainsworth, 2018). Es necesario involucrar procesos de traducción para un aprendizaje exitoso de la biología (Tsui y Treagust, 2003).

En esta línea, adquiere relevancia la idea clásica de alfabetización visual. La alfabetización visual o gráfica se define como la capacidad para leer, comprender y construir representaciones visuales, es decir, para comunicar información que no puede comunicarse de forma eficaz únicamente mediante palabras o símbolos matemáticos (Balchin y Coleman, 1965 en Postigo y López Manjón, 2015). Para contribuir con una alfabetización visual que dote a los y las alumnas de criterio para utilizar de manera óptima las RV, es necesario trabajar todos los tipos de tareas. Así, los conocimientos pueden ser movilizados a otros contextos diferentes a aquél en el que fueron aprendidos e incluir, además, registros semióticos diferentes.

En la actualidad, este concepto podría ampliarse incluyendo el carácter epistémico de las RV, considerándolas herramientas necesarias para la construcción de los nuevos saberes, tal y como se describe en el apartado 2.4.1. Así, la alfabetización visual en términos amplios implica apropiarse de las RV, ser capaz de construir otras nuevas y en ese proceso consolidar los aprendizajes reconstruyendo las representaciones internas a partir de la interacción con ese registro externo. Es por esto por lo que es importante analizar de manera crítica las RV que ofrecen los materiales educativos y las actividades que se proponen ejecutando una vigilancia representacional que permita una selección adecuada de las RV y tareas con RV en vista de maximizar las posibilidades de aprendizaje (Idoyaga y Lorenzo, 2019). Sobre esta idea se avanza más adelante.

Así, en esta tesis se utiliza la idea de alfabetización visual en su acepción más amplia como marco general, y en su forma más restringida para los análisis ya que resulta funcional a los fines del estudio que se busca realizar. En este sentido, el análisis de las actividades con RV de los libros de texto constituye una buena fuente de información para conocer en qué medida estos contribuyen con los procesos de alfabetización visual. Es por esto por lo que las autoras López Manjón y Postigo (2016) proponen a la proporción equilibrada de tareas de lectura, intervención y elaboración como criterio de elegibilidad de un libro de texto. Esto se debe a que cada tipo de tarea promueve alcanzar diferentes entes niveles de procesamiento cognitivo. Desde lo más sencillo como ser identificar elementos que se proporcionan en forma de etiqueta o rótulo junto con la RV, o completar un diagrama a partir de un texto de manera literal, pasando por inferir parte de la información que se solicita, hasta alcanzar el análisis global de la RV y el establecimiento de relaciones conceptuales entre los elementos de esta.

Sin embargo, en otro trabajo realizado sobre LT de Geografía del nivel secundario, presentan una serie de antecedentes en donde dan cuenta que en general los LT proponen una mayoría de actividades con RV, en particular mapas, que requieren leer u observar, es decir, que son de baja demanda cognitiva, en desmedro de aquellas actividades de complejidad media o alta que requieren completar, comparar o elaborar una RV (Sandoya, 2009). Es decir que en general dichos libros de texto no favorecerían el trabajo para promover una alfabetización visual.

Existen estudios que dan cuenta de un interés por conocer la presencia de las diferentes actividades cognitivas en las clases de Ciencias Naturales (Maturano, Aguilar y Núñez, 2009). Por ejemplo, en la enseñanza física suelen proponerse actividades que implican la formación, tratamiento o conversión para la enseñanza de contenidos de cinemática (Idoyaga, 2019) o de termodinámica (Quintero, 2021). Estos generalmente son abordados a través de múltiples registros semióticos y se espera que los estudiantes adquieran las habilidades para moverse entre ellos.

Por su parte, en la enseñanza de la Química también se recurre a estos cambios de registro. Se ha detectado que los profesores de Química priorizan el lenguaje natural y gráfico por sobre el lenguaje algebraico. Además, conforme avanza el nivel educativo crece la preferencia por las representaciones no gráficas como enunciados y oraciones en desmedro del uso de gráficos y diagramas. En cuanto a las actividades cognitivas se realizan tareas que demandan la formación, tratamiento y conversión, siendo estas últimas sesgadas desde ecuaciones hacia gráficos y no viceversa (García García y Perales Palacios, 2006).

En el caso de la Biología, la habilidad de representar los conceptos a través de diferentes lenguajes juega un papel central. Las RE que se despliegan en el discurso científico de la biología de poblaciones (Artola, Mayoral y Benarroch, 2016), la genética clásica, la fisiología, entre otras, son generalmente el lenguaje natural, algebraico y gráfico. Por lo tanto, al momento de enseñarlas se ponen en juego las actividades cognitivas ligadas a la semiosis que demandan los movimientos entre los diferentes modos de registro.

En la enseñanza de las áreas de la Biología como la biología celular, la evolución, o incluso, algunos contenidos de la genética, también se hacen necesarias estas actividades cognitivas. A su vez, es necesario el movimiento dentro de un mismo registro, por ejemplo, trasladándose entre gráficos, mapas, ilustraciones y diagramas; todos pertenecientes al modo de representación visual. Un trabajo desarrollado en el marco de la enseñanza y el aprendizaje de la biología evolutiva muestra que los dibujos permiten explicitar aspectos del modelo que construyen los estudiantes que resultan complementarios a los aspectos que ellos explicitan a través del lenguaje natural en forma de texto (Gómez Galindo, Pérez y González Galli, 2017). Esto da cuenta de la importancia de realizar un abordaje adecuado en las clases de Biología, ofreciendo a los estudiantes distintos tipos de tareas que integren diferentes RE, ya que cada una representa aspectos particulares del fenómeno.

Cabe aclarar que existe una diferencia entre las RE que se despliegan en el discurso científico de la biología, y de las demás ciencias naturales, en el contexto de justificación en contraposición con el contexto de la enseñanza de la disciplina (Chá Larrieu, 2009). Las RE que son utilizadas en el contexto de construcción y justificación de los conocimientos científicos son más específicas y abstractas, dado que su fin es representar ideas para un público especialista en el tema. Por su parte, las RE que se utilizan en contextos educativos atraviesan un proceso de transposición que las aleja de las RE originales (Alfonso Sierra, Gallego Torres y Martínez Delgado, 2016).

En suma, las RE son una parte fundamental del circuito comunicativo de las Ciencias Naturales. En particular, las representaciones visuales juegan un rol preponderante dentro

de los lenguajes utilizados en la enseñanza de estas ciencias mediadas por libros de texto, lo que fundamenta su estudio en este trabajo. Las actividades con RV constituyen oportunidades para avanzar hacia la alfabetización visual de los estudiantes. En el apartado siguiente, se definen y describen las características principales de las representaciones visuales. Asimismo, se desarrollan algunos aspectos sobre la aparición y uso de las RE y de las RV en la historia de la humanidad en general y de las Ciencias Naturales en particular, que sirven para dar marco a estas ideas.

2.3 Las representaciones visuales

2.3.1 Definiciones y características principales

Las representaciones visuales (RV) son el tipo particular de representación externa compuesta por diferentes elementos (líneas, puntos, colores) cuya disposición en una superficie bidimensional encierra significado (Pérez Echeverría, Martí y Pozo, 2010). Existe una gran diversidad de RV y todas comparten el atributo de poder representar de forma integrada grandes cantidades de contenidos y sus relaciones (Barquero, Schnotz y Reuter, 2000).

Las RV se caracterizan por ser permanentes y de naturaleza espacial bidimensional, lo que permite su conservación y manipulación (Martí y Pozo, 2000). Además, son sistemas organizados que están conformados por una serie de elementos relacionados entre sí y a través de determinadas reglas que permiten atribuirle un significado (Pérez Echeverría, Martí y Pozo, 2010). Algunos ejemplos de RV pueden encontrarse en libros de texto o los materiales didácticos digitales o impresos. Representaciones bidimensionales, permanentes como dibujos, fotografías, diagramas y gráficos, cuyas definiciones se desarrollarán en el apartado 2.3.3.

Las RV se han utilizado a lo largo de la historia para comunicar y *re-presentar*, es decir, volver a presentar conceptos o fenómenos en diferentes ámbitos como se desarrollará en el siguiente apartado. Así, las RV no son una copia de su referente sino una traducción semiótica de acuerdo con ciertas reglas. Por lo tanto, su significación requiere del conocimiento de estas. El uso continuado de los sistemas de representación externos en la sociedad hace que las RV parezcan transparentes, cuando en realidad estos sistemas son opacos y su interpretación requiere de ciertos procesos cognitivos específicos (Pérez-Echeverría, Martí, y Pozo, 2010). Esto es esencial, sobre todo en los procesos de enseñanza y aprendizaje con RV.

Existen RV con distinto grado de iconicidad, algunas de ellas son más figurativas y otras más arbitrarias. Algunas RV pretenden ser semejantes, al menos en algún aspecto, a su referente, mientras que, otras solo guardan una relación arbitraria y convencional. Las

primeras se denominan RV analógicas o icónicas y las segundas, RV abstractas o simbólicas (Lorenzo y Moya, 2018). Por ejemplo, las fotografías y los dibujos son de las más semejantes a su referente. En oposición, se encuentran los diagramas o las gráficas que son más abstractas y, por lo tanto, menos similares a su referente. Aquí también se aplican los niveles de estructuración de los sistemas externos de representación que propone Pozo (2017). Dentro de las RV, en el extremo de mayores niveles de estructuración estarían los gráficos, ya que sobre ellos rige un gran número de reglas que permiten operar los elementos que los componen. En el otro extremo, se encontrarían las ilustraciones.

En las formas de significar arbitrarias, las reglas de composición interna son más cerradas que en las formas de significar figurativas. Es decir, que la relación de significación puede construirse a partir de las características del referente. De esta manera, si tomamos diferentes referentes, cada vez que se represente uno de ellos, el que intenta captar el significado de esa representación, deberá conocer reglas de composición interna específicas una y otra vez. Es decir, las reglas de composición interna que permiten comprender el dibujo de una célula no necesariamente van a permitir abordar el dibujo de la molécula de ADN.

Por el contrario, cuando la relación signo-referente es arbitraria, la comprensión se basa en las reglas arbitrarias del sistema. Independientemente de cuál sea el referente, estas reglas se pueden aplicar. Por ejemplo, en el caso de los gráficos cartesianos, RV con mayor grado de estructuración, una vez que se conocen las reglas de composición de uno, estas pueden ser trasladadas para la lectura de otros.

En el caso particular de las Ciencias Naturales, todos estos tipos de RV conforman el corpus de conocimiento del campo. Es innegable, que cada sistema externo de representación ha sido configurado en un dominio conceptual y buena parte de las restricciones propias del dominio de conocimiento repercuten en el modo de representarlo (Lorenzo y Pozo, 2010). De esta manera, es importante no perder de vista que las RV y otras representaciones externas como el lenguaje científico oral y escrito, surgen en el campo disciplinar como una forma más de entender y explicar el mundo. Así, representación y el modelo científico representado son indisociables.

Por lo tanto, la relación entre lo conceptual y lo representacional no es de subordinación. Es una relación recíproca en la que lo conceptual, innegablemente, restringe y determina los significados representacionales, pero a la vez las características de la representación sirven como modelo y transforman los aspectos conceptuales (García-Mila, Andersen y Rojo, 2010). Lo representacional y lo conceptual se apelan mutuamente y cada uno sirve para definir el otro.

Así, las RV se constituyen como un objeto de conocimiento, un contenido, que es necesario enseñar en las clases de Ciencias Naturales. En el caso particular de la enseñanza de la genética, es muy común el uso de representaciones visuales por parte de los profesores para presentar la información, por ejemplo, recurren a un dibujo que representa los cromosomas o el ADN como apoyo a su explicación verbal (Diez de Tancredi y Caballero, 2004). A su vez, las RV de genética ocupan una gran proporción de la superficie impresa de los libros de texto (López Manjón y Postigo, 2012), lo que da cuenta de su importancia para la enseñanza.

En suma, a lo largo de los últimos años, han surgido diferentes sistemas de clasificación de RV dentro y fuera del ámbito de la enseñanza de las Ciencias Naturales. Las investigaciones se han ocupado de describir las características de las RV en diferentes campos. En los siguientes apartados, se recuperan los aportes más relevantes en relación con las clasificaciones propuestas para las RV y se profundiza en aquellas que resultan de utilidad para analizar las RV de genética.

2.3.2. Clasificación

Las RV pueden clasificarse de acuerdo con diversos criterios. Algunos autores las han clasificado de acuerdo con su función: decorativa, representacional, organizacional, interpretativa o transformacional (Levin, Anglin, Carney, 1987); analítica, clasificatoria, narrativa, metafórica (Kress, Van Leeuwen, 1996) o depictiva, deconstructiva, clasificatoria, explicativa y metafórica (Wiley, Sarmiento, Griffin, Hinze, 2017).

Otra forma de clasificarlas que ha sido muy utilizada es de acuerdo con el grado de iconicidad-abstracción. En esta línea se han propuesto diferentes sistemas a lo largo de los años (Hegarty, Carpenter, Just, 1991; Dimopoulos, Koulaidis, Sklaveniti, 2003; Pozzer y Roth, 2003, Postigo y López Manjón, 2012; 2015; 2019). Otro criterio que se puede aplicar para analizar las RV, sobre todo en el ámbito de las Ciencias Naturales, está vinculado con los niveles de representación a los que alude la RV (Treagust y Tsui, 2013). En esta tesis se consideran los últimos dos criterios. A continuación, se expone cada uno de ellos, las discusiones en torno a su utilización y los fundamentos por los cuales son considerados criterios muy importantes a la hora de analizar las RV de genética.

La idea de clasificar a las RV de acuerdo con el nivel de iconicidad fue publicada por Moles en el año 1976. Este autor propone una escala conformada por doce niveles en donde dispone a las representaciones en un continuo desde las más icónicas hasta las más abstractas (Tabla 2.1).

Tabla 2. 1. Escala de iconicidad de Moles (1976). Tomada y adaptada de Menza Vados, Rocha Castaño y Sánchez Rodríguez (2019).

	Descripción	Ejemplo
12	El referente físico real	El objeto
11	Modelo bi o tridimensional a escala	Una maqueta del objeto
10	Esquema bi o tridimensional reducido o aumentado	Mapa, croquis, globo terráqueo
9	Fotografía o proyección realista	Una foto en color del objeto
8	Dibujo, fotografía de alto contraste	Una foto en blanco y negro del objeto
7	Esquema anatómico	Corte anatómico, plano de conexiones eléctricas
6	Representación estallada	Objetos técnicos en manuales de ensamble o reparación
5	Esquema de principio	Mapa de conexiones de un receptor de TV, mapa esquematizado del subterráneo
4	Organigrama o esquema de bloque	Organigrama de una empresa, flujograma de un programa computacional
3	Esquema de formulación	Fórmulas químicas desarrolladas
2	Esquema en espacios complejos	Fuerzas y posiciones geométricas en una estructura metálica; esquema de estática
1	Esquema de vectores en espacios puramente abstractos	Gráficos vectoriales en electrotécnica
0	Descripción en palabras normalizadas o fórmulas algebraicas	Ecuaciones y texto

Como puede verse, el nivel 12, más icónico, corresponde al referente físico real y el nivel 0, más abstracto, a una descripción en palabras o fórmulas algebraicas. En los niveles intermedios aparecen algunas representaciones que podrían ser catalogadas como RV incluyendo desde las fotografías hasta los esquemas de vectores. Esta clasificación resulta ser muy general y permite ubicar a las representaciones en una escala que resulta de utilidad como primer análisis. Por esto, se ha extendido en varias áreas del conocimiento: diseño gráfico y multimedial (Menza Vados, Rocha Castaño y Sánchez Rodríguez, 2019), industria automotriz (Carcavilla Puey, 2021), física (Maturano, Aguilar y Nuñez, 2009), ingeniería (Presutti, Miceli y Laporte, 2009), electromagnetismo (Padilla Berdugo e Iriarte, 2020) y biología (Grilli, Laxague y Barboza, 2015), entre otras.

Si bien el grado de iconicidad resulta funcional desde un punto de vista amplio, no considera las relaciones entre los elementos que conforman a la representación y las posibles funciones de esta, mucho menos la especificidad de dominio de las RV según las áreas de conocimiento. En cuanto al primer punto, más tarde Pozo y Postigo (1999) proponen una clasificación de acuerdo con el tipo de relación entre los elementos que la representación expresa. Para estos autores las RV pueden clasificarse en cuatro grandes

grupos: las ilustraciones, los mapas, los diagramas y los gráficos. A grandes rasgos, las ilustraciones (dibujos, fotografías, otros) representan relaciones espaciales reproductivas del objeto o fenómeno, con mayor o menor grado de abstracción. Los mapas representan una relación espacial selectiva mostrando la localización relativa de los diferentes elementos del mundo representado. Los diagramas (tablas, mapas conceptuales, otros) representan relaciones conceptuales organizando la información de manera esquemática en el espacio. Por último, los gráficos (de barras, líneas, otros) representan relaciones cuantitativas entre dos o más variables a través de distintos elementos.

Esta clasificación fue desarrollada en el ámbito de la psicología cognitiva y fue aplicada en diversas áreas como la química (Lorenzo y Pozo, 2010), la física (Idoyaga, 2019), la música, la geografía y otras (Pérez Echeverría, Martí y Pozo, 2010). Si bien aporta un marco a través del cual es posible clasificar a las RV, carece de especificidad de dominio en relación con los contenidos de Biología en general y de genética en particular. Por eso, más adelante se propone una clasificación posterior que toma como base la expresada por Pozo y Postigo (1999), incorpora aspectos propios de la Biología y profundiza en el rol de los diagramas, entre otras cuestiones.

En este sentido, es menester mencionar que en esta tesis los diagramas adquieren especial relevancia ya que son muy frecuentes en la educación en genética. Por esto, se realizó la búsqueda de un marco que permitiera ahondar en este tipo particular de RV. El investigador Ric Lowe estudió el rol de los diagramas instruccionales en el aprendizaje de las ciencias, es decir, diseñados para el aprendizaje y propuso una definición de diagrama en base a las características representacionales y su función. Los diagramas son representaciones que presentan una realidad transformada con el fin de presentar información sobre una estructura o un proceso (Lowe, 1986).

Así, un diagrama muestra una estructura cuando representa las características físicas del objeto o fenómeno representado, sus partes y su disposición en el espacio. Un diagrama muestra un proceso cuando representa los cambios de las partes involucradas a través del tiempo. Estos diagramas generalmente tienen componentes gráficos y textuales (etiquetas y subtítulos) los cuales presentan información complementaria que favorecería la comprensión de la representación. En estos casos, el texto suele mostrar la identidad de los componentes, indica la vista del objeto y cómo se conectan las partes entre sí. Este autor sugiere que el texto y la representación deben ser consideradas en conjunto para que el estudiante pueda comprender el diagrama (Lowe, 2013).

En la Figura 2.2 puede verse un ejemplo de diagrama de una flor, en el cual las transformaciones realizadas son: un corte transversal para mostrar el interior de la flor, la inclusión de flechas y el sombreado. Según el autor, este diagrama muestra la estructura

de la flor, es decir, las partes que la conforman y cómo se disponen en el espacio; y el proceso de reproducción a través de las flechas que indican la polinización y posterior fecundación. Este tipo de diagramas son muy usuales en la enseñanza de la biología y por lo tanto, su descripción constituye un aporte y un antecedente importante para este trabajo. Más aún, los aportes de Lowe fueron considerados por las autoras López Manjón y Postigo al momento de proponer una clasificación para las RV de biología, la cual se describe en detalle en el próximo apartado.

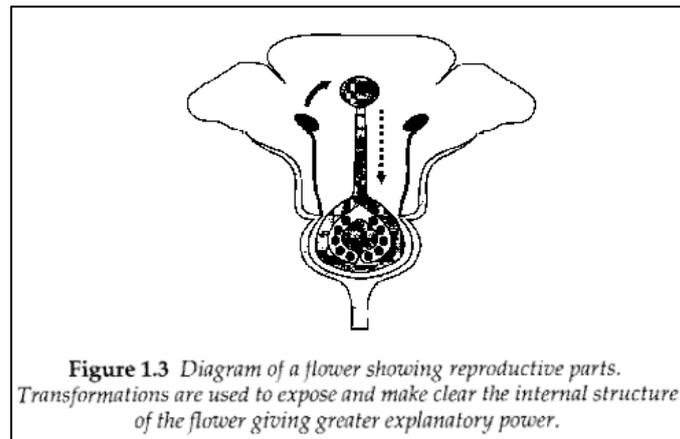


Figura 2. 2. Ejemplo de diagrama que muestra una estructura y un proceso. Tomado de Successful instructional diagrams, (Lowe, 1993 en Lowe 2013).

Hasta aquí se han desarrollado algunas clasificaciones generales de las RV. En el siguiente apartado, se avanza hacia el desarrollo de sistemas de clasificación de RV adaptados al campo de la biología y que fueron modificados a los fines de esta tesis considerando las particularidades de las RV de genética.

2.3.4. Clasificación de las RV en la educación en genética

Las características de las RV que se despliegan en la enseñanza de la genética están poco investigadas (Diez Tancredi y Caballero, 2004). A continuación, se desarrollan dos de las clasificaciones de RV más utilizadas para el área de la Biología general, que pueden ser trasladadas y adaptadas al campo de la genética.

Clasificación de acuerdo con el tipo de RV y grado de iconicidad

Como se anticipó en el anterior apartado, las autoras Postigo y López Manjón (2012) recuperan los aportes de Lowe (1986) y otros aspectos intrínsecos de las RV de Biología, y extienden el sistema de clasificación de Pozo y Postigo (1999) a un sistema aplicable a la Biología. De esta manera, proponen una primera clasificación para las RV propias de

la Biología, basándose en el grado de iconicidad o analogía con el objeto representado (Martí, 2003); la función para la comprensión (Lowe, 1986); y la relación que expresa la representación entre los elementos que presenta (Pozo y Postigo, 1999). El diálogo entre estos criterios y las características intrínsecas de las RV de Biología las llevó a proponer cinco grupos, los cuales se disponen en un continuo iconicidad-abstracción:

- **Construcciones visuales:** son representaciones que se construyen a partir de diversas técnicas de obtención de imágenes, por ejemplo, resonancia magnética, tomografías computarizadas, escáneres, etcétera. Estas RV tratan de modelizar un fenómeno (por ejemplo, el cuerpo humano) mediante tratamiento informático obteniendo una representación visual con una apariencia muy realista conseguida a través de la presentación simultánea de los diversos planos superpuestos de ese fenómeno.
- **Fotografías:** son representaciones que se presume reproducen los elementos o aspectos externos o internos (en el caso de las microfotografías y las ecografías) del objeto o fenómeno representado. Son representaciones cuyo objetivo habitual es ilustrar un objeto o fenómeno.
- **Diagramas:** representan contenidos conceptuales que hacen explícitas sus interrelaciones y presentan la información de forma esquemática. Los contenidos conceptuales pueden ser de forma verbal o visual.
 - **Diagramas con información verbal:** son presentados de forma verbal con la ayuda y apoyo de elementos gráficos como flechas, llaves, cuadros, otros (Weidenmann, 1994). Ejemplos de este tipo de diagrama son los cuadros sinópticos o esquemas, un mapa conceptual (que expresa relaciones jerárquicas) o un diagrama de flujo (que representa una sucesión o cadena de hechos o sucesos). Por ejemplo, un mapa conceptual sobre los seres vivos o un diagrama de flujo en el que se describe la secuencia del recorrido de la sangre en el cuerpo humano.
 - **Diagramas con información visual:** En el caso de los segundos, los diagramas visuales son representaciones bidimensionales que presentan la información de una manera precisa utilizando una variedad de transformaciones (simplificar, ampliar) desde el objeto o fenómeno representado, seleccionando aspectos determinados de dicho objeto o fenómeno en función de su tamaño (escala), relevancia o finalidad del diagrama. De acuerdo con la clasificación de Lowe (1986), las autoras reconocen dentro de los diagramas visuales, a los diagramas de estructura y de proceso.

- Los diagramas de estructura describen las características físicas de las partes del objeto representado y cómo están dispuestas en el espacio. Por tanto, son RV de una información que hace referencia a un contenido espacial o donde la localización de diferentes partes del objeto o fenómeno representado es una característica importante del mismo. Este tipo de diagramas suele incluir rótulos o etiquetas verbales que indican las diversas partes del objeto representado. Por ejemplo, un diagrama del sistema digestivo humano con rótulos que señalan las diversas estructuras de este.
- Los diagramas de proceso describen el transcurso o evolución del fenómeno, así como los cambios de las partes de este a través del tiempo.
- Dibujos: son representaciones bidimensionales de carácter icónico y que muestran una correspondencia analógica respecto del objeto o fenómeno que muestran una correspondencia analógica respecto del objeto o fenómeno representado. Al igual que los diagramas son selectivos, es decir, recogen algunos aspectos del objeto, pero, a diferencia de éstos, su objetivo suele ser ilustrativo o decorativo y por lo general no están acompañados de rótulos.
- Gráficas: son representaciones que presentan la relación numérica o cuantitativa que existe entre dos o más variables a través de distintos elementos (líneas, barras, sectores, etc.).

Esta clasificación ubica a las RV en un continuo que las ubica teniendo en cuenta su grado de realismo o de semejanza entre la RV y el fenómeno representado. Las construcciones visuales y las fotografías serían las representaciones más realistas seguidas de las microfotografías, las ecografías y los dibujos. Frente a ellas, el resto se situarían en mayor o menor grado en el polo más abstracto del continuo.

A partir de la clasificación anterior, en 2014 las autoras establecen un nuevo sistema de para analizar las RV presentes libros de texto en temas de biología incluyendo los siguientes grupos: ilustraciones, diagramas y representaciones cuantitativas, cuyas características se describen a continuación:

- Ilustraciones: RV que expresan relaciones espaciales entre sus elementos, guardando cierto grado de semejanza con su referente (Figura 2.3). Estas incluyen:
 - Fotografías: reproducen todos los elementos externos del fenómeno representado (Figura 2.3.a).

- Imágenes técnicas: reproducen los elementos internos del fenómeno representado a través de diversos medios técnicos como microfotografías, radiografías, etc. (Figura 2.3.b).
- Dibujos: representaciones icónicas que recogen algunos aspectos del objeto o fenómeno representado (Figura 2.3.c).

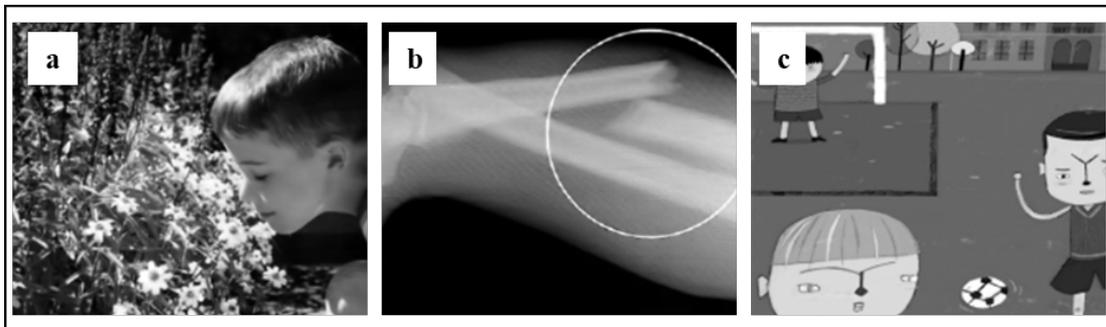


Figura 2. 3. Ejemplos de ilustraciones. Fotografía (a), imagen técnica (b); dibujo (c). Tomados de López Manjón y Postigo (2014).

- Diagramas: RV que representan contenidos conceptuales y sus interrelaciones de manera explícita presentando la información de forma esquemática (Figura 2.4). Estos incluyen:
 - Diagramas verbales: presentan los conceptos de forma verbal y sus relaciones, incluyendo flechas, llaves, cuadros, etc (Figura 2.4.a). Dentro de este grupo se encuentran los mapas conceptuales y las tablas.
 - Diagramas visuales: presentan la información visual utilizando transformaciones del objeto o fenómeno representado, seleccionando aspectos determinados en función de su tamaño, relevancia o finalidad del diagrama. Dentro de este grupo se encuentran los diagramas visuales de proceso (Figura 2.4.b), que presentan la evolución del fenómeno, así como los cambios de las partes del mismo a través del tiempo, y los diagramas visuales de estructura (Figura 2.4.c), que presentan las características físicas de las partes del objeto representado y su disposición en el espacio.

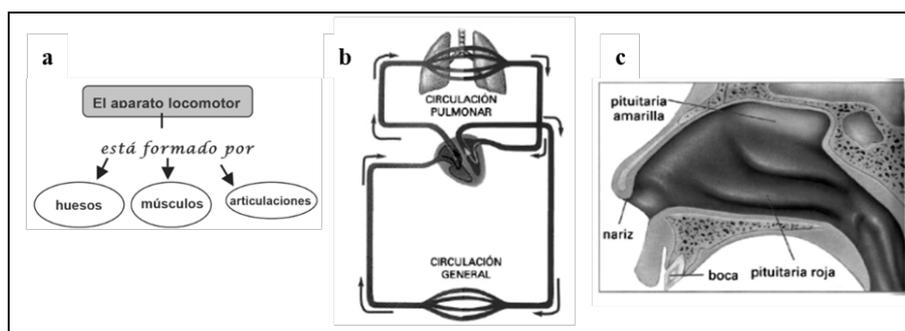


Figura 2. 4. Ejemplos de diagrama verbal (a), diagrama visual de proceso (b); diagrama visual de estructura (c). Tomados de López Manjón y Postigo (2014).

- Representaciones cuantitativas: Presentan la relación cuantitativa entre dos o más variables a través de distintos elementos, algunos ejemplos son gráficas de líneas, barras, sectores (Figura 2.5).

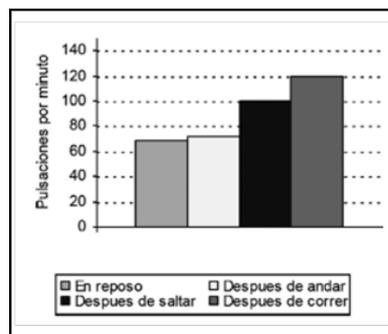


Figura 2. 5. Ejemplo de representación cuantitativa. Tomado de López Manjón y Postigo (2014).

Como se dijo anteriormente, esta clasificación contempla como criterio el grado de iconicidad. En este caso, las ilustraciones reflejarían un mayor grado de iconicidad; los diagramas visuales con un grado intermedio; y, por último, los diagramas verbales y las representaciones cuantitativas son representaciones abstractas.

En cuanto a la especificidad de dominio, las autoras consideran imágenes específicas de dominio a las fotografías, las imágenes técnicas y los diagramas de estructura y de proceso, porque representan primordialmente relaciones espaciales entre las estructuras en cuestión y respecto de su referente. En cambio, los diagramas verbales y las representaciones cuantitativas serían representaciones con menor especificidad de dominio y podrían encontrarse en otros dominios de conocimiento.

En síntesis, la clasificación de López Manjón y Postigo (2014) considera tres grandes grupos de RV y si bien fue pensada para los contenidos del cuerpo humano, es plausible su aplicación en los contenidos de genética. Por lo tanto, este es el aspecto estudiado en este trabajo para clasificar las RV de acuerdo con su tipo.

Clasificación de acuerdo con los niveles de representación

Un segundo aspecto relevante a la hora de estudiar las RV de genética son los niveles de representación a los que alude cada una de ellas. Como se describirá más adelante, en el

apartado 2.4.2, los fenómenos de la genética involucran mecanismos e interacciones a nivel molecular (genes y proteínas) y a nivel celular, que producen efectos en niveles macroscópicos, en los organismos y las poblaciones (Duncan y Reiser, 2007). Por ello, es habitual que en las representaciones que se despliegan para su enseñanza, aparezcan diferentes niveles de representación combinados. La presencia de diferentes niveles de representación en conjunto con la naturaleza abstracta de los temas, contribuyen con las dificultades que se le presentan a los estudiantes a la hora de comprender genética (Knippels, 2002).

Uno de los primeros investigadores que se preocupó por estudiar este tema fue Johnstone (1982) y postuló tres niveles de representación posibles para la química: el nivel macroscópico, el submicroscópico y el simbólico. Brevemente, el nivel macroscópico se relaciona con los fenómenos y las transformaciones que pueden ser directamente percibidas a través de los sentidos. El nivel submicroscópico está relacionado con las partículas (átomos, moléculas), sus procesos y las leyes que los rigen. El nivel simbólico está conformado por símbolos arbitrarios que hacen referencia a fenómenos de la química, incluyendo las ecuaciones y las fórmulas.

En la química es posible representar un mismo fenómeno desde los tres niveles. Por ejemplo, la ecuación química de una dada reacción que corresponde al nivel simbólico puede ser usada para representar el cambio de sustancias a nivel macroscópico o las interacciones entre partículas del nivel submicroscópico.

En física, también es posible aplicar estos niveles de representación sobre las RV que se despliegan. Así, el nivel macroscópico hace referencia a fenómenos observables como el movimiento de una caja o el reflejo de la luz en un espejo. El nivel submicroscópico contribuye en la comprensión de fenómenos que involucran moléculas, como por ejemplo el comportamiento de los gases. El nivel simbólico permite una comprensión más profunda de los temas a partir de la explicación de los fenómenos por medio de ecuaciones.

En biología esto es diferente. Las entidades se representan de acuerdo con su tamaño relativo y de acuerdo con el modo en que se organiza el conocimiento en esta disciplina. A su vez, en este campo de conocimiento el concepto de célula es central, no así en los anteriores. Por esto, los autores Tsui y Treagust proponen un sistema para los niveles de representación que añade a los anteriores el nivel microscópico. Si se quiere representar una célula, debe recurrirse a este nivel. A través de representaciones de nivel submicroscópico o macroscópico, no es posible representar una célula. De este modo, se definen cuatro niveles de representación para la Biología en general (Tsui y Treagust, 2003; Treagust, 2018) que describen a continuación.

- El nivel macroscópico, incluye las estructuras que hipotéticamente podrían ser vistas a ojo desnudo, como las plantas y animales. Las observaciones de las estructuras de este nivel y las representaciones realizadas a partir de estas fueron las que dieron origen a la Biología como disciplina.
- El nivel microscópico (celular o subcelular), es aquel que incluye a las estructuras serían sólo visibles bajo un microscopio óptico como células de diversos tipos; o bajo un microscopio electrónico, como estructuras subcelulares.
- El nivel submicroscópico (molecular), contempla las estructuras que no son visibles con microscopio y que pueden ser identificadas con técnicas analíticas como cromatografía, electroforesis o centrifugación. Algunos ejemplos son el ADN y las proteínas.
- El nivel simbólico es el que proporciona representaciones de los fenómenos a través de símbolos arbitrarios como los que se usan en fórmulas, vías metabólicas, ecuaciones químicas, pedigrís, árboles filogenéticos, entre otras.

Estos niveles podrían dividirse en dos grandes grupos. Por un lado, aquellos que hacen referencia a un objeto o fenómeno que pertenece al mundo material. Allí se incluirían los niveles macroscópico, microscópico y submicroscópico. Por otro lado, el nivel que recurre a números, símbolos, ecuaciones para proponer explicaciones de los fenómenos, el nivel simbólico. Es importante aclarar que se asume el carácter modélico de aquellas estructuras del cotidiano hasta aquellas otras que son construcciones teóricas de la Biología. Se supone la existencia de todas aquellas estructuras cuyos modelos existen.

En las RV de genética estos niveles están fuertemente representados, combinándose y complejizando su significación (Tsui y Treagust, 2003). La genética tiene la particularidad de presentar RV de todos estos los niveles ya que es una disciplina que originariamente surge del estudio fenotípico pero, conforme avanzaron las tecnologías, se valió de conocimientos moleculares para fundamentar sus principios (Gayon, 2016). En los materiales didácticos se advierte la presencia de variedad de niveles, muchas veces combinados. La propuesta de niveles de representación de Tsui y Treagust resulta de utilidad para describirlas.

En síntesis, las RV de genética pueden clasificarse de acuerdo con el grado de iconicidad y de acuerdo con los niveles de representación a los que aluden. Como pudo verse en los párrafos anteriores, la delimitación de los aspectos a analizar, sobre todo del segundo sistema de clasificación, fue realizada considerando la naturaleza de los contenidos

disciplinares que conforman el campo de la genética que se enseña en la escuela media. Esto se debe a que las RV son propias de un área de conocimiento y, por lo tanto, indisociables del contenido representado (Lorenzo y Pozo, 2010). Por esto, se hace necesario incluir en este marco teórico los límites del campo disciplinar sobre el que trata esta tesis. En el siguiente apartado, se describen algunos aportes historiográficos que permiten entender de qué manera las RV se consolidan como herramientas para la enseñanza de las Ciencias Naturales. En el apartado 2.4 se introduce a la genética como disciplina representacional y se delimitan los contenidos conceptuales sobre los cuales versa esta tesis.

2.3.3. Aportes historiográficos

Las RE se han consolidado como herramientas comunicativas de inclusión social con usos y funciones culturalmente establecidos y han permitido la herencia cultural al posibilitar la transmisión entre generaciones de las prácticas propias de una comunidad (Salsa y Peralta, 2010). Por ello, la invención de las RE es una de las características más importantes que distingue a la especie humana de las demás.

Las RE se han mantenido a lo largo de la historia y ofrecieron a los humanos un sistema de almacenamiento simbólico externo que marcó la evolución cultural y permitió que la memoria humana adquiriera nuevas formas de recuperación de la información, transformando la arquitectura funcional de la mente (Donald, 1991). Por esto, las RE tuvieron y tienen un rol muy importante en el desarrollo cognitivo, ya que operan como prótesis cognitivas que amplifican las posibilidades de la mente (Pozo, 2001) y contribuyen con la comunicación de los seres humanos. Dada su naturaleza conformada por signos externos fácilmente manipulables tuvieron éxito a lo largo del tiempo.

Las RE más antiguas podría decirse que son las no permanentes, como la lengua oral. Mientras que las RE permanentes como la escritura, las representaciones visuales o la notación numérica, aparecen luego y se extienden en el tiempo gracias a estar inscritas en una superficie por lo que pueden ser consideradas como una tecnología intelectual (Debray, 2001) más moderna.

Las RV, como tipo particular de RE, han sido utilizadas como medio de comunicación humana desde tiempos remotos. Se han identificado ilustraciones de elementos de la naturaleza que datan del Paleolítico y Neolítico que representaban animales, seres humanos, manos y el comportamiento de los colectivos y su vínculo con el entorno (Salsa y Peralta, 2010). Sin embargo, su uso fue limitado durante muchos años posiblemente

debido a la falta de conocimiento sobre las reglas de construcción y de significación de las RV, más aún tardó en instalarse en contexto académico.

Las pinturas rupestres tenían fines meramente ilustrativos. Mientras que en la Edad Media comenzaron a utilizarse las RV con fines devocionales y didácticos, relacionados con la enseñanza de la Historia Sagrada (Grilli, Laxague y Barboza, 2015). Hubo al menos dos hechos relevantes en la historia que permitieron el auge de las RV como herramientas contenedoras de conocimiento, lo que dio paso años más tarde a su consolidación como artefactos epistémicos.

Uno de estos hechos fue el establecimiento de la perspectiva lineal como modo de representar y significar. Así se obtiene un primer código para la reproducción de objetos en el espacio que permite una relación bidireccional entre el objeto y su representación, lo que años más tarde Pierce denominará representante y representado. Los objetos se convierten en portables y sus representaciones son comparables entre sí (Ortega, 2017).

Otro de los hechos de relevancia fue la invención de la imprenta en 1400s. Esto marcó un antes y un después en el establecimiento de las RV como portadoras y generadoras de conocimiento. Este desarrollo permitió alcanzar una estabilidad y fiabilidad en las RV impresas en contraposición a los dibujos que hacían los copistas previamente (Ortega, 2017).

Así, la imagen se legitima como instrumento de conocimiento. Las RV comienzan a ser diseñadas con fines epistémicos (Aumont, 1992) y se abre paso a los paradigmas de la visualidad identificativos, propios de la historia natural, la anatomía y la geografía. Con la imprenta, a su vez, se produce una democratización de las imágenes en general y en particular, comienzan a circular en la sociedad las imágenes producidas por el campo de las ciencias (Ivins y Williams 1975).

En el área de las Ciencias Naturales, las RV han tenido un rol fundamental en el desarrollo de sus corpus de conocimiento (Grilli, Laxague y Barboza, 2015). Es importante remarcar que en este proceso histórico influyeron los paradigmas de pensamiento de la época, las tecnologías disponibles y los conocimientos previos de cada dominio. Todas estas cuestiones interactuaron para ir configurando la construcción de conocimientos científicos y en paralelo la construcción de sus RV. Así, resulta imposible disociar la construcción de un dado conocimiento científico, de sus representaciones y del contexto en que ocurrieron.

El tipo de RV más utilizado en los orígenes de las disciplinas científicas fue el dibujo científico. Estos dibujos podrían definirse como una representación que muestra el resultado de una observación de la realidad y cuya finalidad es su uso por parte de la

ciencia. Estos se caracterizan por presentar exactitud, realismo y tener una alta capacidad descriptiva. Aún en los casos en que los dibujos presentan alguna parte simplificada, estas modificaciones presentan concordancia con la teoría en la que están inmerso (England, Hinojosa y Romero, 2010).

Uno de los usos que se les dio a los dibujos fue el de retrato o copia de su referente. Los investigadores se valieron de ellas para realizar descripciones detalladas de fenómenos o estructuras. Algunos ejemplos de esto son los dibujos de Leonardo Da Vinci (1543), Robert Hooke (1665) y Ramón y Cajal (1904), cuyos aportes al campo de las RV en el ámbito de las Ciencias Naturales se describen a continuación.

En la historia de las RV de Ciencias Naturales, particularmente de la anatomía, un referente importante fue Leonardo Da Vinci. Este autor realizó dibujos detallados de la anatomía humana a partir de disecciones y constituyeron un aporte invaluable para los conocimientos sobre anatomía en la época. En 1543 publicó *De humani corporis fabrica*, una obra complementada con dibujos realistas basada en el estudio práctico del cuerpo humano. Esta obra permitió corregir errores que la medicina galénica tenía hasta el momento.

Otro aporte a la consolidación de los dibujos como productos de la ciencia fue la publicación de la obra *Micrographia* de Robert Hooke en 1665. En ella, no sólo se presentaba la primera serie de dibujos de estructuras microscópicas, sino que también se describía en detalle cuál era la metodología adecuada para observar y realizar los dibujos fieles. Esta obra jugó un papel central en la legitimación de la experimentación como forma de conocimiento de la naturaleza y abonó a la defensa del empirismo visual (Ortega, 2017).

Poco a poco los dibujos se legitiman como formas de registro y descripción de los fenómenos, y con esto, la producción de imágenes comienza a ser una práctica habitual en la actividad científica. La metodología de trabajo adoptada por Ramón y Cajal y los dibujos construidos dan cuenta de la adopción de un modo determinado de producción y circulación de las imágenes microscópicas. Con el apoyo de los dibujos realizados por este investigador, la ciencia empezó a comprender la estructura y función del cerebro (Grilli, Laxague y Barboza, 2015).

Años más tarde, apareció la fotografía alrededor del año 1839 en Francia y rápidamente fue adoptada por ámbito de la ciencia. La fotografía científica es un grupo de técnicas destinadas a obtener información visual reproductiva para la investigación o el control de procesos en todas las ramas de la ciencia, la industria o la educación (Grilli, Laxague y Barboza, 2015).

Este acontecimiento constituyó el comienzo de una era en donde la fotografía transformaría las prácticas científicas y se consolidaría como forma de construcción de evidencias, registro y conservación. Asimismo, se presenta como una forma de eliminar la mediación de la mano humana en la construcción de la representación visual de lo real, lo que convertía a la fotografía en neutra, objetiva y universal, cuestiones que más tarde se cuestionarían.

El advenimiento de la fotografía trajo aparejados desarrollos científicos y nuevos modos de hacer y comunicar la ciencia. Comenzaron a producirse láminas, álbumes de observaciones, atlas, entre otros en el campo de la medicina, la cirugía, la psiquiatría, biología. En combinación con los avances en microscopía, aparecen las microfotografías que han sido cruciales en el desarrollo de la Biología (Ortega, 2017).

Luego, la ciencia comienza a producir diagramas para construir y comunicar sus conocimientos. Estos diagramas son representaciones dejan de tener una pretensión exclusivamente reproductiva de su referente y buscan hacer foco en una parte de la realidad, representándola de manera transformada. Así, son RV menos icónicas que los dibujos y las fotografías y por lo tanto con un mayor grado de abstracción y complejidad.

En el área de la Biología, los diagramas se consolidaron no solo como recursos para la comunicación científica, sino también como herramientas para mediar los razonamientos científicos (Griffard, 2018). Los biólogos emplean diagramas como herramientas esenciales para presentar, evaluar y revisar sus explicaciones de los fenómenos de la naturaleza y de los mecanismos responsables de ellos (Sheredos, Burnston, Abrahamsen, y Bechtel, 2013).

Cabe aclarar que, en la actualidad, existen otras formas de representar fenómenos como los videos y las simulaciones que se han ganado un lugar en el ámbito científico como evidencia, herramienta de cálculo e incluso como metodología de investigación en sí mismas (Granados y Echeverría Ezponda, 2019). Sin embargo, dado que se escapa a los fines de esta tesis, no se ahondará en este tema.

En síntesis, en contexto de construcción de los saberes de Ciencias Naturales, las RV han tenido una doble función, como instrumento para pensar y también como modo de presentar o sintetizar determinadas construcciones científicas. Operan como instrumento de pensamiento ya que a través de su manipulación intelectual permiten modificar la realidad en estudio reinterpretándola. Sirven como modo de presentar y resultan útiles y versátiles a los fines de la ciencia ya que las RV tienen el atributo de hacer presente y poner a disposición lo que ya no está (Moya y Lorenzo, 2018).

Por esto, las RV han jugado y juegan un rol clave en el desarrollo de las disciplinas científicas tanto en la construcción del conocimiento como en su comunicación dentro y fuera del ámbito académico. No son solo productos de la ciencia sino medios. De este modo, y como se comentó anteriormente, las RV construidas restringen las posibilidades de pensamiento dentro del campo debido a la relación de reciprocidad que existe entre los avances conceptuales del contenido de la representación y la representación en sí misma (Lorenzo y Pozo, 2010).

Las ciencias biológicas en general y la genética en particular no son una excepción. Las RV también han desempeñado un papel importante tanto en el razonamiento científico como en la construcción de nuevas teorías. Ejemplos de ello van desde Darwin, con la representación de la evolución a través de árboles filogenéticos, pasando por las diferentes representaciones de la célula a lo largo de la historia, hasta la construcción de modelos para representar la molécula de ADN (Maienschein, 1991) los cuales revisten especial interés en esta tesis. En el apartado 2.4.1 se describen los hitos más importantes que dieron lugar a la consolidación de la genética como disciplina y a su desarrollo, y se presentan algunas de las RV más representativas que aparecieron en las comunicaciones científicas en ese momento.

Muchos de los dibujos, fotografías, diagramas y el resto de RV que surgieron a lo largo de la historia de las ciencias fueron transpuestos didácticamente y aparecen en los materiales educativos de las respectivas disciplinas en todos los niveles de instrucción. Por ello, a continuación, se realiza una breve reseña sobre el rol de las RV en la educación en ciencias.

La función didáctica de las RV en la educación en ciencias ha ido cambiando a lo largo de la historia. Esto está ligado, entre otras cosas, al paradigma filosófico y epistemológico hegemónico que primaba en cada período y, por lo tanto, a la importancia que se le otorgaba a los sentidos como por ejemplo, la vista. Las RV pasaron de ser presentadas con cuidado y como mera herramienta para ayudar a la memoria a ser utilizadas como herramientas persuasivas y de aprendizaje (Ortega, 2017).

Desde los orígenes de la ilustración científica puede identificarse un fin didáctico vinculado a exponer las características del mundo natural (Grilli, Laxague y Barboza, 2015). Las fotografías, por su parte, comienzan a ser explotadas con fines de enseñanza y divulgación. Estas, al igual que los dibujos, se utilizan en reemplazo del referente real y se hace posible la enseñanza en ausencia del cuerpo para anatomía, la flor para botánica, la naturaleza para la biología.

Posteriormente, los diagramas también aparecen en contextos educativos. Estos son RV que dejan de tener una pretensión exclusivamente reproductiva de su referente y buscan hacer foco en una parte de la realidad, representándola de manera transformada. Dado que están diseñados para la enseñanza, estas RV serán denominadas posteriormente diagramas instruccionales por Lowe (1993).

Actualmente, en el contexto de enseñanza de las Ciencias Naturales es indiscutible la importancia del uso de dibujos, fotografías y diagramas en simultáneo con otros tipos de registros semióticos. Evidencia de esto es el gran número de RV que aparece en los libros de texto de todos los niveles educativos y del nivel secundario en particular (Postigo y López Manjón, 2012).

En el caso de la educación en genética, la enseñanza de los contenidos es indisoluble del uso de RV. La construcción de sus conocimientos se logró gracias al uso de la comunicación verbal y las RV que acompañan y apuntalan sus teorías. Por lo tanto, su enseñanza y aprendizaje no pueden realizarse al margen de este tipo de recursos que complementan y amplían el lenguaje verbal. Diversos autores proponen que se aprende genética leyendo y escribiendo en ellas, así como también observando, analizando y realizando representaciones visuales (Grilli, Laxague y Barboza, 2015).

Como pudo verse en este apartado, las RV son centrales en la construcción de conocimientos científicos en el ámbito académico y también en el ámbito escolar. En el siguiente apartado, se define a la genética como campo de conocimiento y se presenta una revisión de los principales hitos que forjaron su constitución como disciplina y su posterior desarrollo, incluyendo las RV que operaron como herramientas epistémicas para la construcción de los nuevos conocimientos y como herramientas para la comunicación de los mismos. Además, se describen los contenidos de genética que se abordan en la escuela secundaria de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y se presentan antecedentes en torno al estudio de las RV de genética en dicho nivel.

2.4 La educación en genética y sus representaciones

2.4.1. Las representaciones visuales de genética en el desarrollo disciplinar y su trasposición a los libros de texto

La genética es la ciencia que estudia la herencia y la variabilidad. Esta disciplina tiene sus inicios con los escritos de Gregor Mendel acerca de la hibridación de plantas y se termina de consolidar años más tarde, en 1906. El advenimiento de las tecnologías permitió que la genética extienda sus fronteras de conocimiento, pasando de basarse en

la observación de fenotipos a ser una disciplina que explica los fenómenos a partir de procesos de nivel molecular (Igaz, 2019).

Durante el desarrollo de estos modelos explicativos, surgieron diversas RV que acompañaron los discursos de los referentes de la disciplina en el marco de la producción y comunicación del conocimiento científico. Estas RV trascendieron a través del tiempo y, luego de procesos de transposición didáctica, están presentes en los libros de texto y materiales didácticos de la actualidad tanto a nivel de la educación superior como a nivel de la educación secundaria (Sierra, Gallego Torres y Martínez Delgado, 2016). Las RV al igual que los demás conocimientos del área forman parte del conocimiento científico el cual es producido por grupos especializados y para que pueda ser llevado a las aulas debe atravesar una transposición didáctica.

La transposición didáctica es el proceso mediante el cual un objeto de saber se transforma en un objeto de enseñanza, es decir que, se adecua la finalidad, la forma, el nivel a quien va dirigido para presentarlo de manera accesible, contextualizada y adecuada (Chevallard, 1991). Es por esto por lo que, a continuación, se realiza una breve reseña histórica de la genética como marco disciplinar y se presentan algunas RV que fueron claves en su desarrollo. Al mismo tiempo se establece una comparación entre las RV que surgieron en el plano disciplinar con aquellas resultantes de su transposición a los materiales educativos.

Para comenzar con la historia de la Genética, su surgimiento podría atribuirse a la figura de Gregor Mendel. Si bien no existe un consenso acerca del momento exacto del inicio de esta ciencia, no hay dudas de que Mendel fue un pionero en el estudio de la herencia. Un hito clave es la publicación de *Pflanzen-Hybriden* o Memorias sobre la hibridación de las plantas en 1866, en donde Mendel plantea sus ideas acerca de la existencia de diferentes tipos de factores, algunos dominantes y otros recesivos. Estos factores, que explicarían las características fenotípicas, son heredados a través de las gametas de las plantas, y es posible determinar la proporción esperada para cada uno de ellos en la progenie (Gayón, 2016). Es menester mencionar que estos hallazgos fueron realizados a partir de trabajos de cruzamientos de plantas y estudios estadísticos. Es decir que las unidades de análisis correspondían al orden macroscópico, mientras que las representaciones empleadas para su comunicación fueron de orden macroscópico para las entidades reproductoras y simbólico para las entidades teóricas denominadas hasta ese momento como unidades de información, que posteriormente serían denominadas alelos.

En esta publicación, Mendel propone un tipo de notación específica que permite aproximarse a sus postulados. En ella, incluye letras mayúsculas, para denominar a los factores dominantes (A) y minúsculas (a), para denominar a los factores recesivos. En la

Figura 2.6.A se presenta un recorte de la expresión utilizada por Mendel en su obra para denotar las variantes presentes en las células reproductivas. Como puede verse, desde sus orígenes la genética recurrió a representaciones simbólicas que no solo sirvieron para comunicar los nuevos conocimientos, sino que también fueron parte de su construcción ya que están presentes en las notas originales de Mendel (Igaz, 2019). Por otro lado, en la misma figura, se presenta el cruzamiento entre las variantes a través de flechas, representación que podría denominarse diagrama en términos del marco teórico empleado en esta tesis. En la Figura 2.6.B se presenta una RV a modo ilustrativo del tipo de expresiones que aparecen en los materiales educativos de la actualidad.

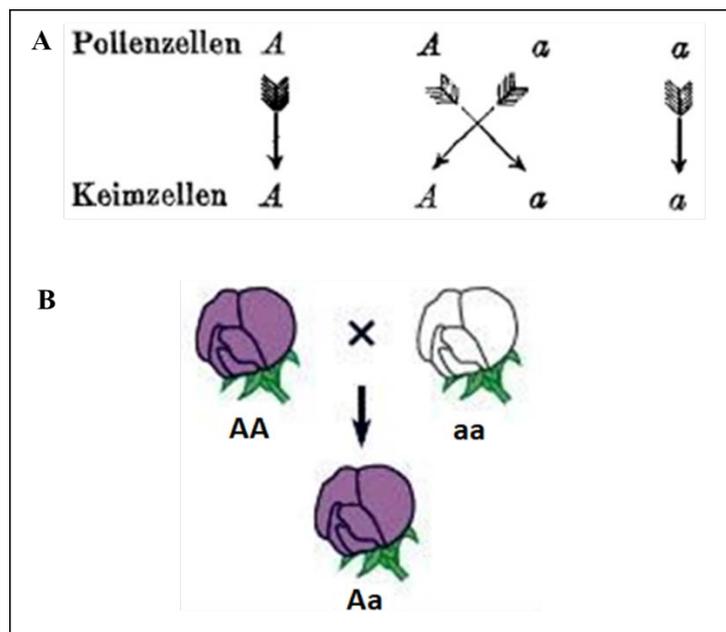


Figura 2. 6. A. Notaciones de Mendel en su publicación Pflanzen-Hybriden o Memorias de Mendel sobre la hibridación de las plantas (1866). Tomado de Gayon (2016). B. Ejemplo de representación de libro de texto actual.

Como puede verse, tanto en las notaciones originales de Mendel como en la representación tomada de un libro de texto actual, la representación tiene la forma de un diagrama. Es decir que se representan relaciones entre los conceptos. Para ello, incluye flechas que denotan el transcurso del tiempo parte superior hacia la parte inferior, lo que da cuenta de la importancia de este tipo de RV y pone de manifiesto que se están representando procesos. Además, en ambos casos se utilizan notaciones simbólicas con letras mayúsculas y minúsculas para hacer referencia a las variantes. Esto constituye un ejemplo más, que se suma a los anteriormente mencionados, de cómo los diagramas se instalaron en el ámbito de la comunicación científica y luego, reaparecen en los materiales educativos de dichas áreas.

Continuando con el recorrido histórico, luego de la publicación de Mendel en 1866, comienzan a surgir nuevas investigaciones y aumenta el interés por esta área de conocimiento. En los primeros años del 1900's William Bateson publica por primera vez el término Genética y propone a esta disciplina como una nueva ciencia de la herencia basada en las leyes propuestas por Mendel (Bateson, 1902).

Una segunda etapa de la genética es la genética clásica. Esta se desarrolló entre 1915 y 1950 aproximadamente y se consolida a partir de al menos dos grandes nuevos conocimientos. Por un lado, la descripción de la división mitótica y meiótica y por otro, el mecanismo de *crossing-over* que se da entre los cromosomas durante la meiosis (Gayon, 2016). Es decir que, a diferencia de la etapa anterior, esta incluye el estudio de estructuras de nivel celular y subcelular. Esto marcará una diferencia en las RV que se utilizaron en la construcción y comunicación de estos conocimientos nuevos.

Con respecto a la división meiótica, un investigador que realizó importantes aportes en este campo fue Oscar Hertwig, quien en 1890 publicó un diagrama que representaba la espermatogénesis de la especie modelo de nematodos *Ascaris megalocephala*. En la Figura 2.7.A se presenta un recorte de uno de dichos diagramas. Como puede verse, este se encuentra organizado presentando una serie de figuras que tienen la intención de reproducir lo que el investigador observó en el microscopio, pero ordenadas de manera secuencial indicando el transcurso del fenómeno a través del tiempo con los números en la parte superior. Las etapas 1 a 7 corresponden a los núcleos del espermatocito con la cromatina laxa. Las etapas 8 a 10 muestran la profase y metafase de la meiosis I, y ya se identifica la cromatina condensada en forma de cromosoma. Las etapas 11 a 14 muestran la anafase y telofase I, mientras que de 15 a 21 se muestra la segunda división meiótica, la reducción del número de cromosomas y finalmente, la formación de los espermatozoides (Hertwig, 1890 en Churchill, 1970). En la Figura 2.7.B se presenta un ejemplo de los diagramas que aparecen actualmente en los libros de texto a la hora de representar la meiosis, un contenido que se enseña en la educación media.

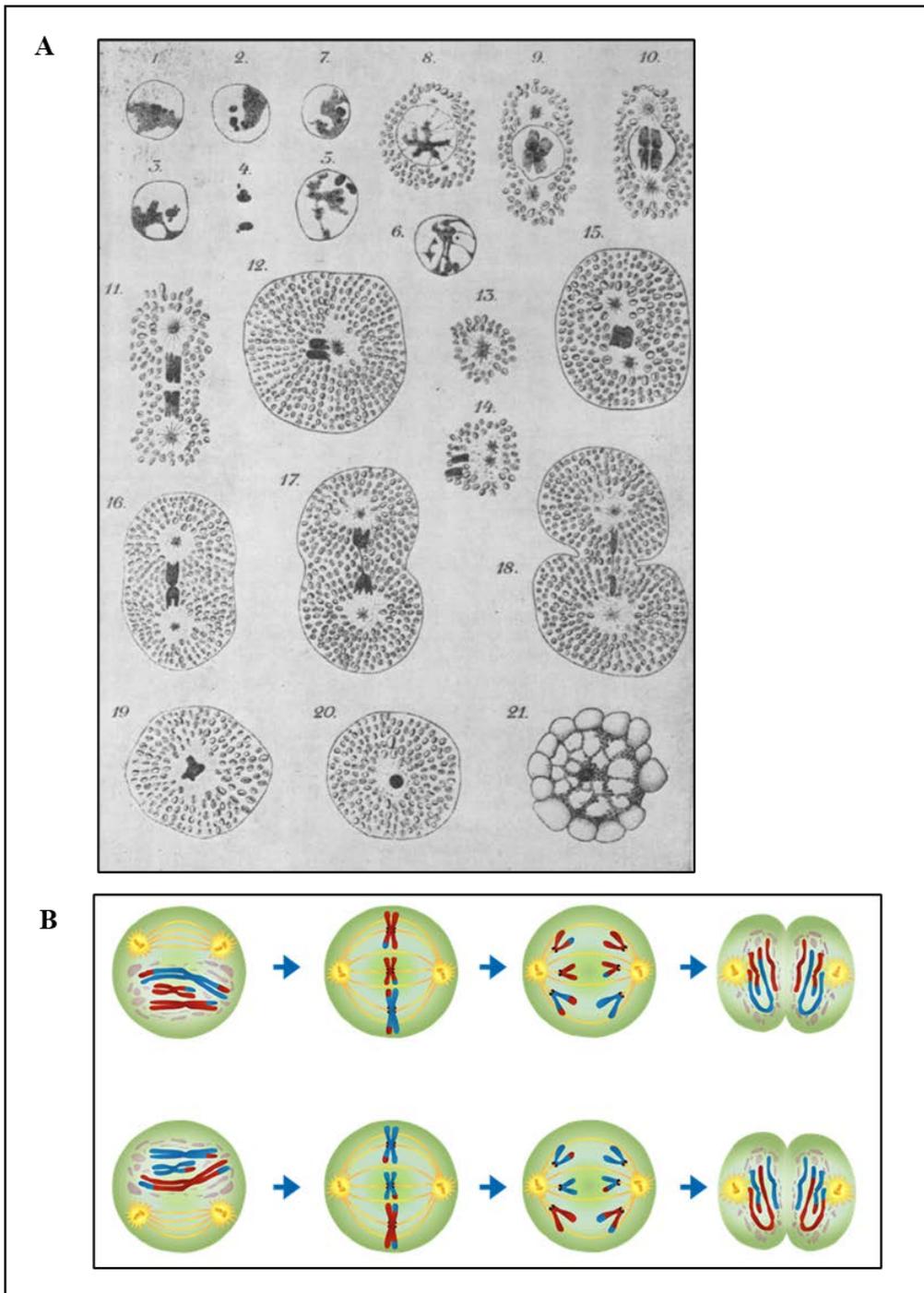


Figura 2. 7. A. Diagramas utilizados para representar la espermatogénesis por Hertwig (1890). Tomado de Churchill (1970). B. Ejemplo de representación de meiosis en libro de texto actual.

Como puede verse, hay varios aspectos que se conservan. Desde un punto de vista general, se presenta de forma similar la secuencia de eventos y la disposición de las figuras en el espacio de izquierda a derecha indicando un avance de los sucesos en el tiempo. En el segundo caso aparecen flechas en vez de números. Desde un punto de vista

específico de la disciplina, se conserva la forma de representar las células, el núcleo, los centríolos y los cromosomas; todas estructuras de nivel celular o subcelular.

Otro de los conocimientos claves fue la descripción del *crossing-over* como mecanismo que ocurre durante la división meiótica y la teoría cromosómica de la herencia. Estos fueron propuestos por Morgan. En la Figura 2.8.A se presenta el diagrama utilizado por dicho autor en su publicación *The mechanism of Mendelian Heredity* en 1915 para explicar el modo en que los cromosomas se entrecruzan durante la división meiótica e intercambian un fragmento (Morgan, Sturtevant, Muller, Bridges, 1915). En la Figura 2.8.B se muestra un ejemplo de RV de libro de texto actual para explicar el entrecruzamiento.

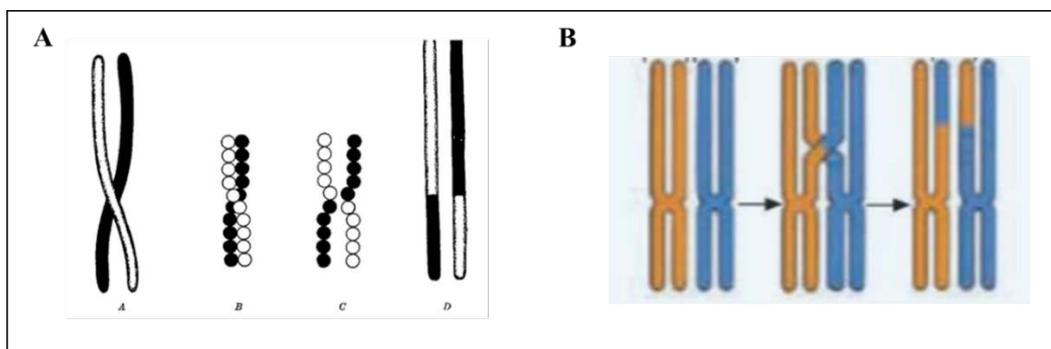


Figura 2. 8. A. Diagramas utilizados por Morgan et. al para representar el crossing over en *The mechanism of Mendelian Heredity* (1915). Tomado de Gayon (2016). B. Ejemplo de representación del entrecruzamiento de un libro de texto actual.

Al comparar ambas representaciones se identifican muchos aspectos conservados entre la RV original del campo científico-académico y la RV utilizada en contexto educativo. Nuevamente hay una temporalidad indicada por la disposición de las figuras de izquierda a derecha. En el primer caso, se enfatiza esta idea con la secuencia de letras en orden alfabético mientras que en el segundo se utilizan flechas. También ambas RV recurren a la utilización de dos colores diferentes para hacer notar la presencia de cromosomas diferentes. Desde el punto de vista conceptual, las representaciones de los cromosomas, de nivel subcelular, son similares a excepción de que en el primer caso se los representa con una sola cromátide mientras que en el segundo se consideran las dos.

En el año 1953 se publica en la revista *Nature* el artículo titulado *Molecular structure of nucleic acids*, una obra clave para la disciplina que marcará el comienzo de una nueva era: la genética molecular. En dicho trabajo, los autores Watson y Crick presentan en tan solo una carrilla la descripción detallada de la estructura del ADN (Watson y Crick, 1953), la cual fue posible obtener gracias al aporte invaluable de las imágenes capturadas por Rosalind Franklin (Franklin y Gosling, 1953). En su descripción indicaban que este

modelo está formado por dos cadenas antiparalelas, enrolladas en espiral, constituidas por un esqueleto de grupos fosfato y azúcar desoxirribosa, que en su interior alberga las bases nitrogenadas unidas por puentes de hidrógeno y en cada vuelta de espiral tiene 10 pares de bases, enfrentadas la A:T y G:C (Adenina, Timina, Guanina y Citocina). En la Figura 2.9.A se presenta el diagrama extraído del artículo original. Su leyenda dice: “Las dos cintas simbolizan las cadenas de azúcar-fosfato y las varillas horizontales los pares de bases que mantienen las cadenas unidas. La línea vertical marca el eje de la fibra.” En la Figura 2.9.B se presenta la RV de la molécula de ADN extraída de un libro de referencia para la educación media.

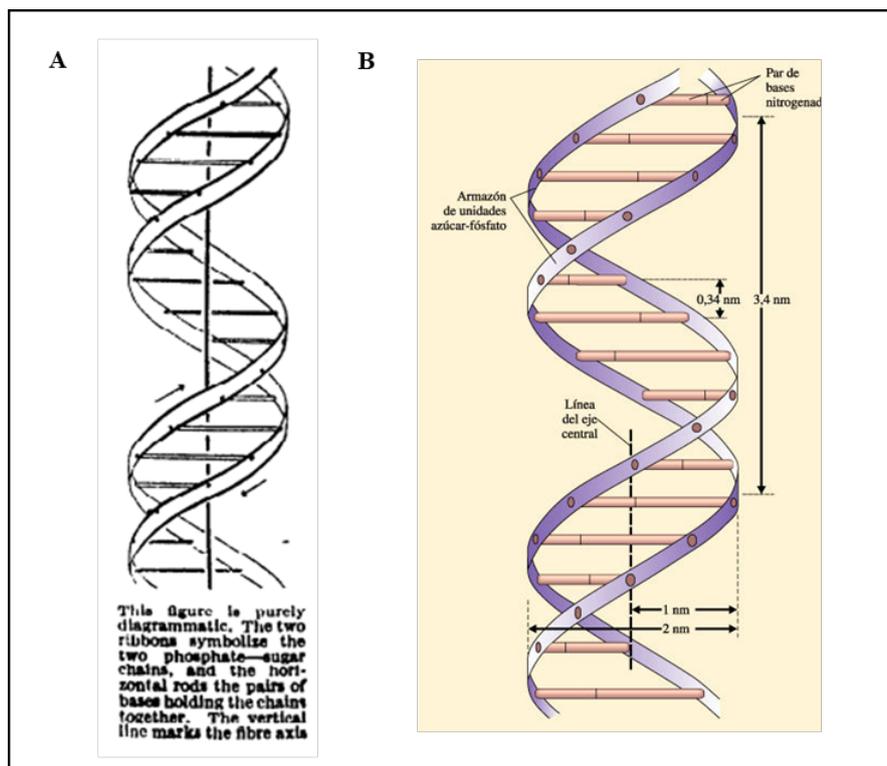


Figura 2. 9. A. Diagrama de la estructura del ADN presentado en la publicación Molecular structure of nucleic acids (Watson y Crick, 1953). B. Ejemplo de representación de la estructura del ADN de un libro de texto actual.

Como puede verse, ambas están representando un fragmento de una molécula son prácticamente idénticas. En la segunda, se incluyen etiquetas verbales con los nombres de las estructuras y los datos de distancia entre algunas de ellas.

Luego de esta descripción, se da una serie de nuevas investigaciones que permiten conocer cómo era el mecanismo de replicación del ADN, la existencia del ARN mensajero, el código genético, entre otras tantas cuestiones. Así, con el advenimiento de las nuevas tecnologías, esta disciplina cambia desde una perspectiva más basada en los fenotipos hacia una que puede ir más allá, analizando las características de los genes. Este

nuevo período de la genética contemporánea se caracteriza por un auge en las tecnologías vinculadas a los ácidos nucleicos y proteínas. Así, se comenzaron a realizar técnicas como la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), ADN recombinante, secuenciación de ADN, fertilización in vitro, obtención de organismos genéticamente modificados, clonación, el proyecto genoma humano, entre otras (Gayon, 2016).

El fin del Proyecto Genoma Humano dio origen a lo que se conoce como la era post-genómica (Martschenko, Trejo y Domingue, 2019). En las últimas décadas, este campo tuvo un auge, al punto de que los métodos de genética molecular llegaron a ser una parte cotidiana de las prácticas de laboratorio. Inicialmente, los métodos de diagnóstico a través de genética molecular fueron usados para identificar una alteración genética en particular (mutaciones puntuales, deleciones, entre otras) en un gen de interés. Más tarde, el foco se puso en investigar paneles de genes, exomas y hasta genomas completos para encontrar desordenes genéticos. Para lograrlo se usaron microarrays de genes y técnicas de *next generation sequencing*. Estas técnicas conocidas como *high-throughput* fueron fundamentales para transformar la rutina del diagnóstico genético dando origen por ejemplo a la medicina de precisión o personalizada. Sin embargo, técnicas clásicas como el aislamiento de ADN y la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), siguen siendo muy usadas en los laboratorios de diagnóstico genético (Butz y Patócs, 2019).

Las RV que aparecen en las publicaciones de estas técnicas nuevas suelen ser más abstractas y difíciles de analizar que las que se presentaron anteriormente. Generalmente se presentan en forma de gráficos complejos o a través de paneles con recuadros de colores que representan la expresión de distintos genes, entre otras formas. En cuanto a su llegada al ámbito educativo, se trata específicamente en los años superiores de la educación media y sobre todo en las modalidades de Ciencias Naturales. Por lo tanto, escapan a los intereses de esta tesis, motivo por el cual no se presenta una descripción exhaustiva de los mismos.

Este breve recorrido histórico de alguna manera comienza a delinear cuatro grandes temas centrales en los que se pueden agrupar los conocimientos de genética que se tratan en la escuela secundaria. Los ácidos nucleicos, la naturaleza del ADN, ARN y sus procesos dentro de las células. La reproducción celular, siendo la mitosis y la meiosis alguno de sus ejemplos. La herencia, que abarca los mecanismos propuestos por Mendel y las posteriores adaptaciones del modelo. Y, por último, un área más contemporánea, vinculada a todas las tecnologías desarrolladas en torno a los ácidos nucleicos. Estos grupos coinciden con los cuatro tópicos centrales identificados en la enseñanza secundaria de genética en Finlandia propuestos por Aivelo y Uitto, (2019), que se describirán más adelante.

En suma, puede decirse que la genética ha producido dispositivos teóricos iconográficos o RV a lo largo de su historia que permitieron su desarrollo y consolidación como campo disciplinar. De allí, la dependencia mutua entre contenido y representación, y la imposibilidad de estudiar a las RV de manera aislada del campo. Desde esta perspectiva, y considerando que las RV que surgieron en contexto académico se extendieron y transpusieron a los materiales didácticos de hoy en día, en el siguiente apartado se delimitan algunos aspectos en cuanto a los contenidos de genética que se abordan con RV en la escuela media, particularmente en el segundo año, y que, por lo tanto, son de interés para esta tesis.

2.4.2. Los contenidos de genética y sus representaciones en la educación secundaria.

La enseñanza de la genética forma parte de los programas de biología de la educación secundaria en Argentina tal y como se desarrolló previamente en la introducción (p. 9). En este apartado se describen los contenidos de genética que se enseñan tradicionalmente en este nivel educativo. Para ello, revisan las principales investigaciones internacionales y locales reportadas en la literatura sobre la educación secundaria en genética, particularmente aquellas referidas a los contenidos que se abordan y a las RV que se emplean en su enseñanza.

Antes de comenzar, es menester definir la idea de contenido. Un contenido es una selección de conocimientos propios de la disciplina con fines de ser enseñados o bien, un recorte intencional de un determinado dominio de conocimiento (Lorenzo, 2018). La cantidad de contenidos a enseñar puede llegar a ser muy amplia, sobre todo considerando que el campo de la genética está en permanente crecimiento. Por ello, los planes de estudio de cada región indican qué contenidos deben enseñarse. Estos documentos norman los contenidos a enseñar y a aprender, los tiempos para lograrlo, las actividades a realizar, la progresión de la enseñanza y los aprendizajes, las formas de evaluación, entre otras cuestiones (Sacristán, 2005).

En el caso particular de la educación secundaria de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, los contenidos están pautados por el diseño curricular de la Nueva Escuela Secundaria (Ministerio de Educación, 2015), cuyas particularidades serán descritas en mayor detalle en el capítulo de Metodología (pp.72) en conjunto con consideraciones para el trabajo con este tipo de documentos.

La educación en genética se encuentra incluida en los planes de estudio del nivel secundario de muchos países. Esto se debe a la importancia que tiene para la formación

de ciudadanos críticos y su vida en sociedad (Ocelli, 2011). Esta disciplina ha sido utilizada a lo largo de la historia para justificar actos nefastos como desalentar la abolición de la esclavitud, sostener discriminación, restringir la inmigración, imponer la esterilización y validar las desigualdades socioeconómicas y raciales (Martschenko et al., 2020). Es por eso por lo que enseñar genética requiere de responsabilidad y de un enfoque que apunte a la formación de ciudadanos críticos que puedan tomar posición ante los dilemas de la actualidad (González Galli, 2021, 19m34s).

Una buena educación en genética puede permitir el abordaje de preguntas cruciales sobre enfermedades, pruebas genéticas, rasgos, comportamientos heredados y adquiridos, entre otros. Desde esta perspectiva, en donde aprender genética constituye parte de los derechos de los estudiantes y abona al desarrollo de su pensamiento crítico y consecuentemente su emancipación intelectual, algunos autores definen la idea de alfabetización genética (Stern y Kampourakis, 2017). La alfabetización genética implica saber genética y haber adquirido las habilidades de razonamiento que su aprendizaje conlleva, como por ejemplo la resolución de problemas. La alfabetización genética es una demanda en la actualidad ya que los conocimientos de genética podrían tener impacto en la vida cotidiana de los ciudadanos. Sin ir más lejos, tomar posición frente a la información ofrecida por los medios de comunicación acerca la enfermedad COVID-19, el virus que la provoca y su transmisión, entre otras cosas, requiere saber conceptos de genética.

En líneas generales, a lo largo de la educación secundaria se desarrollan contenidos vinculados con los principios básicos de la herencia biológica, la estructura del ADN y los cromosomas, la ubicación de los genes en estos últimos, mitosis, meiosis, entre otros. Esta tradición se conserva en diferentes países como Argentina (Legarralde, 2020), España (Caballero Armenta, 2008; Banet y Ayuso, 1995), Suecia, Estados Unidos (Stern et al., 2017), Finlandia (Aivelo y Uitto, 2019), entre otros.

Por ejemplo, en el currículo de Biología de la educación secundaria de Finlandia, los contenidos se agrupan en cuatro grandes tópicos. Algunos de ellos se dictan en asignaturas que son de cursada obligatoria para todos los estudiantes y otros, en asignaturas que son de cursada opcional, de manera similar a lo que ocurre en Argentina con las orientaciones del ciclo superior de la escuela secundaria. A continuación, se enlistan los cuatro tópicos centrales, con sus contenidos indicando su obligatoriedad (Aivelo y Uitto, 2019):

- ADN y genes: estructura y función del ADN, genes, alelos, síntesis de proteínas, que se estudian en asignaturas obligatorias. Mientras que, estructura del genoma, función de los genes y su regulación, se estudian en una asignatura superior y opcional.

- Funciones celulares: gametas y meiosis, mitosis (tema perteneciente a asignaturas obligatorias).
- Herencia: mecanismos de herencia, genética de poblaciones (tema perteneciente a asignaturas obligatorias).
- Aplicaciones: tecnología génica, aspectos éticos y legales (tema perteneciente a asignatura superior opcional).

Es interesante notar que los contenidos de funciones celulares, herencia y la mayoría de ADN y genes, se encuentran ubicados en una asignatura de cursado obligatorio, mientras que ciertos contenidos del primer tópico y del tema aplicaciones de los ácidos nucleicos se dictan en una asignatura de cursada opcional. Estos cuatro grupos de contenidos resultan funcionales para analizar los contenidos de genética en segundo año de la NES ya que están relacionados con los contenidos tratados en Biología de dicho nivel. Por lo tanto, en los Resultados de esta tesis se presenta un análisis de los contenidos de a la luz de estos cuatro temas centrales, adaptados al contexto de esta tesis.

En cuanto al primer gran tópico, ADN y genes, los conceptos de gen y cromosomas son considerados contenidos clave dentro de la enseñanza de la Biología y de la genética, como subárea particular de la educación secundaria (Diez de Tancredi et al., 2004). Esto se debe a que estos conceptos constituyen la base sobre la cual se edifica un conocimiento más integral y complejo. Los conceptos gen y cromosoma tienen un alto grado de abstracción y son fundamentales para comprender los nuevos conocimientos de la genética contemporánea como la biotecnología, la clonación, la ingeniería genética, entre otros. A su vez, los mismos son clave en la comprensión de la ciencia, la tecnología y su relación con la sociedad.

Sin embargo, las investigaciones muestran los estudiantes no comprenden los conceptos de gen, cromosoma y alelo (Banet y Ayuso, 2000). Esto trae aparejados problemas de comprensión de los contenidos dentro del bloque curricular de la información genética ya que no pueden interpretar adecuadamente el significado de homocigota y heterocigota, se dificulta la comprensión de los cálculos de probabilidades, frecuencias y proporciones para los genotipos, fenotipos en los cruces, los análisis de mecanismos hereditarios, entre otros. A su vez, la falta de comprensión sobre estos contenidos impone dificultades para entender ideas de la biología en general como la dinámica de los procesos biológicos que ocurren tanto en organismos celulares como pluricelulares y en procesos inherentes a las poblaciones y comunidades biológicas (Diez de Tancredi y Caballero, 2004).

Por otro lado, en cuanto al segundo tópico, reproducción celular, las investigaciones revelan que en los libros de texto y por lo tanto, en las clases de los docentes que inspiran sus secuencias en estos últimos, no se explicita la relación entre la reproducción celular y

la herencia. Autores como Banet y Ayuso (2000) afirman que el estudio de los procesos de división celular, en particular, la meiosis, se deberían vincular con los contenidos de Genética, ya que constituyen la base para comprender aspectos importantes, como la transmisión de la información hereditaria.

En cuanto al tercer tópico, herencia, suele adquirir especial protagonismo en la tradición escolar. En muchos países se ha identificado una tendencia hacia la enseñanza de la genética mendeliana, tercer tópico central, en desmedro del resto de los demás contenidos (Legarralde, 2020). Argentina no es la excepción, cuenta de ello dan algunos resultados de investigación que muestran que en las escuelas secundarias se entrena a los alumnos en la resolución mecánica de ejercicios a través de cuadros de Punnett, sin promover la reflexión acerca de la relación entre dichos cálculos y las posibles explicaciones de los fenómenos genéticos (Navarro, Rassetto, Priegue, Arias, Farina, Mora y Almazan, 2012). Este contenido es potente para introducir las ideas de herencia, pero generalmente se realizan simplificaciones que pueden llevar a errores y un abordaje a través de ejercicios de resolución mecánica que poco tienen que ver con la comprensión de los contenidos y las posibilidades de extenderlos hacia otros campos (Stern y Kampourakis, 2017). A su vez, no se explicitan las limitaciones del modelo y los casos en que estos principios no son aplicables como por ejemplo genes que tienen más de dos alelos, la dominancia incompleta, entre otros (Ayuso, 2020, 3m29s).

En cuanto al tema de aplicaciones y usos de los ácidos nucleicos, estos circulan en el cotidiano en los medios de comunicación y su comprensión requiere de la integración de los anteriores contenidos. La evidencia muestra que muchas veces los estudiantes tienen ideas erróneas sobre la naturaleza y el potencial de las tecnologías genéticas (Stern et al., 2017) y por otro lado, se ha evidenciado un uso controversial de los datos obtenidos a partir de estas tecnologías que requiere formación en la ciudadanía para poder procesar esa información de manera crítica (Martschenko et al., 2019).

En cuanto a las investigaciones en diseños curriculares o planes de estudio en el ámbito de nuestro país, hay autoras y autores que han estudiado sobre los planes de estudio del profesorado de Biología de distintas universidades argentinas (Rassetto, Ayuso y López, 2014) y ponen de manifiesto la importancia del análisis de estos documentos desde la mirada de la Didáctica de la Biología para mejorar la formación de profesores. En esta línea se realizaron estudios sobre el Diseño Curricular para el nivel inicial de la Provincia de Río Negro desde los aportes teóricos de la Didáctica de las Ciencias Naturales y se observó una fundamentación adecuada pero insuficiente en algunos tópicos como la concepción de ciencia del docente, la importancia del lenguaje de ciencia escolar, entre otros (Farina y Rassetto, 2021).

En el caso particular de investigaciones sobre los contenidos de genética en los planes de estudio, se han identificado algunos trabajos en relación con el tratamiento de contenidos de Ciencia Tecnología y Sociedad (CTS) y las controversias sociocientíficas en asignaturas como Biología, Genética y Sociedad dentro del ámbito de la Provincia de Buenos Aires, por ejemplo (Vilouta y Porro, 2016; Vilouta, 2019). Esta asignatura forma parte del último año de las escuelas secundarias de la provincia de Buenos Aires con orientación en Ciencias Naturales y propone el abordaje de los temas en 3 ejes: Herencia, identificación de personas y filiación; Clonación y células madre; Biotecnología y producción agropecuaria. Los resultados indican que estos ejes promueven el tratamiento de contenidos CTS como epistemología y sociología de la ciencia, pero no profundizan en cuáles son los contenidos de genética tratados, mucho menos en el rol de las RV propuesto por el diseño curricular.

En estos relevamientos, no se han identificado investigaciones en torno a los contenidos de genética en contexto de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, por ello, en el capítulo de Metodología (pp.72) se presenta una breve descripción de los lineamientos curriculares de la región a los fines de contextualizar esta investigación y en el apartado de Resultados (p.98) pueden verse los contenidos de genética recomendados para el segundo año de la NES en la Ciudad de Buenos Aires, agrupados en cuatro temas centrales. En el ámbito internacional, investigadores suizos preocupados por la alfabetización genética de los estudiantes, ofrecen recomendaciones para subsanar ciertos conceptos erróneos y contribuir con una mejor educación. En esta línea, apuntan a revisar los planes curriculares y utilizar de manera crítica los libros de texto.

En cuanto a los planes de estudio, sostienen que en general los contenidos se encuentran desactualizados dado el ritmo vertiginoso con el cual se dan los avances en la genética. Así, en la mayoría de los planes de estudio faltan conceptos básicos considerados esenciales para el desarrollo de la alfabetización genética. Por otra parte, sugieren una inversión en la secuenciación tradicional en donde primero se enseña genética mendeliana y luego molecular. Aunque este aspecto está en controversia y las decisiones dependen del nivel en que se esté trabajando (Stern et al., 2017). Esto da cuenta de la necesidad de dedicar tiempo al estudio de los diseños curriculares y analizar sus propuestas de manera crítica.

A modo introductorio puede decirse que, en particular en Buenos Aires, en los primeros años de la educación secundaria en general, se abordan contenidos pertenecientes al área de la genética como gen, cromosoma, estructuras y procesos de los ácidos nucleicos, mitosis y meiosis, herencia mendeliana, clonación, fertilización *in vitro*, entre otros. Mientras que, en los años superiores pertenecientes al ciclo orientado en Ciencias Naturales, se introducen otros contenidos de mayor complejidad y con énfasis en sus usos

en la sociedad, por ejemplo: biotecnología aplicada al desarrollo de vacunas, mejoramiento animal y vegetal, producción de medicamentos, procesos industriales, usos de la ingeniería genética, técnicas del ADN, entre otros (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Ministerio de Educación. Dirección General de Planeamiento e Innovación Educativa. Gerencia Operativa de Currículum, 2015b). Esto último podría analogarse a la asignatura optativa en los cursos de Finlandia mencionada anteriormente.

Los antecedentes arriba mencionados dan cuenta de que la enseñanza de la genética impone múltiples desafíos dada la naturaleza de los contenidos a enseñar. Se destaca entre ellos el uso de lenguaje específico que contiene términos técnicos. Los conceptos de genética resultan inusuales para los estudiantes y refieren a ideas con un alto grado de abstracción. Por esto, muchos autores plantean la necesidad de abordarlos desde casos de relevancia para los y las estudiantes, de manera que ellos y ellas puedan luego hacer transferencia de conocimientos (González Galli, 2020, 51m22s).

Otra cuestión importante a la hora de pensar los contenidos de genética, son las RV. Las RV entendidas como productos epistémicos que han surgido en el seno de la construcción de los conocimientos científicos de la disciplina, y que por lo tanto son parte inherente de la misma, deben ser consideradas como parte de los contenidos a enseñar. Por mencionar un ejemplo, en los textos de Biología, la RV del modelo de la molécula del ADN es en sí misma parte del contenido a enseñar (Diez de Tancredi et al., 2004).

A su vez, las RV cumplen un rol fundamental como herramientas cognitivas en la enseñanza ya que su uso implica la adquisición de contenidos procedimentales como análisis, interpretación, elaboración de una RV, entre otros. De esta manera, el trabajo con RV promueve desde habilidades sencillas como identificar elementos o completar un diagrama hasta alcanzar el análisis global de la RV y el establecimiento de relaciones conceptuales entre los elementos de esta. Estas actividades cognitivas contribuyen con una alfabetización visual o gráfica que permitirá que los alumnos adquieran criterios para utilizar de manera óptima las RV y puedan transferir los conocimientos a otras RV e incluso a otras áreas del saber tal y como se explicó anteriormente en este Marco teórico.

Las RV son uno de los tipos de representaciones de mayor uso en clases, programas informatizados, software educativo, libros de texto (Diez de Tancredi et al., 2004). Se utilizan para expresar una relación espacial de tipo reproductivo, es decir, su énfasis es reproducir o representar objetos, fenómenos o procesos cuando no se tiene la oportunidad de tenerlos en su forma real, como el caso de los dibujos, las fotografías y las imágenes técnicas. O bien, representan contenidos y sus interrelaciones de forma esquemática, como los diagramas. En muchos de estos casos las RV se emplean para tratar procesos de

alto nivel de abstracción, en cuyo caso estas “re-presentan” algunos contenidos con fines explicativos (Otero, Greca y Fanaro, 2005).

Por ejemplo, gran parte de los contenidos que se desarrollan en el bloque de la información genética en la escuela secundaria, corresponden a diferentes niveles de ontológicos y que por lo tanto demandan distintos modos de razonamiento. Un nivel de información que contiene la información genética, y un nivel físico que contiene entidades biológicas organizadas jerárquicamente, como las proteínas, células, tejidos, individuos, entre otras. Comprender genética requiere la comprensión de lo que especifica la información genética, y cómo las entidades físicas en el sistema median los efectos de esta información (Duncan y Reiser, 2007). Esta particularidad intrínseca a los contenidos de genética tiene su correlato en las RV empleadas en la enseñanza de la genética.

Así, comprender los contenidos de genética requiere entender la organización jerárquica de la información genética y cómo se plasma esto en las RV empleadas para su enseñanza. Esto implica que los estudiantes transiten entre niveles representacionales simbólicos, macroscópicos, microscópicos y submicroscópicos (Horwitz, Neumann y Schwartz 1996; Marbach-Ad y Stavy, 2000). Por ejemplo, la organización celular suele utilizarse tradicionalmente como base para abordar la naturaleza y ubicación de los ácidos nucleicos en contexto celular. Sin embargo, la comprensión de dicha jerarquización suele presentar dificultades para los estudiantes, algunas de las cuales se relacionan con el uso de imágenes bidimensionales como fotos o preparaciones microscópicas en la enseñanza, para representar a las células, cuya naturaleza es tridimensional (Mengascini, 2006). Por otro lado, la comprensión de la organización jerárquica de las estructuras biológicas se encuentra obstaculizada por la presencia de diferentes niveles de representación en las RV desplegadas en la enseñanza (Menegaz y Megascini, 2005). Se han documentado las dificultades en la comprensión de los procesos de contracción cardíaca por implicar fenómenos de orden macroscópico y microscópico, representados con diferentes medios visuales, entre ellos las RV (Merino, González, Lizama, Pino, 2017). De allí la necesidad de considerar los niveles de representación al momento de analizar las RV de genética de la escuela secundaria.

Generalmente, los y las docentes recurren a distintos tipos de RV o RV que aluden a diferentes niveles de representación para mostrar diferentes aspectos de un mismo fenómeno representado. Aquí adquiere relevancia la idea de enseñanza con múltiples representaciones, es aquella que incluye representaciones diversas enfocadas en aspectos particulares de los conceptos o principios biológicos representados, incluyendo diferentes niveles de organización biológica y diferentes modos de representación (Schoborn y Bogeholz, 2018). En las clases, los docentes se mueven entre los diferentes modos y niveles de representación con facilidad, mientras que para los alumnos esto no es sencillo

(Ayuso, 2020, 5m28s). Así, la enseñanza de la genética con RV tiene el desafío de transparentar la coexistencia por un lado de los sistemas de representación con características y reglas de lectura propias y por otro, de diferentes niveles de representación en ellas, los cuales aluden a las estructuras y fenómenos de diferentes escalas de tamaños. Es decir que, cuando se recurre a una enseñanza con múltiples representaciones externas, resulta esencial el proceso de traducción, que se refiere al procesamiento, mapeo y movimiento entre las diferentes representaciones. La traducción requiere comprender las relaciones entre las múltiples representaciones externas y vincularlas con la idea que estas representan (Ainsworth, 2018). Es necesario involucrar procesos de traducción para un aprendizaje exitoso de la biología (Tsui y Treagust, 2003).

Adicionalmente, hay evidencia científica de que los tipos de RV presentadas a los y las estudiantes y el orden en que se presentan impacta sobre la comprensión de los contenidos (Flores-Camacho, García-Rivera, Báez Islas, Gallegos-Cázares, Calderón-Canales, 2020). Un buen diseño de actividades con RV permite favorecer la alfabetización visual de los estudiantes (López-Manjón y Postigo, 2016) y su secuenciación adecuada, favorece una mayor comprensión en los conceptos (Flores-Camacho et al., 2020). Es por esto, que la selección, inclusión y secuenciación de las RV dentro de una propuesta didáctica debe estar debidamente fundamentada y requiere atender a las características representacionales de las mismas y sus códigos y restricciones. En definitiva, tener en consideración los desafíos que impone su interpretación. Sin embargo, los docentes muchas veces no conocen en profundidad las características de las RV que usan para enseñar lo que dificulta su uso adecuado (Postigo y López Manjón, 2019).

En los relevamientos realizados para esta investigación no se han encontrado estudios sobre diseños curriculares o planes de estudio de Argentina en relación con los lineamientos para el uso de RV en la enseñanza de la genética dentro de los planes curriculares. Esto da cuenta del aporte de este trabajo al respecto. En capítulo 4 (pp.98) se presentan los resultados obtenidos en relación con los lineamientos sugeridos por el DC para el uso de las RV en la enseñanza de la genética en el segundo año de la Nueva Escuela Secundaria.

Otro gran grupo de documentos en donde se encuentran reflejados los contenidos prescriptos son los libros de texto (LT). Estos son uno de los materiales que resultan importantes a la hora de la puesta en acción de los DC en las aulas, por eso forman parte de los documentos estudiados en esta tesis. En el siguiente apartado, se presenta a los libros de texto como materiales fundamentales en la educación secundaria y se desarrollan las investigaciones más destacadas en relación con el estudio de las RV en los LT en el área de la genética.

En suma, la educación en genética se encuentra incluida en los planes de estudio del nivel secundario de Argentina, al igual que muchos otros países. En líneas generales, a lo largo de la educación secundaria se desarrollan contenidos correspondientes a cuatro grandes temas centrales que son: el ADN y los genes, las funciones celulares, la herencia y las aplicaciones del ADN. Las RV ocupan un rol central en la enseñanza de la genética y son parte de los contenidos a enseñar. Son pocas las investigaciones realizadas sobre planes de estudio en relación con estos los contenidos de genética y sus representaciones en el contexto local.

2.4.3. Los contenidos de genética y sus representaciones en los libros de texto de educación secundaria

Los LT son materiales didácticos especialmente diseñados que trasponen y recrean los contenidos prescritos y los presentan a través de una propuesta didáctica determinada (Martínez Bonafé, 2002). Desde el ámbito de la investigación en educación, los LT han sido documentos de interés para la Didáctica de las Ciencias Naturales desde hace muchos años. En el capítulo de Metodología de esta tesis se recuperan algunos de los motivos por los cuales resulta valioso el estudio de los LT.

Desde el punto de vista de la enseñanza, los LT constituyen los materiales instruccionales más utilizados a la hora de enseñar Biología. Los docentes los consideran como fuente de información y como recurso instruccional (Diez de Tancredi et al., 2004; Stern et al., 2017; López Manjón y Postigo, 2016). Actualmente, existe un importante cuerpo de investigación que muestra que los libros de texto siguen siendo un agente muy influyente en la educación: representan una traducción del currículum y son la principal fuente de información o analogías para docentes e incluso una síntesis del contenido de la clase (Rusek, 2021). En este sentido, muchas de las RV que se utilizan para la enseñanza de la Biología se encuentran alojadas en los libros de texto (López Manjón y Postigo, 2014). Es por ello por lo que en esta tesis se considera a los LT como el segundo grupo de documentos a analizar.

En cuanto a los contenidos de genética, existen investigaciones realizadas sobre el desarrollo de estos en los LT. En primer lugar, a propósito del tema ADN y genes, en un estudio realizado sobre de tres libros de texto de noveno grado para indagar acerca de la transposición didáctica que se realiza del contenido doble hélice de ADN se identificaron generalizaciones de conceptos, imprecisiones, actividades que no estimulan los procesos de aprendizaje y una mirada de ciencia acabada, descontextualizada, ahistórica y como verdad irrefutable (Alfonso, Gallego y Martinez, 2016). Otro estudio muestra que muchos

LT tratan la síntesis de proteínas, pero no relacionan claramente este proceso con el papel que tienen las proteínas en la mediación de los efectos genéticos (Duncan y Reiser, 2007). Además, se identificaron problemas como: una definición poco clara de gen, no se explicita adecuadamente la relación entre ADN, genes, cromosomas y núcleo; no se integran los aspectos tradicionales de la genética y los desarrollos a nivel molecular; tienden a instaurar la noción de que todos los genes son dialélicos, y que cada carácter está determinado por un solo gen (Martínez García, 2003). Resultados similares se han hallado en otro estudio en donde se incluye también la falta de una conceptualización celular y orgánica de los fenómenos que ocurren en esos niveles moleculares (Martínez-Gracia, Gil-Quilez y Osada, 2006).

En relación con el abordaje de las funciones y reproducción celular, un estudio sobre el abordaje de los conceptos centrales de genética en libros de texto del nivel superior de la ciudad de La Plata arrojó que no se articulan explícitamente los conceptos de reproducción celular con los de herencia mendeliana (Legarralde, 2020).

En cuanto al desarrollo del tema herencia mendeliana en los LT, se vio que en libros de Biología y de Ciencias Naturales de la Provincia de Buenos Aires, genética mendeliana sobresale respecto a otras áreas temáticas, aunque en los textos más recientes se identificó una tendencia a reducir su presencia; a la vez que se incorporan otros contenidos como genética no mendeliana, de poblaciones, biología molecular, entre otros (Figini, Verzal y De Micheli, 2001). Otro estudio sobre los contenidos de herencia mendeliana en LT de educación secundaria de la misma región, mostró ciertos usos inadecuados de los términos que podrían llevar a confusión: algunos LT hacen referencia indistintamente a las plantas, gametas o alelos al referirse a una determinada característica del organismo, lo que imposibilita al estudiante a comprender qué estructura es la encargada de transmitir las características de una generación a otra (De Andrea, Menconi, Iugovich, Barrios, Legarralde, 2015).

En cuanto al modelo de expresión de genes, un estudio sobre cinco libros de texto españoles mostró que todos, excepto uno, definen la noción de fenotipo de acuerdo con la perspectiva actual de interacción genotipo-ambiente. Otras investigaciones dan cuenta de un sesgo determinista no explícito en las explicaciones (Puig y Jiménez Aleixandre, 2015); en Suiza (Kampourakis, 2017); en Francia en donde se identificaron propuestas que explicaban enfermedades a través del determinismo genético (Castéra, Bruguière y Clément, 2008).

Por último, en cuanto al tema de aplicaciones de los ácidos nucleicos, estos se encuentran pobremente desarrollados. Un ejemplo de ellos es un análisis del contenido de biotecnología en LT de Biología de la Ciudad de Córdoba, en donde se observó que estos

generalmente aparecen fuera del texto principal, en lecturas complementarias (Occelli y Valeiras, 2015). En libros de nivel superior si bien se incluyen conocimientos novedosos como la ingeniería genética, estos no son articulados con los conceptos clave de genética previamente desarrollados (Legarralde, 2020).

Otra dimensión de análisis dentro de los LT, paralela al estudio de los contenidos disciplinares, es el análisis de las RV que estos presentan a la hora de desarrollar los contenidos. Algunos estudios muestran que la selección por parte de los y las docentes sobre determinados LT se basa fundamentalmente en el número de representaciones visuales que estos contienen, aunque en el aula muchas veces ni siquiera se las explore (Diez de Trancredi y Caballero, 2004; López Manjón y Postigo, 2019, Fanaro, Otero, Greca, 2005).

Esta línea de investigación es vasta y no pierde vigencia (Rusek, 2021). Es por esto por lo que adquieren relevancia las investigaciones que se dedican al estudio de las RV presentes en los LT. Si bien hay estudios realizados sobre las RV empleadas en los diferentes materiales educativos, particularmente en LT, son pocas las investigaciones realizadas sobre las características de las RV de genética desplegadas en los libros de texto de Biología. A continuación, se presenta una revisión de los artículos que estudian estos aspectos.

En primer lugar, se presentan las investigaciones sobre los contenidos de las RV organizadas de acuerdo con los cuatro grandes temas centrales. En segundo lugar, se presentan los trabajos que se abocaron al estudio de los diferentes tipos de RV que se despliegan en los LT cuando se tratan temas de genética, organizados en el siguiente orden: dibujos, fotografías, imágenes técnicas, diagramas y gráficos. En tercer lugar, se presentan las investigaciones que giran en torno a los niveles de representación de las RV de genética presentes en los LT. Por último, se describen los antecedentes hallados en cuanto al estudio de las RV de genética presentes en las actividades de los LT.

En cuanto a las RV desplegadas en el desarrollo del tema ADN y genes en los LT, los conceptos gen y cromosomas son considerados estructurantes dentro de la disciplina. Estos conceptos se enseñan con RV, las cuales forman parte del contenido a enseñar, por ejemplo, la representación del modelo de molécula de ADN. Por ser contenidos son abstractos y complejos, es necesario emplear RV para tratar de favorecer en el estudiante la construcción de representaciones internas que les permitan lograr un aprendizaje significativo de dichos contenidos (Diez de Trancredi y Caballero, 2004). Por otro lado, en un estudio sobre las características de las RV de la replicación del ADN en libros de texto de secundaria, se observó que se utilizan RV para su enseñanza y que la mayoría de

estas correspondieron a dibujos esquemáticos con signos, y en menor proporción algunas fotografías y dibujos (Rosenberg et al., 2015).

Por otro lado, en cuanto a las RV del tema reproducción celular en los LT, en un estudio con LT se identificaron diferencias en los modos de representar el concepto de gameta dependiendo del nivel del texto: en los textos básicos se representan en ilustraciones que poseen y dibujos figurativos con signos/símbolos (mayor iconicidad) y dibujos esquemáticos combinados con signos y símbolos (menor iconicidad). En cambio, en los textos complejos predomina la iconicidad baja. Para el concepto de meiosis se identificó en ambos grupos de textos el uso de dibujos figurativos y esquemáticos con signos y/o símbolos (Legarralde, 2020)

Por otra parte, en estudios dedicados a las RV desplegadas del tema herencia en los LT, se identificaron ciertos problemas asociados a los modos de representar. Por ejemplo, en los típicos diagramas de cruzamientos en donde aparece una esfera verde (arvejilla), los estudiantes podrían no saber si se trata de plantas, arvejas, gametas o simplemente esferas verdes. Además, en algunos casos se encontró falta de proporción entre las estructuras representadas (un cromosoma del mismo tamaño que una mosca, por ejemplo). Por último, se halló una gran cantidad de términos técnicos en las RV, los cuales no necesariamente ayudan a la comprensión de la misma (De Andrea et al., 2015). Otro trabajo dio cuenta de que en el tema herencia, los gametos se representan como círculos portadores de los alelos correspondientes, o bien a través de letras mayúsculas o minúsculas que representan a alelos dominantes y recesivos, diferente al modo de representarlos en el desarrollo del tema reproducción celular (Legarralde, 2020). Por otro lado, en un estudio realizado sobre las imágenes y los textos de tres LT ampliamente utilizados en el nivel secundario de Francia, y observaron que las imágenes inducen a concebir la determinación del fenotipo exclusivamente a partir del genotipo, es decir, abonan a la idea del determinismo genético (Forissier y Clément, 2003).

Por último, en cuanto a las RV del tema aplicaciones de los ácidos nucleicos en los LT, en un estudio centrado en las imágenes utilizadas para el desarrollo de conceptos biotecnológicos en LT de educación secundaria de Córdoba, se encontró un total de 255 imágenes ilustrando a conceptos biotecnológicos. Sin embargo, la mayoría de ellas fue utilizada para decorar o motivar la lectura. Aunque para los temas reproducción asistida y clonación, se identificó el uso de imágenes que facilitan la comprensión. En cuanto a la relación texto-imagen, la mitad de las imágenes no se encontraba relacionada explícitamente con el texto, el 37% establecían la correspondencia y sólo un 13 % describían la correspondencia entre el texto y los elementos de las imágenes y detallaban las condiciones en las cuales los elementos de las imágenes representan a las relaciones entre los contenidos (Ocelli, 2011).

Otro de los aspectos que resulta de interés para esta tesis es la presencia de los diferentes tipos de RV a la hora de representar los conceptos de genética en los LT. A continuación, se presentan antecedentes bibliográficos en cuanto a este aspecto. En cuanto a los dibujos, se ha relevado la presencia de este tipo particular de RV en relación con el contenido gametas, identificándose dibujos de óvulos y espermatozoides (Legarralde, 2020). En un estudio sobre las representaciones gráficas de la replicación del ADN presentes en libros de texto utilizados en los últimos años de secundaria, se observó que la mayoría de las representaciones identificadas en el desarrollo del contenido en cuestión correspondió a dibujos esquemáticos (Rosenberg et al., 2015). Las mismas tendencias se hallaron cuando se analizaron las representaciones visuales del modelo de ADN en libros de texto de octavo y noveno grado de Colombia (Castaño, 2007).

Por su parte, las imágenes técnicas también aparecen en contexto de temas de genética en los LT. Estas se constituyen como sustitutos de la realidad permitiendo a quien estudia poder acceder a aquellas estructuras cuya observación requiere de aparatos de alta precisión para poder ser observadas. Algunos ejemplos son la observación de la ubicación celular y estructura de los cromosomas, la disposición de la cromatina, la estructura y disposición de ciertas organelas en el contexto celular, entre otras. En este caso, generalmente se recurre a RV de tipo imágenes técnicas que se obtienen con instrumentos especializados como el microscopio electrónico (Diez de Tancredi y Caballero, 2004).

Respecto de las fotografías, un estudio realizado en Francia acerca de las múltiples representaciones en libros de texto de Biología vinculadas al determinismo genético. Analizaron un total de 50 libros de texto de 16 países: Chipre (2), Estonia (2), Finlandia (2), Francia (11), Alemania (3), Hungría (3), Italia (7), Líbano (4), Lituania (2), Malta (2), Marruecos (2), Polonia (1), Portugal (4), Rumania (1), Senegal (1) y Túnez (3). En la totalidad de los casos encontraron la fotografía de gemelos idénticos, llevando la misma ropa, cabello, actitud, etc. Esto se corresponde con el modelo de determinismo genético el cual considera que dos personas con el mismo genotipo, tendrán idéntico fenotipo, incluso llevando a ideas implícitas que no son científicamente correctas como considerar que las características socioculturales (por ejemplo, ropa y peinado) estarían determinadas por los genes los autores. Las fotografías se consideran imágenes científicas porque transmiten un mensaje propio de la disciplina (Clément y Castéra, 2013). En este caso en particular, el mensaje es la similitud morfológica de los gemelos idénticos, que corresponde a la identidad de sus genotipos.

Otros estudios muestran que para el tema modelo de ADN, las fotografías son escasas en los libros de texto y no incluyen aclaraciones ni explicaciones lo que da cuenta de una concepción de las representaciones como elementos autoexplicativos (Castaño, 2007). Para el tema reproducción, relacionado con la genética, se ha identificado un número

elevado de fotografías, y una menor proporción de dibujos y diagramas, en ese orden, en libros de texto de la provincia de Córdoba. Muchas de ellas resultan ser inoperantes por estar desarticuladas del contenido textual (Peláez, Rodríguez, Occelli, 2010).

En cuanto a los diagramas, estos son frecuentes en la enseñanza de la genética y se presentan de manera abundante en los libros de texto. Los tableros de Punnett, por ejemplo, se encuentran extendidos en los libros de texto y materiales didácticos de genética dada su potencia como elementos explicativos y contenedores de gran cantidad de información, la cual sintetiza el modelo subyacente. Su forma bidimensional representa la naturaleza diploide de los organismos que se cruzan y la disposición de los elementos en el espacio permite realizar la operación combinatoria de manera sencilla. Estos elementos visuales fueron útiles tanto dentro del campo disciplinar, como herramientas para pensar, como en el ámbito educativo. Estos diagramas han sido utilizados con información exclusivamente verbal y simbólica (letras representando alelos y genotipos), y también han sido complejizados añadiendo dibujos de estructuras intervinientes como por ejemplo el típico caso de las arverjillas verdes y amarillas (Wimsat, 2007). Otras veces se recurre a mapas conceptuales para aprender los conceptos de gen y cromosoma (Pino, 2003).

Por último, los gráficos son menos usuales en la genética de la educación secundaria, aunque en aquellas asignaturas en donde se enseña biología y genética de poblaciones se utilizan algunos. Sin embargo, en un estudio realizado en libros de texto de Biología de la provincia de Mendoza, se observó que los gráficos representaron el 5% de la muestra total de RV. Resultando las ilustraciones el grupo con mayor prevalencia, con un total de 88%. Esta distribución es diferente cuando se estudiaron los libros que se utilizan en el profesorado de Biología de la región, apareciendo un 25 % de gráficos y un 60% de ilustraciones (Artola, 2015; Artola et al., 2016). En ambos estudios no se especifican los contenidos particulares en los que dichos gráficos son desplegados.

De los párrafos anteriores, se desprende que parece existir una prevalencia de ciertos tipos de RV en función del tema central que se está desarrollando. Autores como Duval han relevado cuestiones similares en contexto de la enseñanza de la matemática. Se encontró que ciertos conceptos aparecen siempre representados a través de los mismos registros semióticos y se evitan sus conversiones hacia otros. A su vez, este sesgo persiste luego de la instrucción ya que los estudiantes asocian la representación al contenido. Para hacer referencia a este fenómeno en donde se utilizan ciertos registros semióticos para la enseñanza de ciertos capítulos disciplinares, Duval (1999) propone la idea de encapsulamiento. Luego, este concepto fue retomado y adaptado a la idea de encapsulamiento representacional (Idoyaga y Lorenzo, 2019) al identificarse el uso de

gráficos cartesianos para la enseñanza y el aprendizaje de cinemática, en contraposición con otras áreas de la física en donde prevalecen tal otro tipo de RV.

Por otra parte, en cuanto a los niveles de representación a los aluden las RV resultan de interés ya que abordar la genética desde estos niveles impone una dificultad para los estudiantes (Knippels, 2002). Como se mencionó anteriormente, las RV de Biología pueden aludir al nivel macroscópico, microscópico, submicroscópico o simbólico (Tsui y Treagust, 2003). Si bien son pocas las investigaciones halladas en donde se estudia esta dimensión de análisis para las RV de genética, a continuación, se revisan las encontradas para el caso de biología en general y de genética en particular.

Un contenido de la biología que al igual que la genética requiere de la integración de los niveles de representación, es el transporte de sustancias a través de la membrana y el balance hídrico de las plantas. Investigadores eslovenos realizaron un estudio en torno al rol de los niveles representacionales en el aprendizaje de este tema. En sus conclusiones, sugieren que los LT deben presentar los cuatro niveles de representación externa (los niveles macroscópico, microscópico, submicroscópico y simbólico) e incluir RV con flechas y ampliaciones para mostrar explícitamente transiciones graduales de un nivel de representación macroscópico a uno submicroscópico o simbólico. Esto podría ayudar a los estudiantes a establecer vínculos entre diferentes representaciones externas y desarrollar una comprensión integral de los conceptos biológicos.

Respecto de representaciones que aluden al nivel simbólico, en el estudio se analizó la presencia de símbolos en las representaciones y se observó que este recurso prevalece en el desarrollo de los principios de la herencia por encima de los demás temas (Legarralde, 2020). Adicionalmente, en un estudio realizado por investigadores de Israel en LT de tres países diferentes (Israel, España y Estados Unidos) sobre el uso de los símbolos en la educación en genética mostró que los símbolos se utilizan para representar alelos y explicar las probabilidades de distribución en los procesos de herencia. Además, identificaron que no existe un sistema de símbolos convencional en los libros de texto; sino que se modifican a lo largo y dentro de los libros de texto de acuerdo con el tema que se esté tratando, algunos ejemplos hallados en la representación de los genotipos fueron: usar una mayúscula y una minúscula (Aa), usar diferentes letras (AB), usar tildes o superíndices de números o de otras letras (AA' , A^1A^2 o $I^A I^B$). Estos cambios no son transparentados ni explicados (Livni-Alcasid, Haskel-Ittah y Yarden, 2018).

Desde otro punto de vista, Wright, Grace y Newman (2020) reconocen una naturaleza multinivel para el ADN (cromosómico, molecular e informativo) y sostienen que las figuras de los LT a menudo carecen de muchas de las conexiones importantes que los expertos incluyen cuando hablan de meiosis. Casi todas las representaciones de los LT

incluyen el nivel cromosómico del ADN, pero pocas incluyen los otros niveles. El nivel molecular del ADN estuvo ausente y el nivel de información rara vez se describió en las figuras. Estos autores atribuyen la incapacidad de los estudiantes para vincular estos niveles en sus explicaciones sobre meiosis a estas falencias en las RV de los LT.

Por último, se realizó una revisión en cuanto a las actividades con RV de genética en los LT. Las actividades con RV de genética son poco frecuentes en los LT, en general no se utilizan las representaciones pictóricas para plantear situaciones problematizadoras o para introducir una tarea al alumnado (Legarralde, 2020). Además, es común encontrar actividades con pocas o ninguna ilustración (Ocelli, 2011) y que no se autosustentan con la información que se desarrolla en el texto (Ferreiro y Ocelli (2008).

Por último, es menester tener en consideración los resultados de un estudio sobre los logros en la comprensión de temas de genética utilizando distintas secuencias didácticas que contenían distinto número y tipo de representaciones externas. En él se encontró que el mayor uso y diversidad de representaciones externas, genera condiciones para visualizar, interpretar, comparar y conectar, de manera explícita aquellos aspectos representacionales que apoyan la comprensión de la jerarquía entre los distintos niveles de organización de la información genética. Además, favorece el tránsito entre los niveles representacionales, así como la forma en que dicha información participa en los diferentes procesos y mecanismos de herencia y expresión de caracteres (Flores-Camacho, et al., 2020).

Hasta aquí, se han presentado los principales antecedentes hallados en relación con las características de las RV desplegadas en la enseñanza de la genética mediada por los libros de texto y, en algunos casos, se describen sus posibles implicancias sobre los aprendizajes. Así, se recuperaron antecedentes vinculados con las RV desplegadas en el desarrollo de los diferentes temas centrales de genética, los diferentes tipos de representación que se presentan, los niveles de representación a los que aluden y las actividades con RV que se proponen en este tipo particular de material didáctico.

En suma, los LT constituyen materiales instruccionales muy utilizados a la hora de enseñar Biología y son una de las fuentes de RV para los y las docentes, motivos por los cuales han sido y son objeto de investigación. Existen investigaciones realizadas sobre los contenidos de genética en los LT que dan cuenta de una serie de problemáticas que es menester considerar a la hora de la enseñanza. Son menos las investigaciones dedicadas al estudio de las RV de genética en los LT. Estas dan cuenta de ciertos encapsulamientos en cuanto al tipo de RV utilizado según el contenido representado, y ciertas dificultades en relación con la presencia de distintos niveles de representación en las RV de genética. Así, el estudio de la naturaleza de las RV que aparecen en los LT se constituye como un

área de vacancia para profundizar las investigaciones. Por último, las investigaciones encontradas sobre las actividades con RV de genética son pocas e indican que este tipo de actividades son poco frecuentes lo que muestra un uso limitado de las mismas.

A lo largo de este apartado se han expuesto los principales aportes teóricos que operan como marco para esta tesis. Estos ponen de manifiesto el importante rol que tienen RV en la construcción de los conocimientos tanto en la educación en genética como en su desarrollo disciplinar.

A modo de síntesis, las RV han sido utilizadas para representar el mundo desde tiempos remotos, y en el contexto particular de las ciencias naturales, han operado como objetos epistémicos para la construcción de nuevos conocimientos y su comunicación. Así, han ido permeando en los materiales educativos a través de sucesivas transposiciones didácticas y constituyen parte de los contenidos que los docentes deben enseñar y los alumnos deben aprender para apropiarse del corpus de conocimiento de las ciencias naturales. Por lo tanto, las RV se constituyen como herramientas didácticas que los docentes utilizan para promover la comprensión de las ideas y como prótesis cognitivas que los estudiantes utilizan para entender el mundo que los rodea.

Sin embargo, existen dificultades documentadas cuando se trata de enseñar y aprender con RV. Muchas de ellas están se fueron mencionando en este marco y se encuentran relacionadas con el modo en que los docentes transitan diferentes RV sin explicitar sus particularidades y las divergencias respecto de otras RV, con sus estudiantes. A esto se suma en muchos casos, la presencia de un sesgo o encapsulamiento representacional que consiste en el uso exclusivo de ciertos tipos de RV para enseñar ciertos temas, subutilizando RV que muestren otros aspectos del fenómeno a enseñar. Esto redundaría en un aprendizaje poco acabado y con baja integración de los diferentes capítulos disciplinares que se abordan en la instrucción.

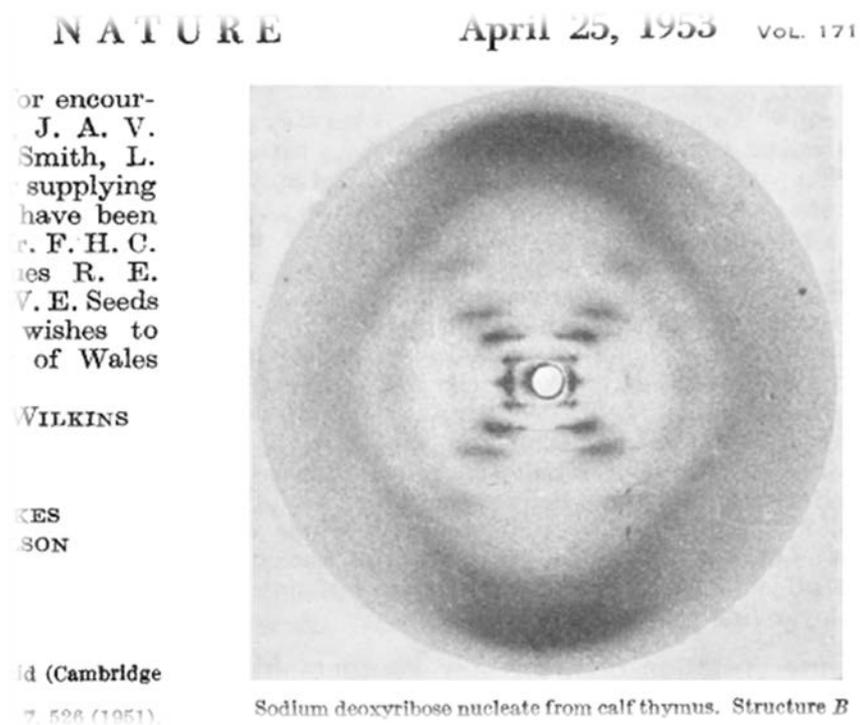
En el caso de la educación en genética en el nivel secundario, en este marco teórico se presentaron ciertas particularidades de las RV de genética estrechamente ligadas con la naturaleza de los temas centrales enseñados, las cuales no han sido del todo investigadas en contexto de los LT. Estas características como los distintos tipos de RV utilizados para la representación de las estructuras, procesos y fenómenos de la genética y los niveles de representación variados que aparecen en sus RV, podrían redundar en obstáculos para el aprendizaje e incluso para la enseñanza.

Esto da cuenta de que es necesario prestar atención a estas dificultades, haciendo foco en las RV como instrumentos de enseñanza potentes que requieren ser analizados con detenimiento y tratados rigurosamente en clase. Una forma de realizarlo es aplicando una

vigilancia representacional sobre los materiales utilizados. La vigilancia representacional es entendida como una estrategia sistémica de recolección de evidencia sobre el proceso educativo tendiente a la toma de decisiones sobre la inclusión de representaciones visuales en la enseñanza (Idoyaga y Lorenzo, 2019). Se proponen cuatro dimensiones a considerar en los procesos de vigilancia que atienden a diferentes aspectos los cuales aún se encuentran en estudio (Idoyaga, Lorenzo, Moya, Maeyoshimoto, 2021). La dimensión epistémica, se centra en la construcción de los saberes e incluiría la revisión de aspectos como el reconocimiento del tipo de RV a utilizar, el reconocimiento de la RV como instrumento semiótico con reglas y códigos de representación, la cantidad de información que contiene la RV y su fuente de procedencia. La dimensión didáctica, se enfoca en el uso de RV en la enseñanza y podría considerar aspectos como el uso didáctico que se hace de la RV en clase y el tipo de actividades en las cuales son incluidas. La dimensión cognitiva, se vincula con el procesamiento que realizan los estudiantes sobre la información contenida en la RV y podría revisar la distinción entre niveles de procesamiento según complejidad, la demanda de cambios de registro y los conocimientos previos de los estudiantes tanto de las RV como de sus referentes. Por último, la dimensión contextual, considera el rol de las RV en los escenarios de actuación reales, proponiendo una revisión sobre el uso de la RV en contextos profesionales, sobre todo en la educación superior.

En esta línea, y a modo de cierre, disponer una caracterización de las RV desplegadas en el tratamiento de los temas de genética en los LT de secundaria, contribuiría con el establecimiento de criterios para la toma de decisiones fundadas en cuanto a su selección y uso. Así, aportaría elementos para promover una vigilancia representacional atendiendo al tipo de relaciones expresadas en cada representación, los niveles de representación aludidos, el tipo de tareas que involucran el uso de una RV y los posibles sesgos o encapsulamientos representacionales presentes en estos materiales didácticos. Esta revisión crítica, permitiría utilizar de manera óptima las RV y actividades propuestas e incorporar otras nuevas para subsanar posibles vacancias y promover su uso como artefactos epistémicos para la construcción de aprendizajes más acabados.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA



*“The X-ray diagram of structure B (see **photograph**) shows in striking manner the features characteristic of helical structures, first worked out in this laboratory by Stokes (unpublished) and by Crick, Cochran and Vand.”*

*“El diagrama de rayos X de la estructura B (ver **fotografía**) muestra de manera llamativa los rasgos característicos de las estructuras helicoidales, elaborados por primera vez en este laboratorio por Stokes (inédito) y por Crick, Cochran y Vand”*

(Franklin y Gosling, 1953, pp. 740)

3.1. Introducción

Esta tesis se enmarca en las líneas de investigación cuyo objeto de estudio son los documentos y sus contenidos. Así, en este trabajo de investigación se analiza el diseño curricular de la Nueva Escuela Secundaria (Parte I) y una muestra de libros de texto (Parte II) con el objetivo de conocer los contenidos que estos comunican, particularmente en relación con la naturaleza y el uso de las representaciones visuales. Para ello, se diseñaron cuatro estudios complementarios y convergentes, a saber:

Parte I. La genética y sus representaciones visuales en el diseño curricular de segundo año de la Nueva Escuela Secundaria

- Estudio 1: Descripción de los contenidos de genética y los usos de las representaciones visuales propuestos en el diseño curricular

Parte II. Caracterización de las representaciones visuales en libros de texto

- Estudio 2: Caracterización de las representaciones visuales de genética en las explicaciones de los libros de texto
- Estudio 3: Caracterización de las representaciones visuales de genética en las actividades prácticas de los libros de texto
- Estudio 4: Estudio comparativo entre las características de las RV de las explicaciones y actividades prácticas de genética de los libros de texto

En este capítulo se presentan los aportes metodológicos que fueron empleados para desarrollar esta tesis, considerando un enfoque mixto con una metodología cuali-cuantitativa de alcance descriptivo. Se presenta la técnica de recogida de información de análisis documental como marco general, recuperando algunos antecedentes metodológicos de trabajos de interés con diseños curriculares y libros de texto. Luego, se describen los lineamientos generales del análisis de contenido. Por último, y de manera particular, se desarrolla la metodología empleada para llevar a cabo cada uno de los estudios. En cada caso se detalla la muestra, se definen variables, la recogida y procesamiento de los datos y la obtención de los resultados en relación con cada uno de los objetivos específicos. Al final de este apartado se presenta un diagrama que muestra el diseño metodológico general utilizado (Figura 3.1, pp. 96).

3.2. Enfoque metodológico

La naturaleza compleja de los fenómenos educativos y de los problemas de investigación que surgen en su seno, requiere de un abordaje a través de métodos que contemplen el

análisis de datos de diverso tipo y origen y que permitan el diálogo entre diversas metodologías. En este sentido, los métodos mixtos son una buena alternativa.

Los métodos mixtos son un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación que implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio. Estos utilizan evidencia de datos numéricos, verbales, textuales, visuales, simbólicos y de otras clases para entender problemas en las ciencias (Sampieri, 2014).

Dado que el objetivo de esta tesis es realizar una caracterización de las RV de genética desplegadas en una muestra de LT, el principal alcance de la investigación es descriptivo. Una investigación con alcance descriptivo se caracteriza por especificar las características y propiedades de grupos, procesos, objetos o fenómenos que someta a análisis. Así, pretende recoger información y su valor redundante en la posibilidad de mostrar las dimensiones y características de un fenómeno de manera precisa y detallada.

En esta tesis se propone una investigación descriptiva con un enfoque mixto. Así, recurre a estudios fundamentalmente cualitativos con categorías *a priori* al momento del análisis inicial del texto del diseño curricular y luego, a estudios básicamente cuantitativos al analizar un elevado número de RV presentes en los libros de texto.

3.3. Análisis documental

El análisis documental es una técnica de recopilación de información destinada a obtener el mensaje contenido en los documentos en estudio. Generalmente consiste en descomponer un documento en sus partes con el objetivo de acceder a la información que esta aloja. El análisis de documentos tiene un carácter indirecto ya que no permite a quien los utiliza tener un contacto directo con los hechos, sino que está mediado por los documentos. Los documentos que son plausibles de analizar con esta metodología son variados. Por ejemplo: documentos impresos, digitales, documentos de carácter icono (fotografías, diapositivas), documentos sonoros (grabaciones), documentos verbo-icónicos (televisión, cine, videos). Estudiar rigurosamente los documentos constituye un aspecto principal de las investigaciones ya que estos medios recogen y reflejan valores y patrones culturales vigentes en el momento de su elaboración (López Noguero, 2002).

En esta tesis se analizaron dos tipos diferentes de documentos. Por un lado, el diseño curricular (DC) de la Nueva Escuela Secundaria y por otro lado, un conjunto de cinco libros de texto actuales del segundo año de la NES, cuyos criterios de selección se

describirán más adelante. Ambos tipos de documentos recogen y exponen la mirada de quienes los construyeron y, a su vez, constituyen fuentes de información y guía para los y las docentes. Por esto, estudiar estos documentos en profundidad resulta valioso a los fines de aportar conocimiento original en relación con las nociones y recomendaciones del uso de las RV para la enseñanza (desde el DC) y su posterior aplicación en documentos como los LT que serán utilizados por docentes y estudiantes en sus clases.

El análisis documental admite distintas técnicas al momento de analizar los datos. En el caso particular de esta tesis, como se contaba con categorías *a priori*, se recurrió a una aproximación del análisis del contenido. A continuación, se describen en mayor detalle las aproximaciones metodológicas empleadas en cada caso.

3.3.1. Análisis del diseño curricular

El DC o *curriculum* es un documento que opera como instrumento para estructurar la escolarización, la vida en los establecimientos educativos y las prácticas pedagógicas a través de ciertas reglas impuestas. Así, estos documentos norman los contenidos a enseñar y a aprender, los tiempos para lograrlo, las actividades a realizar, la progresión de la enseñanza y los aprendizajes, las formas de evaluación, entre otras cuestiones (Sacristán, 2013). De acuerdo con Stenhouse, el *curriculum* es un intento de comunicar los principios esenciales de una propuesta educativa de tal forma que quede abierta al escrutinio crítico y pueda ser traducida efectivamente a la práctica. Mientras que Kemmis plantea que el *curriculum* es la organización de lo que debe ser enseñado y aprendido (Barraza Escamilla, 2018).

Es por ello por lo que, el estudio de los *curriculum*, planes o diseños curriculares, ha sido de interés para la Didáctica de las Ciencias Naturales. En particular, en el año 1958 se creó el *Biological Sciences Curriculum Study (BSCS)*, que surge con la intención de comenzar a establecer normas para la enseñanza de la Biología con fines de mejorar los aprendizajes y actualmente se dedica al desarrollo curricular en el área. Desde un punto de vista más amplio, numerosas líneas de investigación versan sobre el estudio de estos documentos de las asignaturas de Ciencias Naturales y los abordan desde diferentes aristas: los criterios de selección y organización de contenidos, las actividades de enseñanza y evaluación propuestas, los supuestos epistemológicos y la concepción de aprendizaje subyacente (Pozo y Gómez Crespo, 1998); las concepciones de ciencia y la organización de los contenidos de Ciencias Naturales (Lozano Cantú y Villanueva Gutiérrez, 2016); el modelo de educación científica subyacente y los enfoques para la enseñanza de la ciencia (Pozo, 1997); análisis de los conocimientos de Ciencias Naturales

en el diseño curricular del nivel inicial de la provincia de Río Negro desde sus dimensiones histórica, política y pedagógica (Farina y Rassetto, 2021) ; entre otros.

En contexto de Argentina, estos documentos se denominan diseños curriculares. El Diseño Curricular para la Nueva Escuela Secundaria, 2015 (Res. N° 321/2015-MEGC), es un documento jurisdiccional generado desde la Dirección General de Planeamiento Educativo en colaboración con diversos actores del sistema educativo de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Este documento presenta sugerencias con la expectativa de que sean utilizadas por docentes para optimizar la enseñanza y el aprendizaje en la educación secundaria. La implementación del DC busca concretar los propósitos del nivel, que son: preparar a los estudiantes para el ejercicio pleno, informado y responsable de la ciudadanía, para continuar estudios superiores progresivamente especializados y para incorporar un núcleo de saberes básicos con el objeto de integrarse al mundo del trabajo (Ministerio de Educación, 2015).

Este DC se organiza en las siguientes secciones: objetivos y contenidos troncales para la finalización de la NES y encuadre por materias, que incluye: presentación de la materia, propósitos de enseñanza, objetivos de aprendizaje, contenidos y su alcance, competencias y habilidades a desarrollar por los estudiantes y criterios de evaluación. En el marco de esta tesis, el DC de la Nueva Escuela Secundaria (2015) resulta un documento de interés ya que a través de su estudio es posible identificar los contenidos de genética y describir los lineamientos generales en relación con el uso de las RV propuestos para Biología de segundo año de la Nueva Escuela Secundaria de CABA. Así, el Estudio 1 de esta tesis que se describirá más adelante, se constituye como un análisis inicial para conocer el marco normativo del nivel en que esta tesis se circunscribe.

3.3.2. Análisis de libros de texto

En cuanto a los LT, estos son materiales didácticos especialmente diseñados que trasponen y recrean los contenidos prescriptos y los presentan a través de una propuesta didáctica determinada (Martínez Bonafé, 2002). Por eso, estos constituyen el segundo grupo de documentos de análisis de esta tesis. Los LT son uno de los materiales que resultan importantes a la hora de la puesta en acción de los DC en las aulas.

Los LT constituyen un recurso valioso para la investigación en didáctica de las Ciencias Naturales ya que son utilizados por los docentes como un elemento orientador y, en ocasiones, determinante en la toma de decisiones en la enseñanza (Bernat y Gómez, 2009). Por lo tanto, su estudio permite conocer el contenido alojado en sus explicaciones, sus actividades y sus imágenes o representaciones visuales. Por ello, constituyen una

fuerza de información que es necesario analizar a los fines de resolver parte de las preguntas de investigación de esta tesis. En este mismo sentido, es menester mencionar que los LT han sido objetos de interés en numerosas investigaciones de las Ciencias Naturales en general y de la genética en particular.

La línea de investigación que se encarga de estudiar las RV presentes en los libros de texto es una línea clásica pero que conserva su vigencia. Los trabajos en este sentido versan sobre la función de las RV (Levin et al., 1987; Kress et al., 1996; Dimopoulos, et al., 2003; Wiley et al., 2017), el grado de abstracción (Hegarty et al., 1991; Pozzer y Roth, 2003; Postigo y López Manjón, 2015), el uso didáctico y la cantidad de información contenida (García García, 2005; García García, Perales Palacios, 2006), la relación entre las RV y las actitudes hacia la ciencia del alumnado (Aguilera y Perales, 2018), los obstáculos en las actividades con RV (López Manjón, Postigo y Sánchez, 2017), entre otras tantas.

Actualmente, existe un importante cuerpo de investigación que muestra que los libros de texto siguen siendo un agente muy influyente en la educación: representan una traducción del currículum para muchos docentes, son la principal fuente de información o analogías para docentes e incluso una síntesis del contenido de la clase (Rusek, 2021). Un aspecto de relevancia de los LT son las RV que contienen. En estos materiales educativos, se le otorga una gran importancia a las RV, lo que se refleja en el gran número que aparece en ellos en todos los niveles educativos (Postigo y López Manjón, 2012).

En el contexto local se han identificado algunas investigaciones realizadas en libros de texto investigando diferentes aspectos en distintas áreas. Por ejemplo, se ha analizado el abordaje de la biotecnología en libros de texto (Ocelli y Valeiras, 2013), la modelización en la enseñanza de la genética y herencia en la escuela secundaria (Ybarra y Pujalte, 2020), las consignas de lectura para las RV en libros de texto de Biología (Rudolph y Maturano, 2021), representaciones visuales sobre género y sexualidad en manuales escolares (Berardi, 2019), el uso y la cantidad de información de gráficos en un libro de texto de física universitaria (Maeyoshimoto, Granchetti, Idoyaga, 2017), representaciones gráficas del ADN en libros de texto (Rosenberg y Legarralde, 2015), entre otros.

Los LT de secundaria están conformados generalmente por dos secciones principales que abarcan la mayoría de sus páginas. Estas son las explicaciones y las actividades prácticas. En el contexto de esta tesis, se consideran como explicaciones a aquellas secciones de LT en donde se presentan los contenidos a través de un texto principal que recurre a lenguaje verbal e incluye en ocasiones RV como dibujos, diagramas, gráficos, entre otras (López Manjón y Postigo, 2015). Generalmente, las investigaciones se centran en las RV que

aparecen en las explicaciones. De esta manera, las RV que aparecen en las actividades prácticas de los LT de Biología han sido poco estudiadas (López Manjón y Postigo, 2016).

A los fines de esta tesis, una actividad está definida como cada una de las consignas en forma de pregunta o enunciado que se pide realizar en los distintos ejercicios propuestos en los capítulos seleccionados. De tal manera, en algunos casos una actividad puede solicitar una única tarea, mientras que en otros casos más de una. Dentro de este grupo, las actividades con RV son aquellas actividades que incluyen una RV en la consigna y que su uso está explícito en la misma y es imprescindible para resolverla.

Para este trabajo y sin perder de vista que la unidad de análisis son las representaciones visuales *per se*, resultan de interés aquellas actividades prácticas que contienen RV en sus consignas. Este subconjunto de actividades es el que propone oportunidad de trabajo con las RV y de esta manera propician el trabajo con las competencias gráficas (López Manjón y Postigo, 2016). Por esto, resulta interesante conocer cuál es su naturaleza representacional y cuáles son las semejanzas y diferencias que presentan respecto de las RV que se presentan en las explicaciones. En este sentido, las autoras definen tres tipos de actividades posibles con RV: de lectura, de intervención y de elaboración; que se describieron anteriormente en el Capítulo 2 (pp.25) y que serán retomadas a continuación.

Para abordar el análisis de las RV en las explicaciones y en las actividades prácticas, se diseñaron el Estudio 2 y 3, respectivamente. Para ello, se seleccionó una muestra de LT y para su estudio se consideraron los lineamientos de la técnica de análisis de datos conocida como análisis de contenido.

3.3.2.1. Análisis de contenido

Para llevar a cabo los Estudios de esta tesis y conocer cuál es el contenido que circula en el diseño curricular y los libros de texto, particularmente en sus RV, se recurrió a una aproximación metodológica del análisis de contenido. Dado que se contaban con categorías *a priori*, resultó posible utilizar esta técnica de análisis de datos. A su vez, como el análisis de contenido permite estudiar el contenido de textos e imágenes, resulta adecuada su utilización para describir la información contenida en las RV que aparecen en los LT, particularmente, aquellos aspectos vinculados con los tipos de RV que aparecen y los niveles de representación a los que aluden.

El análisis del contenido es una técnica que permite realizar descripciones exhaustivas del contenido manifiesto y oculto que circula en los distintos soportes sobre los que se establece la comunicación en general y en particular entre docentes y estudiantes (Porta

y Silva, 2003). Esta técnica se caracteriza por ser sistemático y exhaustivo. Brevemente, las etapas del análisis del contenido consisten en definir el problema de investigación, seleccionar los documentos a estudiar, definir los objetivos específicos, definir las unidades de análisis (de muestreo, de contexto y de registro), definir y aplicar las variables o categorías, analizar los datos y evaluar la fiabilidad de la metodología.

En cuanto a las unidades de análisis, las unidades de muestreo son las porciones del universo que serán analizadas. Los criterios de selección de cada una de ellas se describen en los siguientes apartados. Las unidades de contexto son las partes de la unidad de muestreo que deben ser examinadas para poder caracterizar cada unidad de registro. Por último, las unidades de registro son porciones de la unidad de muestreo que es posible analizar de forma aislada.

En la Tabla 3.1 se muestran las unidades de muestreo, de contexto y de registro que se consideraron en esta tesis. En la columna DC se muestran las unidades de análisis del diseño curricular mientras que en la columna LT, las utilizadas para los libros de texto.

Tabla 3. 1. Unidad de registro considerada en el análisis del diseño curricular y los libros de texto, respectivamente.

	DC	LT
Unidad de muestreo	Diseño curricular Biología Segundo año NES	Muestra de 5 libros seleccionados (Tabla 3.2, p.82)
Unidad de contexto	Cada sección del DC	Cada página del LT
Unidad de registro	Cada frase	Cada RV

En cuanto a la definición de categorías o variables de análisis, su aplicación, el procesamiento de los datos, evaluación de fiabilidad y la obtención de los resultados, se describen detalladamente en los apartados correspondientes al DC y LT, respectivamente.

A continuación, se presenta el detalle de la metodología empleada en cada uno de los estudios. La Parte I contiene al Estudio 1 que consistió en un análisis de las propuestas del DC de la NES en cuanto a la enseñanza de la genética y sus representaciones (ver apartado 3.4). La Parte II consistió en tres estudios (ver apartado 3.5). El Estudio 2 en una

caracterización de las RV de genética en las explicaciones de los LT. El Estudio 3 en una caracterización de las RV de genética en las actividades prácticas de los LT. El Estudio 4 en una comparación entre las características de las RV presentes en las actividades prácticas y las explicaciones.

3.4. Parte I. La genética y sus representaciones visuales en el diseño curricular de segundo año de la Nueva Escuela Secundaria

Para responder a la pregunta ¿Cuáles son los lineamientos del diseño curricular de la Nueva Escuela Secundaria (NES) respecto de los contenidos de genética a enseñar y el uso de representaciones visuales en este nivel? y concretar el objetivo de identificar los lineamientos en torno a los contenidos de genética a enseñar y el modo en que son utilizadas las RV, se realizó el Estudio 1.

Como se describió anteriormente, el Estudio 1 tiene una metodología cualitativa con alcance descriptivo. La técnica de recogida de datos fue el análisis documental, mientras que los datos fueron analizados a través de una aproximación de la técnica de análisis de contenido. Se trabajó con el Diseño Curricular para la Nueva Escuela Secundaria, 2015 (Res. N° 321/2015-MEGC) ya que es el que corresponde al nivel educativo en que se enmarca esta tesis. Se tomó la sección correspondiente al ciclo básico y en particular se analizó el apartado referido a Biología de segundo año. Dentro de este espacio curricular se tomaron las siguientes secciones: objetivos y contenidos troncales para la finalización de la NES y encuadre por materias, que incluye: presentación de la materia, propósitos de enseñanza, objetivos de aprendizaje, contenidos y su alcance, competencias y habilidades a desarrollar por los estudiantes y criterios de evaluación.

Análisis de los lineamientos del DC en cuanto a los contenidos de genética

Para identificar los contenidos de genética abordados en el DC, se realizó una lectura en profundidad de la sección de contenidos, identificando los contenidos conceptuales propuestos para el Eje: “La información genética” tanto en el DC como en los LT. Se utilizaron los cuatro temas centrales propuestos por Aivelo y Uitto (2019) y se aplicaron como categorías *a priori* sobre los contenidos enunciados en el DC. Se procedió a agrupar los contenidos conceptuales de acuerdo con los siguientes temas: ácidos nucleicos (AN), reproducción celular (RC), herencia (H) y tecnologías de los ácidos nucleicos (T). Luego, se contrapusieron con los contenidos identificados en los LT y se agregaron a la lista los contenidos faltantes. Con esta información se generó la Tabla 3.3 que se presenta más adelante. En ella se enlistan los contenidos agrupados de acuerdo con el tema central. Esta tabla fue utilizada posteriormente en el análisis de las RV de los LT para asignar el tema

central al cual hacía referencia cada representación, considerando los contenidos que abordaba.

Análisis de los lineamientos del diseño curricular en cuanto al tipo de RV y las actividades con RV

Para describir los lineamientos generales para el uso de RV propuestos por el DC, se relevaron todas las frases que contenían menciones respecto al uso de las RV en el diseño curricular de segundo año de la NES (unidades de registro). Se consideraron las siguientes secciones: presentación de la asignatura, propósitos de enseñanza, contenidos y formas de conocimiento y técnicas de estudio propuestas.

Se analizaron dichas menciones y se identificó el tipo de RV al que aludían considerando los tipos de RV y sus respectivos descriptores enlistados en la Tabla 3.4 que se presenta más adelante. Para ello se comparó la expresión utilizada por el DC y el nombre y definición del tipo de RV. Es necesario aclarar que en el DC se utilizan palabras que no corresponden estrictamente con la denominación que las autoras realizan para cada tipo de RV o bien, se utilizan términos ambiguos. En esos casos, dichas denominaciones fueron agrupadas por separado como “otras RV”.

A continuación, se analizaron los procedimientos a realizar con las RV que se le proponen a los estudiantes. Para ello, se clasificaron las menciones del DC de acuerdo con el tipo de actividad propuesta según sean actividades de lectura u observación, de intervención o de elaboración utilizando los descriptores de la Tabla 3.6 (ver siguiente apartado).

Por último, este mismo análisis se realizó sobre la lista de contenidos priorizados propuestos durante la pandemia en los documentos del Ministerio de Educación de la Ciudad de Buenos Aires (Ministerio de Educación 2020; 2021), con fines meramente informativos respecto del tratamiento de estas cuestiones en ese período.

Para el relevamiento y análisis de las menciones en el DC y los LT se utilizó el software ATLAS.ti v.8. Para la asignación del tema central, tipo de RV y tipo de actividad en cada una de las frases seleccionadas se consideraron los indicadores detallados en las tablas mencionadas en cada caso.

3.5. Parte II. Caracterización de las RV de genética de los libros de texto

En primer lugar, se realizó un muestreo intencional, en base a la disponibilidad de libros de texto de amplia difusión del tema y nivel educativo en cuestión. La muestra quedó conformada las RV de por cinco LT de Biología de amplia difusión el segundo año

(estudiantes de 14 años) de la Nueva Escuela Secundaria. Dentro de estos, se trabajó con el bloque destinado a la información genética, compuesto generalmente por dos o tres capítulos, tal como muestra la Tabla 3.2.

Como se mencionó anteriormente, la Parte II de esta investigación respondió a una metodología fundamentalmente cuantitativa con fines descriptivos. A continuación, se describen las variables de análisis y sus niveles, utilizadas en los estudios 2, 3 y 4. Más adelante, se detallan los aspectos metodológicos específicos de cada uno de ellos.

Tabla 3. 2. Detalle de los cinco libros seleccionados, indicando los bloques y capítulos en estudio y su extensión en cantidad de páginas.

Año	Título y Editorial	Autores	Bloques y capítulos
2016	<i>Activados 2. Biología. Nutrición, herencia y evolución en los seres vivos. Versión CABA. Puerto de Palos</i>	Marina Mateu Diego Ródano Mariana Rodríguez Sebastián Romeu	Bloque: La información genética (pp. 147-186) Páginas: 40 Capítulo 7. Núcleo celular Capítulo 8. Herencia y genética
2016	<i>Biología 2. La evolución de los seres vivos. Las células y la nutrición. La información genética. NES. Santillana</i>	Alejandro Balbiano María G. Barderi Adela Castro Alejandro Ferrari María C. Iglesias Celia Iudica Natalia Molinari Pablo Otero	Bloque: La información genética (pp. 126-171) Páginas: 46 Capítulo 9. El ADN Capítulo 10. La reproducción celular Capítulo 11. Los mecanismos hereditarios
2016	<i>Biología 2. Origen, evolución y herencia de los seres vivos. Serie llaves. Mandioca</i>	Lucía Rivas Manuel Facundo Fungueiro Ariadna Eva Serrano	Bloque: Los mecanismos de herencia (pp. 122-155) Páginas: 34 Capítulo 9. Las leyes de la herencia genética Capítulo 10. La meiosis y la diversidad Capítulo 11. La manipulación de la información genética
2016	<i>Biología 2, NES. Serie Miradas. Tinta Fresca</i>	Alejandra Cornet Luciana Couso Cecilia de Dios Sergio Ghio	Bloque: La información genética (pp. 95-134) Páginas: 40 Capítulo 5. Herencia Capítulo 6. Del ADN al organismo

2017	<i>Biología 2. Evolución de los seres vivos. La unidad de la vida: la célula. Nutrición. Información genética. NES. Serie Savia. Sm</i>	Gabriela Schiavi Cecilia de Dios	- (pp. 139-181) Páginas: 43 Capítulo 7. Las leyes que rigen la herencia Capítulo 8. El material genético y la herencia Capítulo 9. Tecnologías reproductivas
------	---	-------------------------------------	---

Variables consideradas para el análisis de las RV en los Estudios 2, 3 y 4

Para el análisis de las RV de las explicaciones y de las actividades de los LT, se consideraron tres variables nominales: el tema central, el tipo de RV y los niveles de representación.

- Tema central

Para el tema central de la genética abordado tanto en el DC como en los LT se consideraron los cuatro temas centrales de genética propuestos por Aivelo y Uitto (2019). Como se anticipó, se construyó la Tabla 3.3 a partir de una lectura de los contenidos del DC y su clasificación de acuerdo con los temas centrales. Posteriormente esta tabla se completó con los contenidos abordados en los LT que no figuraron en el DC.

Tabla 3. 3. Lista de contenidos del Eje La información genética agrupados de acuerdo con el tema central.

Tema central	Contenidos considerados
Los ácidos nucleicos (AN)	El núcleo celular. Los ácidos nucleicos (ADN y ARN). Modelo de doble hélice del ADN. Funciones. Replicación del ADN. Nociones de cromosomas, genes, alelos. Nociones de gen. Flujo de información genética en la célula: relación entre ADN, ARN y proteínas.
Reproducción celular (RC)	Reproducción a nivel celular: diferencias entre mitosis y meiosis. Cambios en la información genética: mutaciones génicas y cromosómicas. Relación con la fuente de variabilidad genética. Agentes mutagénicos.
Herencia (H)	Mecanismos hereditarios. Leyes de Mendel. Herencia post-Mendel. Epigenética. Genotipo y fenotipo. Rasgos adquiridos y hereditarios. El determinismo biológico: sus supuestos y críticas. Relación entre genes y ambiente. Expresión génica.
Tecnologías (T)	Selección artificial. Biotecnología. Ingeniería genética. Clonación. Organismos genéticamente modificados. Genoma humano. Cuestiones bioéticas. Tecnologías asociadas a la información genética. Medicina regenerativa. Uso de células madre. Inseminación artificial. Fecundación in vitro. Terapia génica.

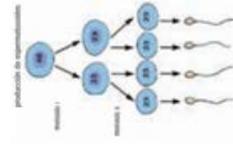
Se identificó el tema central al que hacía referencia cada RV utilizando los contenidos enlistados en la Tabla 3.3 considerando los contenidos que abordaba cada representación. Esta variable admite cuatro niveles posibles: ácidos nucleicos (AN), reproducción celular (RC), herencia (H) y tecnologías de los ácidos nucleicos (T).

- Tipo de RV

Para el tipo de representación visual tanto en el DC como en los LT se consideraron los tipos de RV propuestos por López Manjón y Postigo (2014). En base a dicho sistema de clasificación se definieron las variables y niveles presentados en la Tabla 3.4, se incluyen los nombres de cada una, su descripción y un ejemplo. Los ejemplos son a modo ilustrativo y fueron tomados de casos representativos de las RV presentes en los libros que se estudiaron en esta tesis.

Se identificó el tipo de RV en cada caso utilizando los descriptores de la Tabla 3.4. Esta variable admite con tres niveles en una primera aproximación: ilustraciones, diagramas y representaciones cuantitativas, y dentro de las ilustraciones se encuentran las fotografías, las imágenes técnicas y las ilustraciones. Estos grupos fueron los utilizados en los primeros análisis. En un estudio posterior, se profundiza en los diagramas y estos fueron discriminados entre: diagramas verbales, diagramas visuales de estructura y diagramas visuales de proceso. Para dicha determinación, se utilizaron los descriptores de la mencionada tabla.

Tabla 3. 4. Tipos de RV y sus descriptores. Tomado y adaptado de López Manjón y Postigo (2014). Los ejemplos son ilustrativos y fueron tomados como casos representativos de las RV presentes en los libros que se estudiaron en esta tesis.

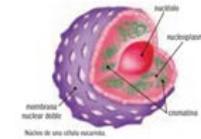
	Tipo de RV	Descriptor	Ejemplo	
Ilustraciones Relaciones espaciales reproductiva con su referente	<i>Fotografía</i>	Reproducen todos los elementos externos del fenómeno representado		
	<i>Imagen técnica</i>	Reproducen los elementos internos del fenómeno representado a través de diversos medios técnicos		
	<i>Dibujo</i>	Representaciones icónicas que muestran una correspondencia analógica. Son selectivos, es decir, recogen algunos aspectos del objeto representado		
Diagramas	<i>Diagramas visuales</i>	<i>De proceso</i>	Presentan la evolución del fenómeno, así como los cambios de las partes del mismo a través del tiempo	

Representan contenidos conceptuales y sus interrelaciones de manera explícita. Presentan la información de forma esquemática.

Presentan la información visual de una manera precisa utilizando transformaciones del objeto o fenómeno representado, seleccionando aspectos determinados en función de su tamaño, relevancia o finalidad del diagrama.

De estructura

Presentan las características físicas de las partes del objeto representado y su disposición en el espacio

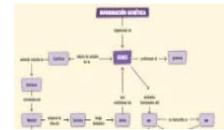


Diagramas verbales

Presentan los conceptos de forma verbal y sus relaciones, incluyendo flechas, llaves, cuadros, otros.

Mapas conceptuales

Presentan la información verbal a través de una organización espacial representando interrelaciones jerárquicas entre distintos conceptos de forma explícita y esquemática con diversos elementos gráficos y palabras clave



Cuadros

Representan las interrelaciones entre distintos contenidos conceptuales a través de llaves, cuadros, flechas

CARACTERÍSTICA	GENÉRICA en LOS PRIMEROS CINCO PARAS	FORMA ORGANIZACIÓN DE DESCUBRIMIENTO
color de la semilla	rosa X roja	rosa
color de la vaina	verde X amarilla	verde
forma de la vaina	abundante X comprimida	abundante
altura del tallo	alto X corto	alto

**Representaciones
cuantitativas**

Gráficos

Presentan la relación cuantitativa entre dos o más variables a través de distintos elementos (gráficas de líneas, barras, sectores, tablas...).



- Nivel de representación

Tomando como base el sistema de clasificación propuesto por Treagust y Tsui (2013), se definió la variable nivel de representación. El sistema de clasificación original cuenta con algunas limitaciones que se describen a continuación y que fue menester considerar a la hora de establecer los niveles de la variable y sus descriptores. A saber:

- En el caso del nivel macroscópico, la definición original incluye la idea de ojo desnudo y no contempla los casos en que se utilizan lentes o lupas. Asimismo, no contempla los casos en que el fenómeno observado es tan grande que no alcanza con el ojo para ser estudiado, y por lo tanto excluiría a las poblaciones, entidades de interés para la genética.
- En cuanto al nivel microscópico, el criterio está definido de acuerdo con si la estructura es visible o no bajo un microscopio electrónico u óptico. Sin embargo, lo que es visible o no bajo un microscopio muchas veces depende de la tinción que se realice.
- En el nivel submicroscópico sucede algo similar. Los autores ubican en este nivel a aquellas estructuras que no son visibles bajo microscopio, pero pueden ser identificadas con técnicas analíticas como la electroforesis, la cromatografía, centrifugación, entre otras. Y mencionan como ejemplos el ADN, las proteínas y otras biomoléculas. Por tomar un ejemplo, el caso de los ribosomas genera un problema en esta clasificación ya que son estructuras visibles bajo microscopio, pero también pueden ser aisladas por este tipo de técnicas.
- En cuanto al nivel simbólico, en el caso de las ecuaciones y fórmulas es claro que corresponden a este nivel, pero las palabras no están incluidas en la definición original. Sin embargo, es común encontrar palabras en las RV de genética. Por lo tanto, fue necesario tomar una decisión al respecto de su análisis.

Para subsanar las dificultades fue necesario establecer límites más específicos entre los mismos. Para esto, la idea de niveles de organización de los seres vivos resultó de utilidad. Las entidades que conforman a la Biología pueden clasificarse de acuerdo con el nivel de organización al que pertenecen. La idea de nivel de organización resulta ser estructurante para esta disciplina. Además, la dinámica de los fenómenos genéticos es típica de los sistemas organizados jerárquicamente en el sentido de que las interacciones en los niveles organizativos inferiores producen efectos en los niveles organizativos superiores (Duncan y Reiser, 2007). Por esto, los niveles de organización y sus propiedades emergentes ofrecen un marco para pensar estos fenómenos y estructuras, y por lo tanto las RV que se utilizan en su enseñanza. Por ello, resultó adecuado y esclarecedor incluir esta noción en la clasificación previamente desarrollada.

Los niveles de organización consideran la complejidad, escala de tamaño, propiedades emergentes de las entidades que los conforman, entre otros aspectos. Existen diversos abordajes de esta idea, algunos de ellos incluyen sesgos reduccionistas o mecanicistas. Para este trabajo se tomó la propuesta de Menegaz y Mengascini, (2005) quienes, desde un enfoque sistémico que supone a cada nivel como un sistema, establecen niveles de complejidad creciente jerárquicos y no estrictamente lineales, considerando tres aspectos: los elementos que lo componen, las interacciones entre dichos elementos y las características emergentes que derivan de esto. Estos niveles son:

- Niveles de relaciones morfofisiológicas: las estructuras de este nivel corresponden a una mirada analítica y anatómica sobre el organismo, descomponiéndolo en elementos y estudiando las interacciones de estos en un sentido estructural y funcional. Los niveles incluidos aquí son: individuo, sistema de órganos, órganos, tejidos, células, estructuras subcelulares como organelas y moléculas.
- Niveles de relaciones coevolutivas: los organismos inciden directa o indirectamente entre sí en las posibilidades de dejar descendencia. La coevolución puede ser analizada interespecíficamente (relación depredador-presa, entre otras) o intraespecíficamente (cortejo, estrategias reproductivas, entre otras). De acuerdo con estas relaciones, se establecen los niveles: población y comunidad.
- Niveles de relaciones de intercambio de materia y energía: Los componentes de este nivel son sistemas que se definen en función de los intercambios de materia y energía. A diferencia de los sistemas delineados a partir de las relaciones coevolutivas, en este caso se agrega como componente al medio no biológico. Los niveles incluidos aquí son: ecosistema y ecósfera.
- Niveles de relaciones filogenéticas: se analiza la interacción de los organismos en función del grado de parentesco, es decir, las relaciones ancestro-descendiente. En la secuencia la siguiente secuencia el grado de parentesco se considera cada vez menor: Especie, Género, Familia, Orden, Clase, Phylum, Reino.

Como puede verse, la Biología se ocupa de estudiar desde el nivel molecular hasta el nivel ecósfera. En el caso particular de la genética que se estudia en el nivel medio de la escuela secundaria, resultan de interés los niveles población, individuo, tejido, célula, organelas y moléculas (Duncan y Reiser, 2007). Algunos de ellos corresponden a niveles de relaciones morfofisiológicas y el nivel población a relaciones coevolutivas.

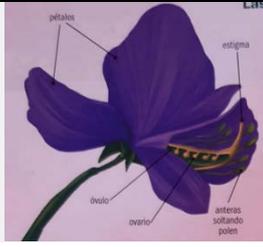
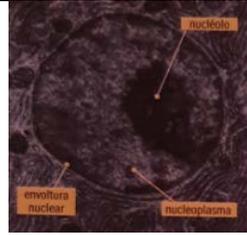
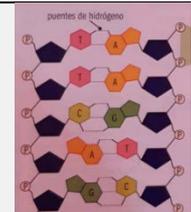
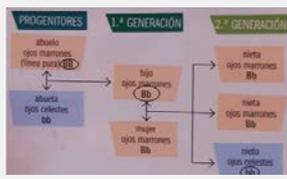
Esta aclaración permitió excluir algunos niveles que no son de interés para la genética, particularmente en su abordaje en el nivel secundario. Y, en diálogo con la propuesta de Tsui y Treagust, establecer límites más definidos entre los distintos niveles de representación. Por ejemplo, el nivel de organización individuo y población, pertenecerá al nivel macroscópico. Las células y estructuras subcelulares, al nivel microscópico y las moléculas, al nivel submicroscópico.

En cuanto al problema identificado con el nivel simbólico es necesario aclarar que, en primer lugar, las letras y por tanto las palabras son parte de los símbolos arbitrarios a los que aluden los autores. Por ende, las palabras podrían pertenecer al nivel simbólico. Si se considera la definición de término técnico es posible delimitar en qué casos las palabras pueden ser consideradas como parte del nivel simbólico y en cuáles no. El conjunto de términos específicos que surgen en contexto de una disciplina y aluden a entidades, procesos, conceptos propios de un área se denominan términos técnicos (Quílez-Pardo y Quílez-Díaz, 2016). Generalmente estos términos sólo tienen existencia dentro del contexto científico y suelen poseer un alto grado de abstracción. Por lo tanto, a los fines de esta tesis, los términos técnicos fueron considerados parte del nivel simbólico. De esta manera, algunas palabras aluden a dos niveles de representación al mismo tiempo. Por ejemplo, la palabra cromosoma hace alusión a una estructura de nivel molecular, entonces es considerada como nivel submicroscópico. Pero, por otro lado, es un término técnico, entonces también es considerada como nivel simbólico.

Teniendo en consideración los aportes teóricos desarrollados anteriormente se presenta una adaptación del sistema de clasificación propuesto por (Tsui y Treagust, 2003), que tiene en cuenta los niveles de representación, las entidades de interés para la genética dentro de todas las descriptas para la biología en general y la idea de término técnico. En la Tabla 3.5 se exponen los niveles de la variable nivel de representación y los descriptores de cada uno de ellos, que fueron utilizados para esta investigación. Se incluyen los nombres de cada uno, su descripción y un ejemplo. Los ejemplos son a modo ilustrativo y fueron tomados como casos representativos de las RV presentes en los libros que se estudiaron en esta tesis.

Así, para cada RV de los LT se identificó el o los niveles de representación aludidos utilizando los descriptores de la Tabla 3.5. Esta variable admite con cuatro niveles: macroscópico, microscópico, submicroscópico, simbólico.

Tabla 3. 5. Niveles de representación y sus descriptores. Tomado y adaptado de Tsui y Treagust (2003). Los ejemplos son ilustrativos y fueron tomados como casos representativos de las RV presentes en los libros que se estudiaron en esta tesis.

<i>Niveles de representación del mundo material</i>		
<i>Nivel macroscópico</i>	Incluye las representaciones de estructuras o partes de éstas que hipotéticamente podrían ser vistas a ojo desnudo, con anteojos o lupas; y que pertenecen al nivel de organización: población, individuo, sistema de órganos, órganos o tejidos. En el ejemplo se muestra una RV que representa la estructura de la flor con sus componentes.	
<i>Nivel microscópico</i> <i>(celular o subcelular)</i>	Incluye las representaciones de estructuras que serían sólo visibles bajo un microscopio óptico o electrónico (utilizando la tinción adecuada); y que pertenecen a los niveles de organización: célula u organela. En el ejemplo se muestra una RV que representa la estructura del núcleo celular y sus componentes.	
<i>Nivel submicroscópico</i> <i>(molecular)</i>	Incluye las representaciones de estructuras que pueden ser identificadas con técnicas analíticas y que pertenecen al nivel de organización moléculas. En el ejemplo se muestra una RV que representa la estructura de una porción de la molécula de ADN y sus componentes.	
<i>Nivel simbólico</i>		
<i>Nivel simbólico</i>	Es el que proporciona representaciones de los fenómenos a través de símbolos arbitrarios como los que se usan en fórmulas, vías metabólicas, ecuaciones químicas, árboles filogenéticos, pedigrís, entre otras expresiones. Las palabras no son consideradas como nivel simbólico, a excepción de aquellas que aluden a términos técnicos (Quílez-Pardo y Quílez-Díaz, 2016) propios de la genética o la biología. En el ejemplo se muestra una RV que representa el proceso de herencia de caracteres de padres a hijos a lo largo de dos generaciones.	

Variable considerada para el análisis de las actividades en Estudio 3

Para el análisis de las actividades con RV, se utilizó una variable nominal: el tipo de actividad. Se identificó el tipo de actividad en la consigna de cada una de las actividades propuestas utilizando los descriptores de la Tabla 3.6. Esta admite tres niveles posibles: lectura, intervención y elaboración.

Tabla 3. 6. Tipo de actividad (adaptada de López Manjón y Postigo, 2016) con su definición, ejemplos e indicadores obtenidos de la muestra en estudio.

Tipo de actividad	Definición	Algunos ejemplos y verbos indicadores
De lectura	Se presenta la RV y la tarea principal consiste en su observación o lectura.	<ul style="list-style-type: none"> • “<u>Analicen</u> el cariotipo humano” • “<u>Observen</u> la zona central e <u>identifiquen</u> el núcleo”
De intervención	Se presenta la RV incompleta y la tarea consiste en completar partes de esta.	<ul style="list-style-type: none"> • “<u>Completen</u> el siguiente cuadro” • “<u>Indica</u> (en los espacios vacíos) cuáles son las etapas del proceso”
De elaboración	No se presenta ninguna RV, pero la actividad solicita la construcción de una.	<ul style="list-style-type: none"> • “<u>Elaboren</u> un cuadro sinóptico” • “<u>Realicen</u> el esquema de la retrocruza”

En todos los casos, dos investigadores del grupo aplicaron las variables propuestas en los capítulos de uno de los LT. Luego, se contrapusieron los resultados obtenidos y los casos de divergencia se discutieron hasta llegar a un consenso. Luego, se realizaron los estudios sobre el total de RV. Por último, un tercer investigador, aplicó las variables sobre una muestra reducida conformada por tres capítulos de uno de los libros en estudio y se contrapusieron los resultados obtenidos para comprobar la validez de los resultados. Esta metodología de validación resulta apropiada dado el enfoque mixto de esta tesis (Sampieri, 2014).

Hasta aquí se han definido las variables que se utilizaron en los Estudios 2, 3 y 4. En los párrafos siguientes se desarrollan los aspectos metodológicos específicos de cada estudio en cuanto a la recogida de datos y los análisis realizados.

3.5.1. Estudio 2

Para responder a la pregunta ¿Qué características tienen las representaciones visuales que se despliegan en libros de texto de Biología de segundo año de la NES para las

explicaciones de genética? y concretar el objetivo 2 (pág. 15), se realizó el Estudio 2. Se recopilaron y documentaron las RV de las explicaciones. Cada RV constituyó una unidad de registro para este estudio. La muestra quedó conformada por 289 RV.

Recogida y análisis de datos

Las 289 RV fueron recopiladas en un documento único, y se utilizó el software Atlas.ti v.8 para asignar el tema central al que hacía referencia (Estudio 2A), el tipo de RV (Estudio 2B) y nivel de representación aludido (Estudio 2C). Para ello, se aplicaron los criterios establecidos en las tablas referidas anteriormente, Tabla 3.3, 3.4, 3.5, respectivamente.

Posteriormente, los datos se organizaron en una tabla de doble entrada en donde cada fila correspondía con una RV y cada columna con un atributo de la RV, a saber: código de la RV, la editorial, tema central al que pertenecía, tipo de RV, el o los niveles de representación a los que aludía. Además, se incluyó una columna denominada *score de nivel*. El cálculo de un *score* se realizó a partir de la suma de los niveles de representación presentes en cada RV, siendo *score*=1 las RV con un solo nivel, independientemente de cuál se tratase, y *score*=4 las RV con los cuatro niveles.

A partir de esta matriz de datos, se aplicó estadística descriptiva. Se seleccionaron los datos necesarios y se construyeron las tablas de frecuencia y porcentajes para cada variable. Luego, se construyeron los gráficos que se presentan en Resultados.

Para el caso de porcentaje de RV por tema en las explicaciones, Estudio 2.A, se calculó el cociente entre el número de RV identificadas en cada tema sobre el número total de RV en la muestra, multiplicado por 100%. De esta manera, se obtuvo un porcentaje de RV en cada uno de los cuatro temas centrales cuya distribución se presenta en la Figura 4.1. En los estudios en que el N fue inferior a 100, estos resultados se presentan como frecuencias relativas, es decir, solamente el resultado del cociente.

En el caso del porcentaje de cada *tipo de RV* en las explicaciones, Estudio 2.B, se calculó el cociente entre el número de RV identificadas de cada tipo sobre el número total de RV en la muestra, multiplicado por 100%. Así, se obtuvo un porcentaje de cada tipo de RV en la muestra en estudio cuya distribución se presenta en la Figura 4.2.

Por último, para *nivel de representación*, Estudio 2.C, tuvo un tratamiento diferente a las anteriores por tratarse de una variable con niveles mutuamente no excluyentes, es decir, que una misma RV podía aludir a más de un nivel de representación. Se cuantificó la frecuencia absoluta (FA) de cada nivel de representación en el total de las RV analizadas, luego estas FA se sumaron. La frecuencia relativa (*f*) para cada nivel representacional se calculó como el cociente entre la FA de cada nivel sobre la sumatoria de las FA de todos

los niveles. De esta manera, se informa la f de cada nivel respecto del total de los niveles. Así, un mayor valor de esta f representa una mayor cantidad de alusiones a dicho nivel.

Cruces entre variables

Para estudiar si existía alguna asociación entre variables, Estudios 2.D.1 y 2.D.2, se realizaron tablas de contingencia y en los casos en que se cumplieron los supuestos de la prueba, se aplicó la prueba de Chi ² ($p < 0,001$) utilizando el software InfoStat, v2020e. En los casos en que no se cumplieron los supuestos, las tablas fueron interpretadas con fines descriptivos.

En el caso particular del Estudio 2.D.2, se calculó el *score* promedio de cada *tipo de RV*, es decir, el número de niveles de representación que presentó cada *tipo de RV* en promedio. Luego, se realizó el cruce entre estas dos variables a través de una tabla de contingencia a partir de la cual se identificaron las tendencias que se presentan en los Resultados.

Estudios en profundidad

Para los estudios en profundidad se trabajó con una submuestra seleccionada a partir de la utilización del *tipo de RV* como variable de categorización. En el primer caso, Estudio 2.1.E.1, se trabajó con el subconjunto 82 fotografías identificadas y se analizó a cuál de los cuatro centrales correspondían. Se calculó el cociente entre el número de fotografías identificadas en cada tema sobre el número total de fotografías en la muestra. Así, se obtuvo una frecuencia relativa de fotografías por tema cuya distribución se presenta en la Figura 4.5.

En el segundo caso, Estudio 2.1.E.2, se trabajó con el subconjunto 165 diagramas identificados y se los clasificó de acuerdo con los cuatro temas centrales, los niveles de representación a los que aludían y se consideraron los siguientes subniveles para el tipo de RV: diagramas verbales, diagramas visuales de proceso y diagramas visuales de estructura. La Tabla 3.4 presenta los descriptores utilizados para identificar las RV de acuerdo con el tipo de diagrama.

Por último, Estudio 2.1.E.2.a, se trabajó con el subconjunto 81 diagramas visuales de proceso identificados y se los clasificó de acuerdo con el *tipo de RV* y *los niveles de representación* tal y como se describió para el Estudio 2.A.

El análisis de estos datos y la construcción de los gráficos de los estudios en profundidad se realizó de manera similar a como se describió previamente en el apartado Análisis de datos y tratamiento de las variables por separado.

3.5.2. Estudio 3

Para responder a la pregunta ¿Qué características tienen las representaciones visuales que se despliegan en libros de texto de Biología de segundo año de la NES para las actividades prácticas de genética? y concretar el objetivo 3 (pp, 15), se realizó el Estudio 3.

En primer lugar, se identificó la totalidad de las actividades entendidas como cada una de las consignas en forma de pregunta o enunciado que se pide realizar en los distintos ejercicios propuestos en los capítulos seleccionados. A partir de esta primera selección, se procedió a identificar las actividades con RV. El criterio de inclusión fue aquellas actividades que incluyeran una RV en la consigna y que su uso fuera explícito e imprescindible para contestar a las preguntas o actividades.

Luego, las actividades con RV fueron clasificadas de acuerdo con los criterios e indicadores que se presentan en la Tabla 3.6 como: actividades de lectura, de intervención o de elaboración, tal y como se describió previamente (pp.91). Se consideraron como actividades de lectura aquellas que requerían: observar, analizar o interpretar la RV para su resolución. Por su parte, las actividades denominadas como de intervención fueron aquellas que requerían: completar, indicar, anotar, marcar, rotular, entre otros. Las actividades de elaboración fueron aquellas que requerían: dibujar, construir, realizar una RV en su resolución. Las RV pertenecientes a este último tipo de actividad no fueron consideradas en el análisis dado que al no disponer de la RV elaborada no es posible aplicar las variables en estudio.

Recogida y análisis de datos

Una vez recopilada la totalidad de actividades con RV, la muestra quedó conformada por 30 RV y procedió a analizarse cada una de las RV propuestas. Para clasificarlas de acuerdo con el *tema central*, el *tipo de RV* y los *niveles de representación*, Estudio 3.A, B y C, se procedió de manera similar a la descripta anteriormente para el Estudio 2.A, B y C, respectivamente.

Cruces entre variables

Para los cruces entre variables, Estudios 3.D.1 y 3.D.2, al igual que en los casos anteriores, se realizaron tablas de contingencia utilizando el software InfoStat, v2020e. En este caso, por ser tener un N pequeño, las tablas fueron interpretadas con fines descriptivos.

Estudios en profundidad

Para el estudio en profundidad de los diagramas de las actividades prácticas, Estudio 3.E.1, se trabajó con el subconjunto 23 diagramas identificados y se los clasificó de acuerdo con los tres subtipos de diagramas del mismo modo que se describió para el Estudio 2.1.E.2.

El análisis de estos datos y la construcción de los gráficos de los estudios en profundidad se realizó de manera similar a como se describió previamente en el apartado análisis de datos del Estudio 2.

3.5.3. Estudio 4

Para responder a la pregunta ¿Cuáles son las semejanzas y las diferencias entre las representaciones visuales que se despliegan en las explicaciones respecto de las utilizadas en las actividades prácticas en esta muestra de estudio? y concretar el objetivo 4 (pág. 15), se realizó el Estudio 4.

Se recopilaron los resultados obtenidos en los Estudios 2 y 3 y se construyeron gráficos comparativos para cada una de las variables analizadas. Se analizaron esas comparaciones. Los Resultados se presentan en el siguiente apartado (pp. 138).

3.6. Diseño metodológico general

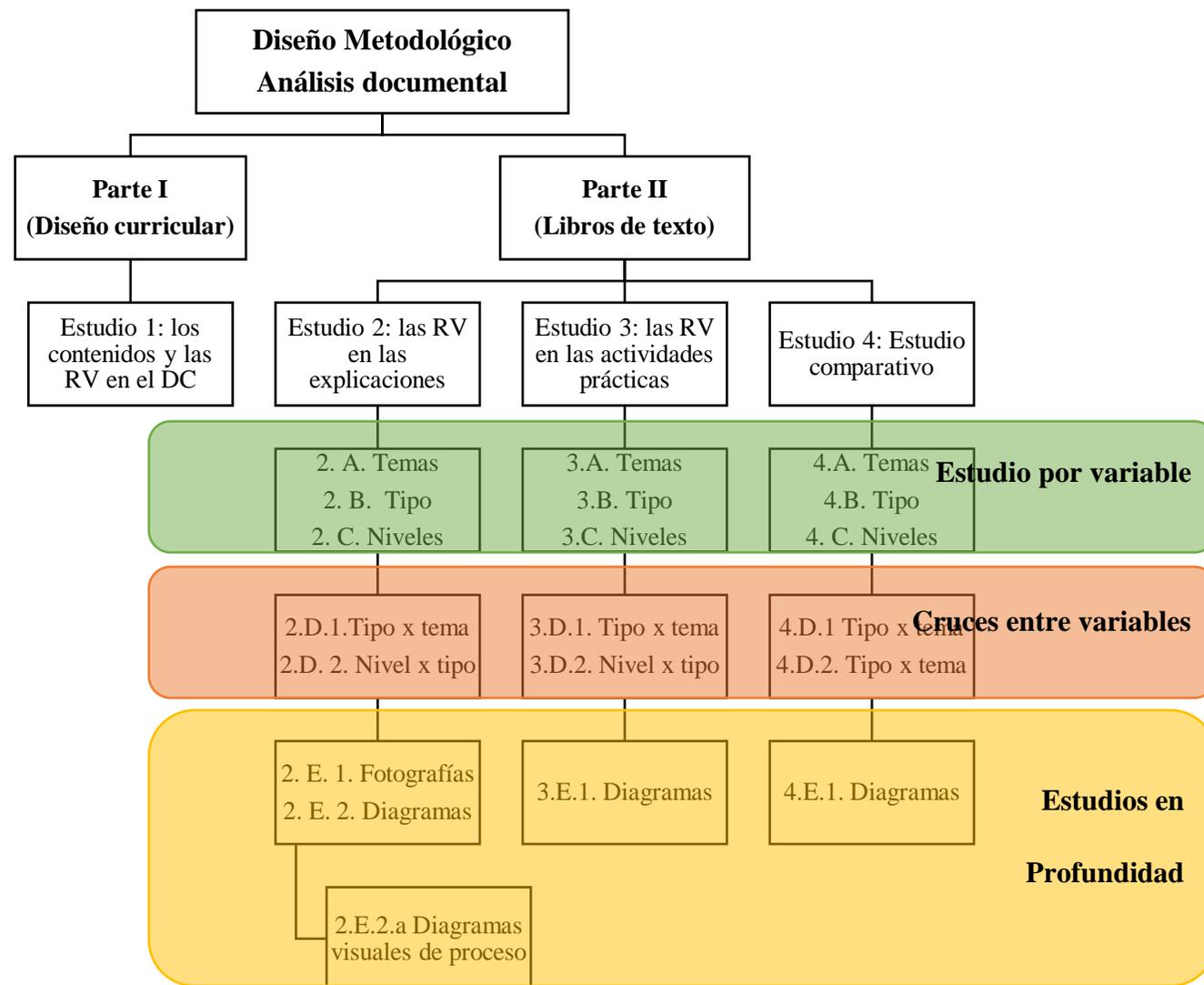


Figura 3. 1.Diagrama del diseño metodológico utilizado en esta investigación.

CAPÍTULO 4:

RESULTADOS

structure as described



This figure is purely diagrammatic. The two ribbons symbolize the two phosphate-sugar chains, and the horizontal rods the pairs of bases holding the chains together. The vertical line marks the fibre axis

thi
on
rad
the
aci
hel
the
hav
ass
cha
est
rib
lin
not
dy
axi
ha
the
ato
in
glu
ber
the
the
the
of
nee
'st
sug
cul

“WE wish to suggest a structure for the salt of deoxyribose nucleic acid (D.N.A.). This structure has novel features which are of considerable biological interest. (...). This structure has two helical chains each coiled round the same axis, see **diagram** (...). This figure is purely **diagrammatic**. The two ribbons symbolize the two phosphate-sugar chains, and the horizontal rods the pairs of bases holding the chains together. The vertical line marks the fibre axis.”

Deseamos sugerir una estructura para la sal del ácido nucleico de desoxirribosa (ADN). Esta estructura tiene características novedosas que son de considerable interés biológico (...). Esta estructura tiene dos cadenas helicoidales cada una enrollada alrededor del mismo eje, ver **diagrama** (...). Esta figura es puramente **esquemática**. Las dos cintas simbolizan las dos cadenas de fosfato-azúcar y las barras horizontales los pares de bases que mantienen unidas las cadenas. La línea vertical marca el eje de la fibra.

(Watson y Crick, 1953, pp. 737).

4.1. Introducción

En este capítulo se presentan y discuten los resultados obtenidos a partir de la investigación. En la Parte I se describen los hallazgos en relación con los contenidos de genética y los usos de las RV en el diseño curricular. En la Parte II se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de las RV presentes en las explicaciones y las actividades prácticas de los libros de texto.

4.2. Parte I. La genética y sus representaciones visuales en el diseño curricular de segundo año de la Nueva Escuela Secundaria

La Parte I de la tesis tuvo el objetivo de identificar los contenidos de genética y describir los lineamientos generales para el uso de RV propuestos por el DC de Biología de segundo año de la NES. Para ello, se realizó el Estudio 1 que consistió en un análisis de contenido del Diseño Curricular de la Nueva Escuela Secundaria. Se identificaron los contenidos de genética y las menciones al modo de utilización de las RV, luego se analizaron tal y como se describe en la Metodología (p. 72). A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

4.2.1. Estudio 1. Descripción de los contenidos de genética y los usos de las representaciones visuales propuestos en el diseño curricular

Para identificar los contenidos de genética abordados en el DC, se realizó una lectura en profundidad de la sección de contenidos, identificando los contenidos conceptuales propuestos para el Eje: “La información genética” en el DC considerando como categorías *a priori* los temas centrales propuestos por Aivelo y Uitto (2019), tal y como se describió en el apartado de Metodología.

Como resultado del análisis de los contenidos presentes en el eje “La información genética” del DC, pudo verse que, en el segundo año de Biología de la educación secundaria de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, se abordan una amplia cantidad de contenidos correspondientes a los cuatro temas centrales. El tema AN, se desarrollan contenidos fundamentalmente de escala molecular que revisten complejidad considerando que los estudiantes del nivel no han tenido formación en Química. Por su parte, en el tema RC se abordan contenidos de escala celular que se anclan en otros contenidos previos de Biología 1 y 2 y que requieren la integración con contenidos del tema AN. En el caso del tema H, los contenidos abordados requieren la relación entre

fenómenos que ocurren a escala macroscópica con otros de escala submicroscópica, integrando contenidos de los demás temas. Por último, el tema T requiere el conocimiento de varios de los contenidos previos para poder entender su aplicación en los desarrollos científicos. En síntesis, los contenidos de genética de segundo año son extensos, complejos, requieren manejo de los diferentes niveles de organización y de la integración de contenidos de esta y otras asignaturas.

En cuanto a los lineamientos para la enseñanza de genética con RV en este nivel educativo, se identificaron algunas menciones en el DC. En general se referenció el uso de gráficos, cuadros, tablas de datos, ilustraciones y un tipo particular de diagrama, los árboles filogenéticos. En la mayoría de las ocasiones las referencias a las RV resultaron ambiguas. Se refería a gráficos, imágenes y esquemas indistintamente, sin hacer explícita la definición de cada uno de estos términos. Esto podría ser un problema a la hora de la interpretación por parte de los docentes y su posterior implementación en las aulas.

En cuanto al tipo de actividad a realizar con las RV, la mayoría de las actividades sugeridas por el DC fueron de lectura u observación que requieran describir, interpretar y analizar información. En una proporción algo menor se encontraron las actividades de elaboración de RV que proponen construir diversos tipos de RV o realizar pasajes entre distintos modos de registro, entre ellos, el registro gráfico. No se identificaron menciones vinculadas a actividades de intervención. En la Tabla 4.1 se presentan ejemplos de las menciones en el DC para cada tipo de actividad.

Tabla 4. 1. Ejemplos de menciones en el DC para cada tipo de actividad con RV.

Tipo de actividad	Ejemplo
De lectura	<ul style="list-style-type: none"> • “Avanzar en la <u>interpretación</u> de imágenes de nivel de abstracción progresivamente mayor” • “<u>Interpretar</u> la información que aportan gráficos, tablas de datos, cuadros”
De elaboración	<ul style="list-style-type: none"> • “<u>Comunicar</u> información a través de producciones que incluyan textos, gráficos, esquemas, tablas de datos, cuadros, y exposiciones orales” • “<u>Pasaje</u> de la información presentada en un soporte a otro: por ejemplo, gráfico a texto argumentativo, ilustración a esquema”

Como puede verse, el DC propone unos lineamientos mínimos para el uso de RV en las actividades y estos están relacionados con tareas de lectura y elaboración.

Por último, se analizaron los documentos ministeriales que informaron los contenidos priorizados para 2020 y 2021 (Ministerio de Educación, 2020; 2021). En el año 2020, este listado fue emitido cada dos o tres meses, mientras que en el 2021 se emitió una sola vez al inicio del ciclo lectivo. Así, se observó que el desarrollo de los contenidos de genética durante 2020 fue propuesto para los dos primeros meses y seleccionaron contenidos del tema AN (información genética) y del tema H (leyes de Mendel, noción de genotipo y de fenotipo). En el caso del ciclo lectivo 2021, se amplía la lista y aparecen contenidos pertenecientes a los cuatro temas centrales, semejándose a los contenidos propuestos por el diseño curricular previo a la pandemia, aunque los contenidos del tema T se encontraron reducidos. Respecto del uso de las RV para la enseñanza, en 2020 no se incluyeron menciones respecto de las actividades con RV mientras que en 2021 se incluyeron recomendaciones menores, proponiendo el uso de gráficos y tablas y actividades de lectura y de elaboración de RV.

En síntesis, los contenidos conceptuales de genética abordados en el DC de segundo año de la NES son muchos, complejos y corresponden con los cuatro temas centrales: ácidos nucleicos, reproducción celular, herencia y tecnologías de los ácidos nucleicos, descritos en la bibliografía. Durante 2020, se abordaron contenidos principalmente de herencia mientras que en 2021 se recuperaron contenidos de los demás temas. El DC propone lineamientos para la enseñanza con RV, sugiriendo el uso de gráficos, cuadros, tablas de datos, ilustraciones y los árboles filogenéticos, en actividades de lectura y elaboración de RV.

4.3. Parte II. Caracterización de las RV de genética de los libros de texto

La Parte II de la tesis tuvo el objetivo de documentar, caracterizar y comparar las RV que se despliegan en las explicaciones y las actividades prácticas de los capítulos de genética de los cinco libros de texto de acuerdo con el tema central, tipo y niveles de representación. Para ello, se realizaron 3 estudios, cada uno de los cuales respondió a un objetivo específico. A continuación, se presentan los resultados de cada Estudio.

4.3.2. Estudio 2 Caracterización de las representaciones visuales de genética en las explicaciones de los libros de texto

En el Estudio 2 se realizó el análisis de las RV presentes en las explicaciones de genética en los LT de la muestra con el objetivo de documentarlas y caracterizarlas de acuerdo con el tipo, nivel de representación y tema. Se realizó el análisis del contenido de las RV

identificadas considerando como unidad de registro cada RV y se analizaron las variables como se describió previamente en la Metodología (p. 72).

4.3.1.1. Estudio 2.A. Distribución de las representaciones visuales según los temas centrales en las explicaciones de los libros de texto

El número total de RV de genética identificadas, documentadas y clasificadas en las explicaciones de los trece capítulos en estudio de los cinco LT en estudio fue de 289. En primer lugar, estas representaciones fueron identificadas de acuerdo con los diferentes temas centrales de genética tratados en estos capítulos de genética: ácidos nucleicos (AN), reproducción celular (RC), herencia (H) y tecnologías de los ácidos nucleicos (T) de acuerdo con la Tabla 3.3 presentada en Metodología (pp. 83). La Figura 4.1. muestra la proporción de RV en cada uno de los temas centrales.

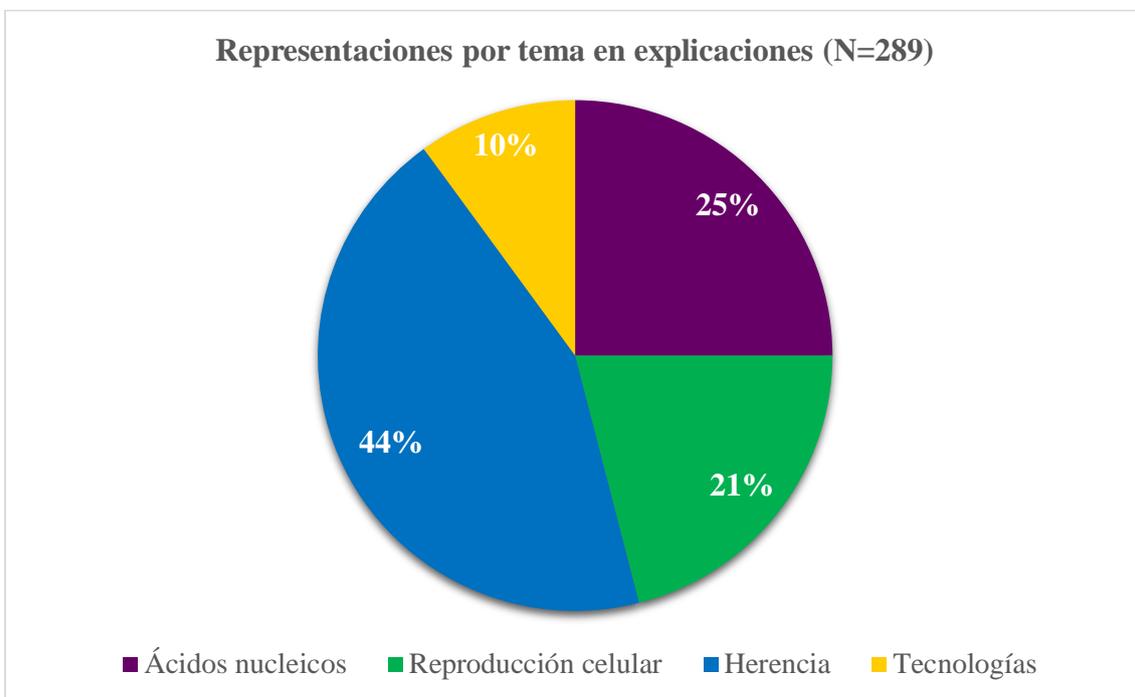


Figura 4. 1. Porcentaje de representaciones por tema en explicaciones (N=289).

Como puede verse, del total de las 289 RV analizadas, la mayoría fueron identificadas en el desarrollo del tema H (44%), seguido por AN (25%), RC (21%) y un número menor en T (10%). En la muestra analizada se le otorgaría mayor importancia relativa al tema H respecto de los otros tres. Esto podría deberse a que por ser un tema que integra temas previos, requeriría un mayor número de RV en el desarrollo de su explicación.

En el desarrollo de los temas H, AN y RC se observó que se incorporan definiciones y explicaciones de conceptos claves. Mientras que en el tema T, se identificó un abordaje de cuestiones aplicadas como: el genoma humano, clonación, terapia génica, entre otras. Sin

embargo, en T se desplegó un número menor de RV, lo que permite inferir que en esta muestra de libros se le otorga una menor importancia. Esto podría llevar a una concepción de la genética descontextualizada de sus campos de desarrollo y aplicación y más aún, desarticulada de los problemas de interés público que puede abordar.

En resumen, el mayor número de RV fueron identificadas en el desarrollo del tema H. En segundo lugar, en los temas AN y RC y una menor proporción en T. Esto daría cuenta de un sesgo hacia un mayor uso de RV en ciertos temas respecto de los demás. En el siguiente estudio se avanza sobre la caracterización de las 289 RV respecto del tipo de RV.

4.3.1.2. Estudio 2. B. Distribución de las representaciones visuales según los tipos de representación en las explicaciones de los libros de texto

Las 289 RV se clasificaron según el *tipo de RV* considerando los niveles de la variable: fotografía, imagen técnica, dibujo, diagrama y representación cuantitativa. La Figura 4.2. muestra la proporción de RV hallada de cada uno de los tipos de RV.

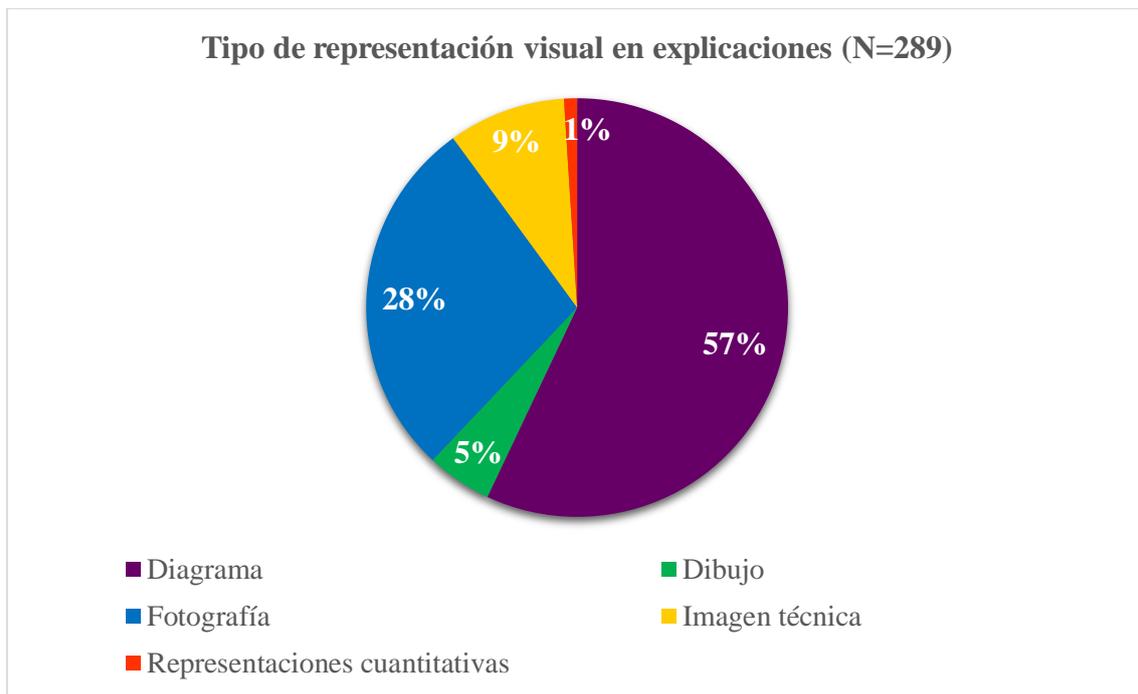


Figura 4. 2. Porcentaje de tipo de representación visual en explicaciones (N=289).

Como puede verse, la mayoría de las RV analizadas correspondieron a diagramas (57%), seguidas de las fotografías (28%). Estos resultados dan cuenta de un enfoque centrado en relaciones entre conceptos, desarrollo de procesos, composición de estructuras y

características físicas de los fenómenos representados. Dentro de los diagramas, se identificaron distintos subtipos según el fenómeno u objeto que se representaba. Las relaciones entre conceptos fueron representadas a través de diagramas verbales como cuadros comparativos o mapas conceptuales que explicitan las relaciones entre los contenidos conceptuales en estudio. Los procesos, fueron representados generalmente a través de diagramas visuales de proceso, que presentan el transcurso del fenómeno, así como los cambios de sus partes a través del tiempo, por ejemplo, el típico diagrama de las etapas de la meiosis. Las composiciones de las diferentes estructuras fueron representadas generalmente a través de diagramas visuales de estructura que describen las características físicas de las partes del objeto representado y cómo están dispuestas en el espacio, como el clásico diagrama de la estructura celular. Sobre estos subtipos de diagramas se avanzará en los apartados siguientes, Las características físicas de los fenómenos o entidades en estudio aparecen representadas en las fotografías de individuos, poblaciones, equipamientos, entre otras.

Por su parte, las imágenes técnicas (9%) y los dibujos (5%) se presentaron en proporción mucho menor. Las representaciones cuantitativas estuvieron casi ausentes (1%), por lo que se excluyeron de los análisis posteriores. La ausencia de representaciones cuantitativas manifiesta un enfoque cualitativo de la temática.

Por lo tanto, en las explicaciones de esta muestra de capítulos abundan los diagramas y las fotografías, siendo las RV menos frecuentes las imágenes técnicas, los dibujos y las representaciones cuantitativas. En un análisis posterior se avanzó con el objetivo de conocer de si todos los tipos de RV se distribuyen de igual manera entre los distintos temas centrales desarrollados, o si, por el contrario, existe una predilección por el uso de ciertos tipos de RV para las explicaciones de ciertos temas. Los resultados de estos análisis se presentan más adelante en el Estudio 2. D. 1 (pp.105). En el siguiente apartado, se avanza hacia la caracterización de las RV según los niveles de representación a los que aluden.

4.3.1.3. Estudio 2. C. Distribución de las representaciones visuales según los niveles de representación en las explicaciones de los libros de texto

Para avanzar en la caracterización general de las RV identificadas y con el fin de conocer cuáles eran los niveles de representación que más aparecían en las RV de la muestra, se cuantificó la cantidad de alusiones a cada uno de los cuatro niveles de representación en estudio. Para ello, se consideraron los siguientes niveles de la variable nivel de representación: el macroscópico, el microscópico, el submicroscópico y el simbólico. Es menester que en una misma RV se puede identificar más de un nivel de representación. En

la Figura 4.3 se presentan las frecuencias de cada nivel relativas al total de niveles identificados.

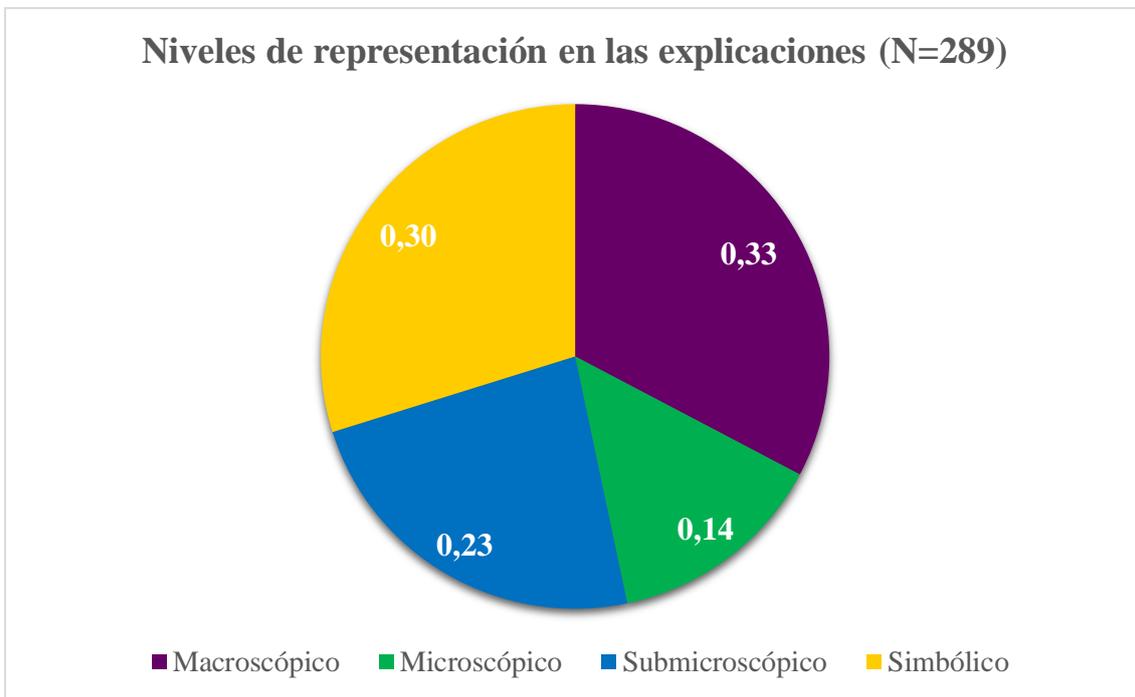


Figura 4. 3. Frecuencias relativas al total para cada nivel representacional en las RV de las explicaciones (N=289).

Como puede verse, los niveles de representación más frecuentes en la muestra fueron el macroscópico (f : 0,33) y el simbólico (f : 0,30), seguido por el submicroscópico (f : 0,23). El nivel microscópico (f : 0,14) estuvo menos referido que los demás. Este resultado da cuenta de un abordaje de los temas desde aquellas estructuras o fenómenos que son visibles a ojo desnudo o con lentes como las poblaciones de seres vivos y sus características, estructuras con roles preponderantes en estos temas como órganos reproductivos, imágenes de personas referentes en la historia de la genética, entre otras. La frecuencia de aparición del nivel submicroscópico pone de manifiesto la presencia y alusión a estructuras de orden molecular. Mientras que son menos las alusiones a estructuras de orden celular a través del nivel microscópico. Por último, la frecuencia elevada del nivel simbólico pone de manifiesto un uso extensivo de este nivel a lo largo de la mayoría de las RV.

En suma, a partir de este estudio puede verse que en esta muestra de RV están presentes los cuatro niveles de representación siendo los más frecuentes el nivel simbólico y macroscópico. En un estudio posterior se procedió a analizar de qué manera estos niveles se combinaban entre sí en los distintos tipos de RV. Los resultados se presentan a

continuación en el Estudio 2. D. 2 (pp.106). En el siguiente apartado se avanza sobre la caracterización de los tipos de RV más utilizados según el tema central.

4.3.1.4. Estudio 2. D. 1. Tipos de representación utilizados según los temas centrales en las explicaciones de genética de estos los libros de texto

Con el objetivo de conocer si las RV de todos los temas son de los mismos tipos, o bien, hay ciertos tipos de RV asociados a los temas en cuestión, se analizó el cruce entre el *tipo de RV* y los temas desarrollados a través de una tabla de contingencia y una prueba de χ^2 que se presenta en la Tabla 4.2. A partir de este estudio, pudo descartar independencia entre estas variables ($p < 0,0001$), es decir que, según el tema abordado predomina un tipo particular de RV.

Tabla 4. 2. Frecuencias relativas de tipo de RV según el tema (N=287). Prueba de χ^2 , ($p < 0,0001$). Los valores significativos se indican con un *.

Tipo de RV	Tema central				Total
	AN	RC	H	T	
Diagrama	0,32	0,19	0,44	0,05*	1
Dibujo	0,07	0,64*	0,21	0,07	1
Fotografía	0,09	0,15	0,56*	0,21	1
Imagen técnica	0,46*	0,23	0,15	0,15	1
Total	0,25	0,21	0,44	0,10	1

Las fotografías aparecieron frecuentemente en el desarrollo de los temas H ($f: 0,56$) y menos en el desarrollo de los temas AN ($f: 0,09$) y RC ($f: 0,15$). Con las imágenes técnicas sucedió lo opuesto, siendo estas muy utilizadas para el tema AN ($f: 0,46$) y poco utilizadas para el tema H ($f: 0,15$). La cantidad de diagramas identificados en el tema T fue significativamente menor respecto de los otros tres temas ($f: 0,05$), en los cuales fueron muy utilizados. El número de dibujos desplegados fue mayor en el tema RC ($f: 0,64$).

Por lo tanto, en los temas H y T el foco está puesto en representar aspectos externos de los fenómenos representados como las características físicas de los individuos en el primer caso (fotografías de personas) o las características de los equipamientos a utilizar en el segundo caso (fotografía de un tanque de nitrógeno). Mientras que esto no sucede en los temas AN y RC ya que allí el foco está puesto en representar elementos internos del fenómeno representado, como la estructura de las células, el aspecto de los cromosomas, que se

representan generalmente a través de microfotografías. En el tema RC se prioriza la representación de aspectos selectivos de los fenómenos; para mostrar las formas de los diferentes tipos de cromosomas, y se recurre a representaciones icónicas selectivas como los dibujos. Esto da cuenta de una predilección por ciertos tipos de RV según los contenidos desarrollados. A continuación, se avanza en el análisis con el fin de conocer si existe una relación entre el *tipo de RV* y los *niveles de representación* a los que hace alusión cada uno de ellos.

4.3.1.5. Estudio 2. D. 2. Niveles de representación utilizados según los tipos de representación en las explicaciones de genética de estos los libros de texto

Con el objetivo de conocer si todos los *tipos de RV* aludían a los mismos niveles de representación o, por el contrario, ciertos *tipos de RV* se encontraban asociados a ciertos niveles de representación, se analizó el cruce entre estas dos variables en dos etapas. En primer lugar, se calculó un *score* promedio para cada tipo de RV. Cada RV tuvo asociado un *score* entre uno y cuatro. A partir de los valores se *score* se obtuvo el *score* promedio para cada tipo de representación como se describió previamente en el apartado de Metodología. En la Tabla 4.5. se muestran el *score* promedio para cada tipo de RV.

Tabla 4. 3. *Score* de nivel promedio para cada tipo de RV (N=287).

Tipo de RV	Score promedio
Fotografía	1
Imagen técnica	1,08
Dibujo	1
Diagramas	2,37

Como puede verse, las fotografías (*score*: 1), las imágenes técnicas (*score*: 1,08) y los dibujos (*score*: 1) presentaron *scores* de nivel promedio cercanos a 1, es decir, refieren a un único *nivel de representación*. Mientras que, los diagramas, las RV más frecuentes en estos LT, mostraron un *score* de nivel promedio de 2,37. Este resultado da cuenta de que este tipo particular de RV combina al menos dos niveles de representación.

En segundo lugar, se realizó el cruce entre el *tipo de RV* y *nivel de representación* a través de una tabla de contingencia. Se identificaron algunas tendencias de acuerdo con el *tipo de RV* en cuestión.

De acuerdo con el resultado anterior, tanto las fotografías como los dibujos y las imágenes técnicas no combinaron niveles de representación. La totalidad de las fotografías presentó el nivel macroscópico ($f: 1$). Los dibujos aludieron al nivel macroscópico ($f: 0,64$), submicroscópico ($f: 0,21$) o microscópico ($f: 0,14$). Las imágenes técnicas refirieron al nivel microscópico ($f: 0,54$) o submicroscópico ($f: 0,31$). En cuanto a los diagramas, en los casos estudiados aparecieron frecuentemente las siguientes combinaciones de niveles: el submicroscópico con el simbólico ($f: 0,30$); el macroscópico con el simbólico ($f: 0,16$); el microscópico con el submicroscópico y el simbólico ($f: 0,17$) y el macroscópico con el submicroscópico y el simbólico ($f: 0,12$).

Estas tendencias sugieren que las fotografías se utilizan generalmente para representar estructuras o partes de éstas que podrían ser vistas a ojo desnudo o con lentes como las características físicas de personas o individuos, de las poblaciones, de equipamientos especializados del área, entre otras. En la Figura 4.4 la fotografía de dos gemelos o gemelas, en actitud semejante y vestidos de manera similar. Esta RV constituye un ejemplo típico de fotografía de nivel macroscópico que aparece en los LT asociado a los contenidos de genética, particularmente en el marco del desarrollo del tema H.

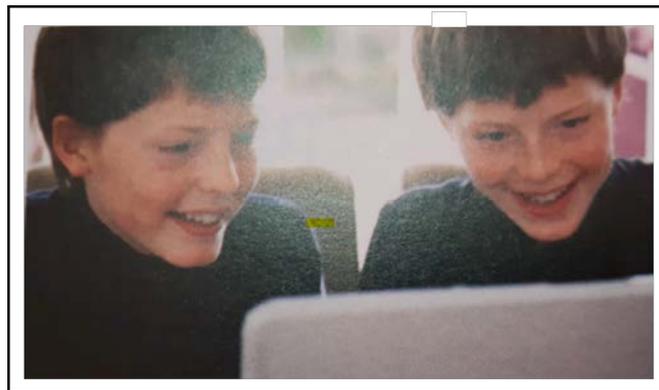


Figura 4. 4. Ejemplo de fotografía que alude al nivel macroscópico (a).

Los dibujos, por su parte, también se utilizaron para representar aspectos macroscópicos como características físicas de individuos o de estructuras reproductivas, y en una menor proporción aspectos selectivos de estructuras de orden celular como los óvulos y espermatozoides y las características de estructuras subcelulares como las características de los cromosomas. En la Figura 4.5.a puede verse un ejemplo de un dibujo de nivel macroscópico que muestra las características físicas de una mosca, especie modelo de trabajo para la genética. La Figura 4.5.b, muestra un ejemplo de dibujo de nivel microscópico que representa las gametas humanas, el óvulo y los espermatozoides. La Figura 4.5.c, muestra un ejemplo de dibujo de nivel submicroscópico. Este corresponde a un dibujo de un cariotipo humano y muestra las características de los cromosomas que lo conforman.

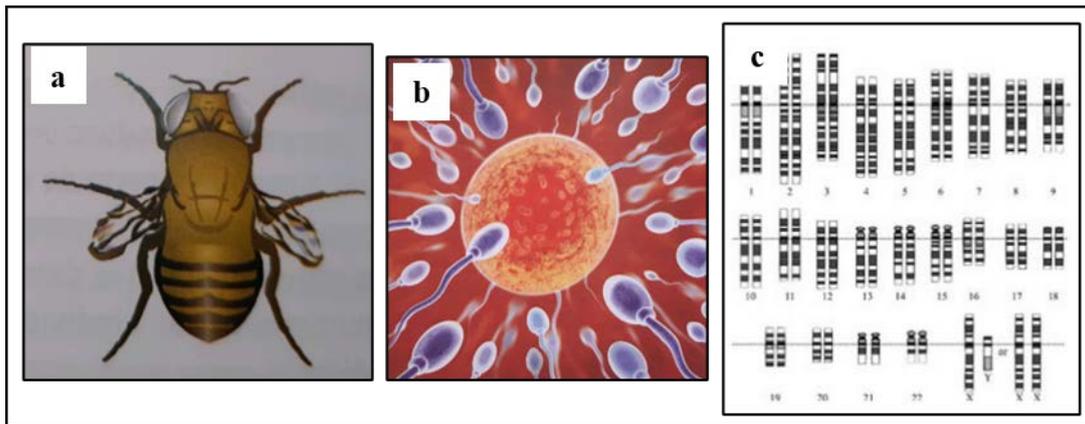


Figura 4. 5. Ejemplo de dibujo que alude al nivel macroscópico (a), microscópico (b) y submicroscópico (c).

Las imágenes técnicas identificadas en estos capítulos fueron microfotografías y se utilizaron para representar aspectos de escala celular o subcelular como características de ciertos microorganismos, células u organelas. En la Figura 4.6 se muestran dos ejemplos de imagen técnica de nivel microscópico. La Figura 4.6.a corresponde a una micrografía que muestra el núcleo de una célula animal, indicando algunas de sus estructuras: nucléolo, nucleoplasma y envoltura nuclear. La Figura 4.6.b corresponde a un cariotipo humano. A diferencia que, en el caso anterior, este no es un dibujo de un cariotipo sino un cariotipo original obtenido a través de diversas técnicas aplicadas sobre las células y sus cromosomas para obtener esta imagen.

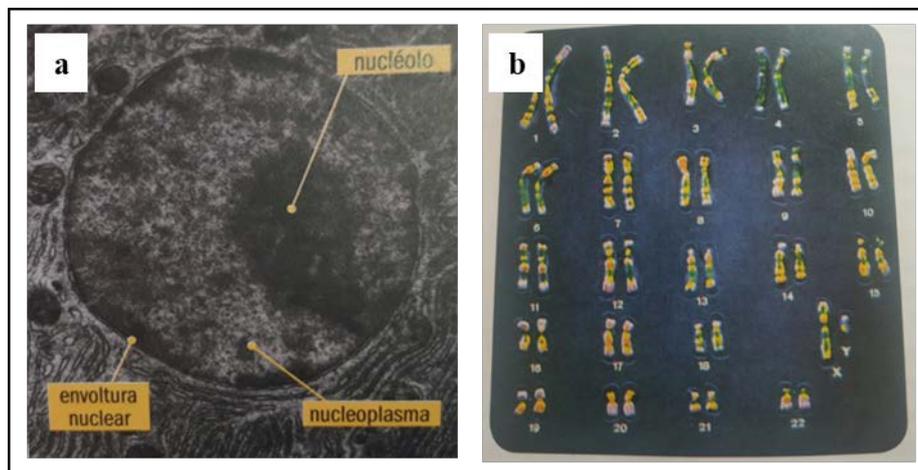


Figura 4. 6. Ejemplos de imágenes técnicas que aluden al nivel microscópico, siendo una micrografía (a) y un cariotipo (b).

Por último, los diagramas, combinaron niveles de representación y siempre incluyeron al nivel simbólico, lo que da cuenta de un rol preponderante de este nivel en la construcción de este tipo de RV. Esto pone de manifiesto una complejidad intrínseca propia de los

diagramas que requieren que el lector pueda identificar los niveles de representación presentes y relacionarlos adecuadamente.

En síntesis, el análisis de las RV de genética de los cinco libros de texto mostró que se despliega una gran cantidad de RV de naturaleza variada que alude a diferentes niveles de representación. En esta muestra, se le otorga una importancia relativa mayor al tema H dada la mayor frecuencia relativa de RV en su desarrollo. Dentro de las RV desplegadas en las explicaciones de genética de estos libros, se destacaron las fotografías por su abundancia y los diagramas por su abundancia y su versatilidad en cuanto a los niveles de representación que pueden combinar. Es por esto por lo que a continuación se presenta un análisis en profundidad de estos dos tipos particulares de RV. Los resultados del análisis de las fotografías se presentan en el Estudio 2. E. 1 (pp. 109) y los resultados para los diagramas se presentan en el Estudio 2. E. 2 (pp. 111).

4.3.1.6. Estudio 2. E. 1. Caracterización de las fotografías de genética en las explicaciones de los libros de texto

Las fotografías fueron el segundo grupo de RV más frecuente, representando un 28% de la muestra, lo que da cuenta de que este tipo de RV es muy utilizada para representar los contenidos de genética en los capítulos en estudio y, por ende, su estudio es importante. Es por ello por lo que se avanzó hacia una caracterización más detallada de este grupo.

Con el objetivo de identificar si las fotografías se utilizan en mayor medida en alguno de los temas tratados, se analizó la frecuencia de aparición de este tipo particular de representación los diferentes temas centrales. La Figura 4.7 presenta la proporción de fotografías desplegadas en cada tema central.

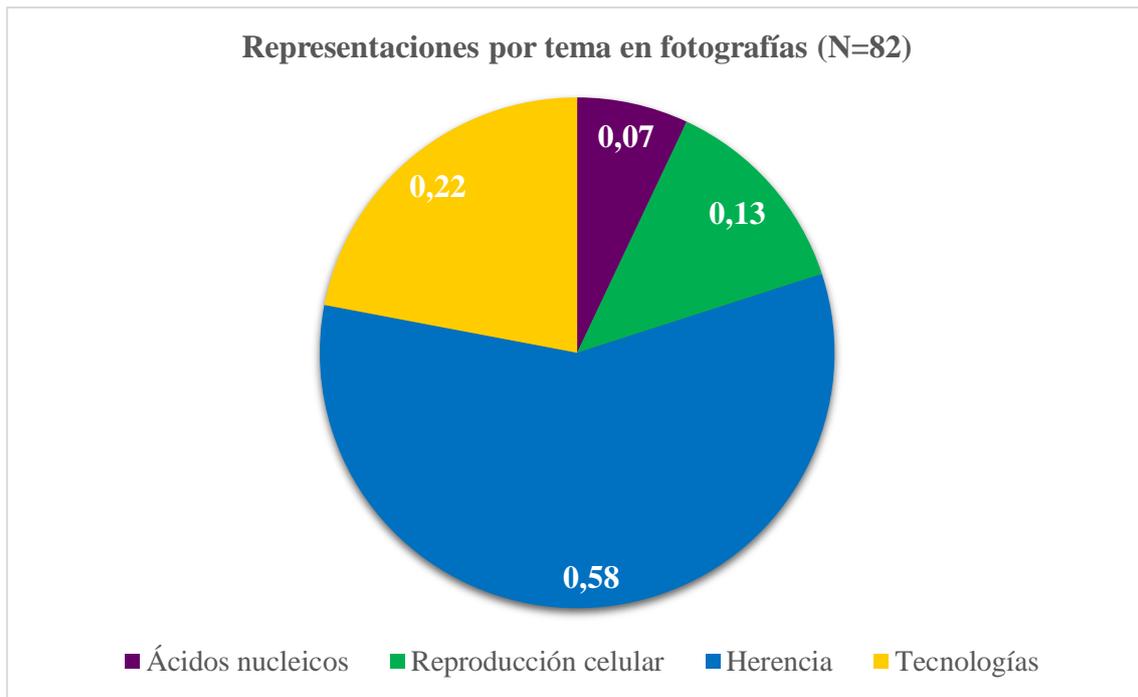


Figura 4. 7. Frecuencias relativas de fotografías por tema en las explicaciones (N=82).

Como puede observarse, la mayor parte de las fotografías se identificó en el tema H (f : 0,58) y en una proporción menor en los temas T (f : 0,22), RC (f : 0,13) y AN (f : 0,07). Como se dijo anteriormente, todas estas RV correspondieron al nivel macroscópico. Estas tendencias halladas podrían explicarse teniendo en cuenta la naturaleza de los contenidos tratados en cada uno de los temas centrales.

En el tema H, se hace foco en estudiar los rasgos físicos de diferentes especies y el modo en que son transmitidos de generación en generación. Por esto, es que aparezcan RV que reproducen elementos externos de los entes representados. Así, se identificaron fotografías de características físicas que tienen herencia mendeliana, de gemelos o gemelas, de familias, de poblaciones de distintos seres vivos, entre otros. Es menester mencionar que la fotografía de Gregor Mendel apareció en todos los libros estudiados.

En el caso del tema T, se desarrollan tecnologías y técnicas vinculadas con los ácidos nucleicos como clonación, terapia génica, fecundación *in vitro*, entre otros. Para ello se desplegó una serie de fotografías que muestran características de diferentes organismos como el caso de la oveja Dolly, o el montaje de ciertos equipamientos como fermentadores, incubadoras, tanques de nitrógeno, entre otros. También, en algunos libros se identificaron fotografías de investigadores reconocidos en el área, como es el caso de la fotografía de Frederick Sanger que apareció en dos de los cinco libros en estudio.

Por último, en los temas RC y AN se explican fenómenos de orden celular y subcelular respectivamente, y por ello es esperable que las fotografías aparezcan menos

representadas en su desarrollo. Sin embargo, es importante resaltar que para el tema AN se identificó la fotografía de Watson y Crick en cuatro de los cinco libros estudiados y las dos fotografías restantes correspondieron a ejemplos de albinismo en mono y pavo real por mutación en una enzima. En el caso de RC no se encontraron fotografías de investigadores o investigadoras. Las fotografías correspondieron a individuos o poblaciones de seres vivos para ilustrar la idea de variabilidad y ejemplos de organismos con reproducción sexual y asexual, entre otros.

En suma, las fotografías se encuentran RV ampliamente extendidas en los capítulos de genética de los libros de texto estudiados. Por su naturaleza representacional, reproducen los elementos externos del fenómeno representado y suelen aludir exclusivamente al nivel macroscópico. Esto resulta interesante ya que son RV que remiten a cuestiones que son tangibles y concretas por lo que resultarían más significativas y accesibles para los estudiantes. Sin embargo, es sabido que los temas de genética requieren comprender también conceptos más abstractos que suelen ser representados a través de otros niveles, por lo que las fotografías no serían una RV suficiente para un abordaje completo de los temas. En este sentido, los diagramas aparecen como una RV más versátil que puede combinar niveles de representación a la hora de representar fenómenos, estructuras o procesos. A continuación, se avanza en una caracterización en detalle de este grupo particular de RV.

4.3.1.7. Estudio 2. E. 2. Caracterización de los diagramas de genética en las explicaciones de los libros de texto

Los diagramas fueron el tipo de RV más frecuente en la muestra estudiada. Se identificó un total de 165 diagramas, lo que representa un 57% del total de las RV analizadas tal y como se describió anteriormente. Este tipo particular de RV combina niveles de representación, presentando generalmente al menos dos. Es por ello, que resultaron de interés para esta tesis y se profundizó su análisis.

En primer lugar, con el objetivo de conocer si los diagramas se despliegan de manera homogénea entre los distintos contenidos, se analizó su distribución de acuerdo con los temas centrales: ácidos nucleicos (AN), reproducción celular (RC), herencia (H) o tecnologías de los ácidos nucleicos (T). En la Figura 4.8 se presentan las frecuencias relativas para los diagramas según los temas.

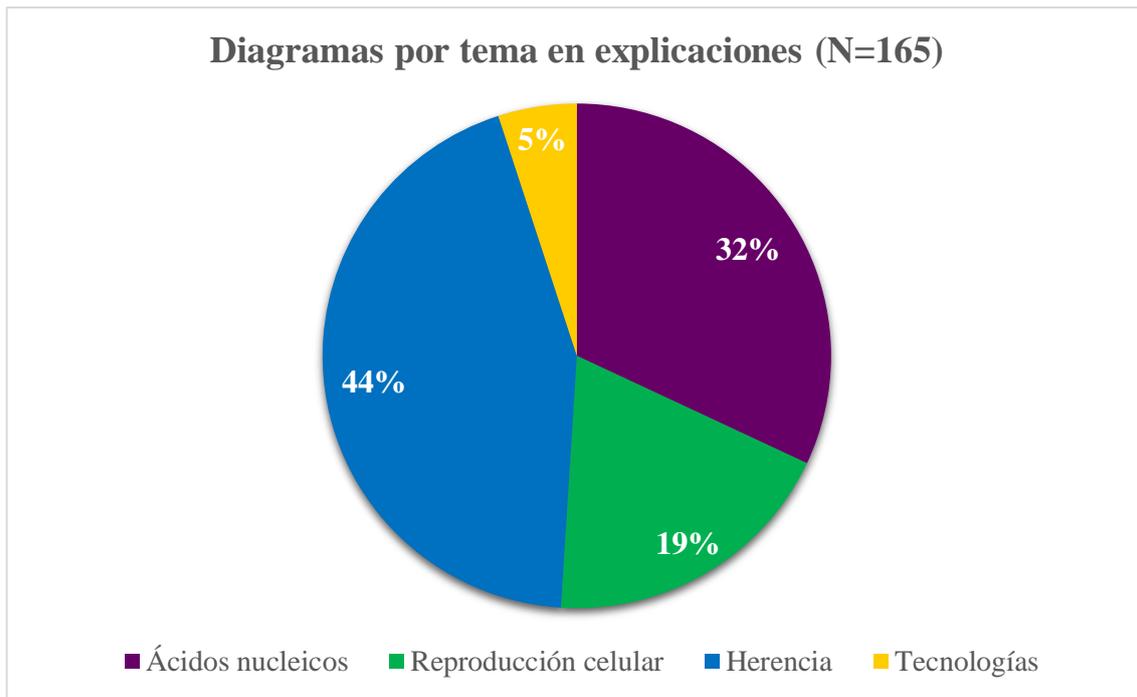


Figura 4. 8. Porcentaje de diagramas por tema en las explicaciones (N=165).

Como puede observarse, la mayor parte de los diagramas se encontró en el desarrollo del tema H (44%), seguidos por AN (32%), RC (19%) y T (5%). Estas tendencias son similares a las obtenidas en el estudio general. Es decir que se mantiene una preponderancia de RV en el desarrollo del tema H, seguido por los temas AN y RC y con baja frecuencia de representaciones para el tema T.

Para avanzar con el análisis y con el objetivo de conocer qué tipo de relaciones estaban representando dichas RV, se clasificaron de acuerdo con los subtipos que fueron desarrollados oportunamente en el Capítulo 3 de esta tesis (Tabla 3.4, pp.85). De esta manera, la muestra de 165 diagramas fue clasificada según: diagramas visuales de proceso (DVP), diagramas visuales de estructura (DVE) o diagramas verbales (DV). En la Figura 4.9 se presenta la distribución de los diagramas según su tipo.

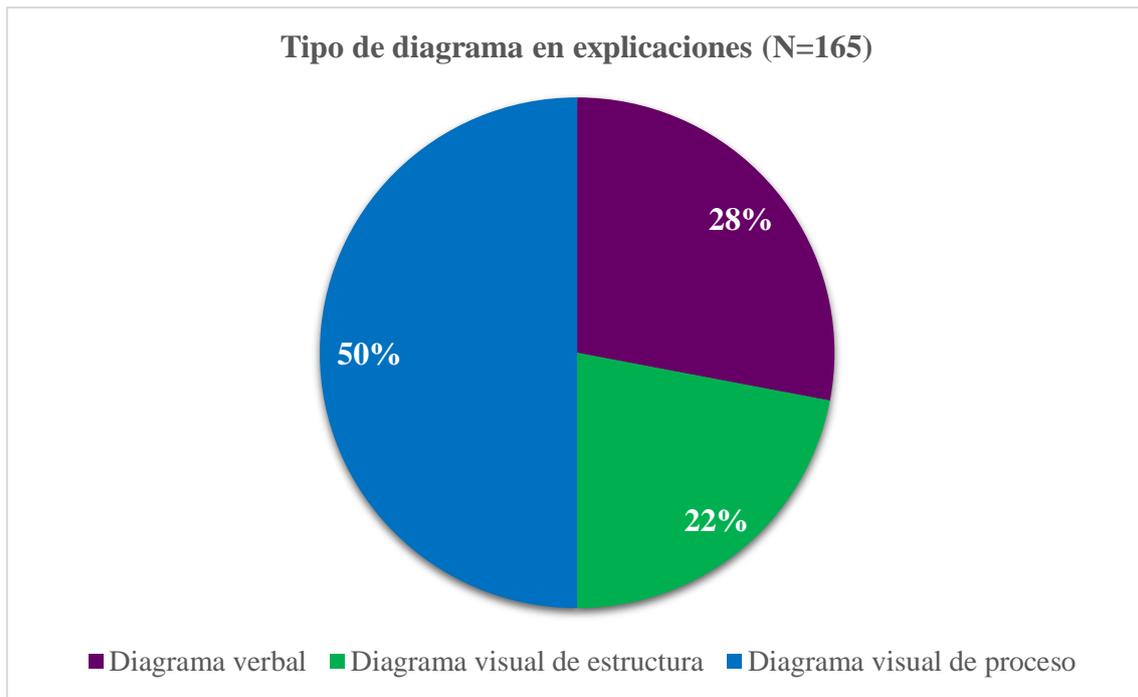


Figura 4. 9. Porcentaje de tipo de diagrama dentro del total de diagramas en las explicaciones (N=165).

Como puede observarse, la mitad de los diagramas fueron DVP (50%), seguidos por los DV (28%) y por los DVE (22%). Es decir que, en la mayoría de los casos, los diagramas se utilizan para representar la evolución de fenómenos a través del tiempo y los cambios que ocurren en sus partes. Por ejemplo, un diagrama que muestra la replicación del ADN, o las etapas de la división celular o el proceso de fecundación y obtención de las filiales en los casos de herencia. En todos los casos, se representan las estructuras involucradas y los cambios que ocurren conforme transcurren las etapas del proceso a través del tiempo.

Una proporción menor de diagramas (28%) representan las relaciones entre conceptos organizando la información verbal en el espacio (DV). Por ejemplo, a través de mapas conceptuales al inicio del capítulo que muestran los conceptos que se trabajarán y explicitan las relaciones entre ellos. Por último, los diagramas que aparecieron con una menor frecuencia (22%) son aquellos que representan las características físicas de las partes de las entidades representadas y su disposición en el espacio. Por ejemplo, mostrando la composición celular y la ubicación de sus componentes en el espacio; ilustrando la forma de los cromosomas y sus diferentes partes, entre otros.

Estos resultados dan cuenta de que los diagramas visuales de proceso cumplen un rol preponderante en las explicaciones de estos libros. Por este motivo, en el Estudio 1.1. E. 2.a se presenta una descripción en profundidad de este tipo particular de diagramas. Asimismo, se profundizan los análisis con el objetivo de conocer si los diferentes tipos de diagrama se distribuyen de igual manera en todos los temas, o si, por el contrario, ciertos

diagramas se asocian a ciertos temas centrales. Sobre esto se avanza al final de este apartado.

A continuación, se realizó en el análisis de los niveles de representación dentro de la muestra total de los 165 diagramas, con el objetivo de conocer a qué niveles de representación aludían estas representaciones. En la Figura 4. 10 se presentan las frecuencias de cada nivel relativas al total de niveles identificados en cada uno de los subtipos de diagramas.

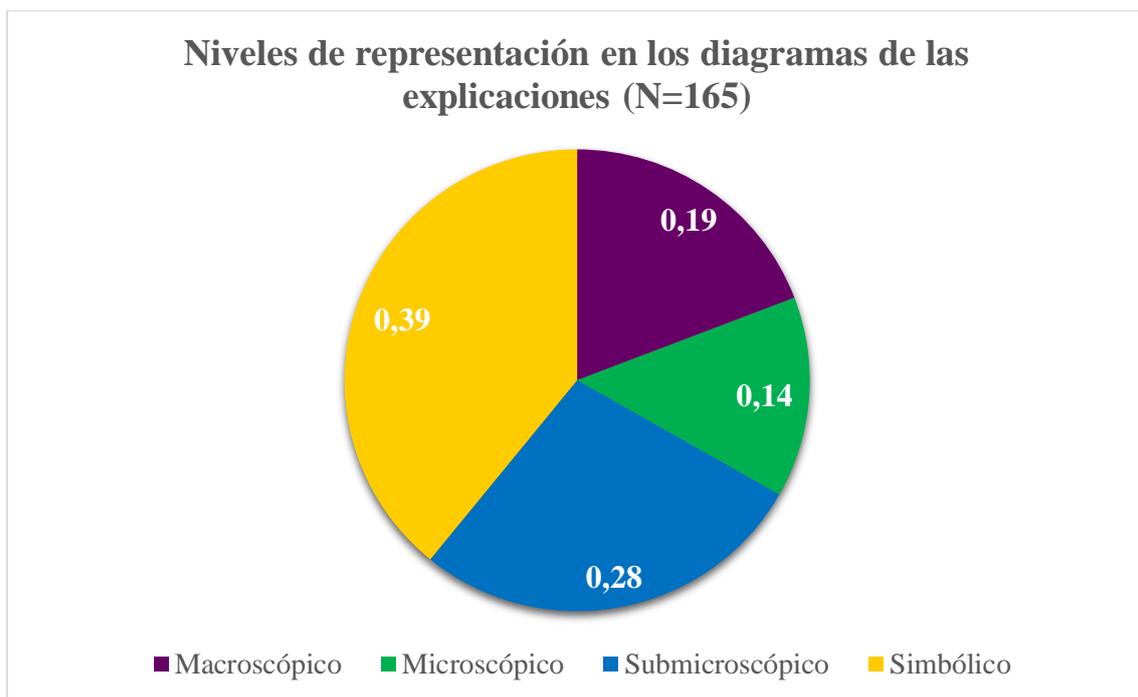


Figura 4. 10. Frecuencias relativas al total para cada nivel representacional en los diagramas de las explicaciones (N=165).

Como puede verse, el nivel que más apareció dentro del subgrupo de los diagramas fue el nivel simbólico ($f: 0,39$). En una proporción menor estuvieron el nivel submicroscópico ($f: 0,28$), macroscópico ($f: 0,19$) y el microscópico ($f: 0,14$). Esto da cuenta del rol preponderante del nivel simbólico en la construcción de los diagramas, que estaría acompañando al resto de los niveles en las diferentes representaciones. Sin embargo, este resultado no da cuenta de si los distintos tipos de diagrama presentan distintos niveles de representación, o si, por el contrario, existe una asociación entre estas variables. En los párrafos subsiguientes se avanza sobre esta cuestión.

Para avanzar sobre los cruces entre variables e identificar si existen asociaciones entre ellas, se comenzó analizando la distribución del *tipo de diagrama* según los temas desarrollados

a través de una tabla de contingencia y una prueba de χ^2 . Se descartó independencia entre las variables ($p < 0,0001$), es decir que existe una asociación entre el tema central y el tipo de diagrama que se despliega para su enseñanza. En la Tabla 4.3 se presenta la tabla de contingencia obtenida al realizar el análisis en el programa Infostat.

Tabla 4. 4. Frecuencia relativa al total de RV para cada tipo de diagrama según los temas. $N=165$. Prueba de χ^2 , ($p < 0,0001$). Los valores significativos se indican con *.

Tipo de RV	Tema central				
	AN	RC	H	T	Total
Diagrama verbal	0,19	0,11	0,68*	0,02	1
Diagrama visual de estructura	0,84*	0,00	0,16*	0,00	1
Diagrama visual de proceso	0,16*	0,33*	0,42	0,09*	1
Total	0,32	0,19	0,44	0,05	1

Como puede verse, los DV se identificaron en una proporción significativamente mayor en el tema H ($f: 0,68$) respecto de los temas los temas AN ($f: 0,19$) y RC ($f: 0,11$). Este tipo de diagramas estuvo casi ausente en el tema T. Por su parte, casi todos los DVE se identificaron en el tema AN ($f: 0,84$) y la proporción restante en el tema H ($f: 0,16$). Los DVP se utilizaron en todos los temas y se distribuyeron con diferentes frecuencias, siendo significativamente más frecuentes que lo esperado en el tema RC ($f: 0,33$) y en el tema T ($f: 0,09$) y menos frecuentes en AN ($f: 0,16$). Cabe aclarar que, en los análisis estadísticos, las frecuencias obtenidas para los DVP de los temas RC y T son distintas y mayores que las frecuencias esperadas bajo el supuesto de variables independientes. Mientras que en el tema AN la frecuencia obtenida es menor que la esperada bajo independencia, por ello el resultado se enuncia como una frecuencia significativamente menor. Por último, la frecuencia obtenida para los diagramas de proceso del tema H fue similar a la esperada bajo el supuesto de independencia, entonces, no resulta significativamente mayor.

Por lo tanto, puede reconocerse una tendencia en el tipo de diagrama que prevaleció en los temas H y AN en estos LT, lo que da cuenta del enfoque adoptado para cada caso. En el tema AN el foco estaba puesto en las características físicas de las entidades en estudio y la disposición de sus partes en el espacio, recurriendo a una gran cantidad de DVE. Por ejemplo, la estructura y composición de las células y de su núcleo, la disposición de los nucleótidos en el espacio para formar la doble hélice del ADN o las cadenas de ARN, la estructura de los cromosomas y su clasificación, los niveles de empaquetamiento de la

cromatina, las estructuras tridimensionales de las proteínas, entre otros. En la Figura 4.11. se presentan ejemplos representativos de DVE identificados en el tema AN.

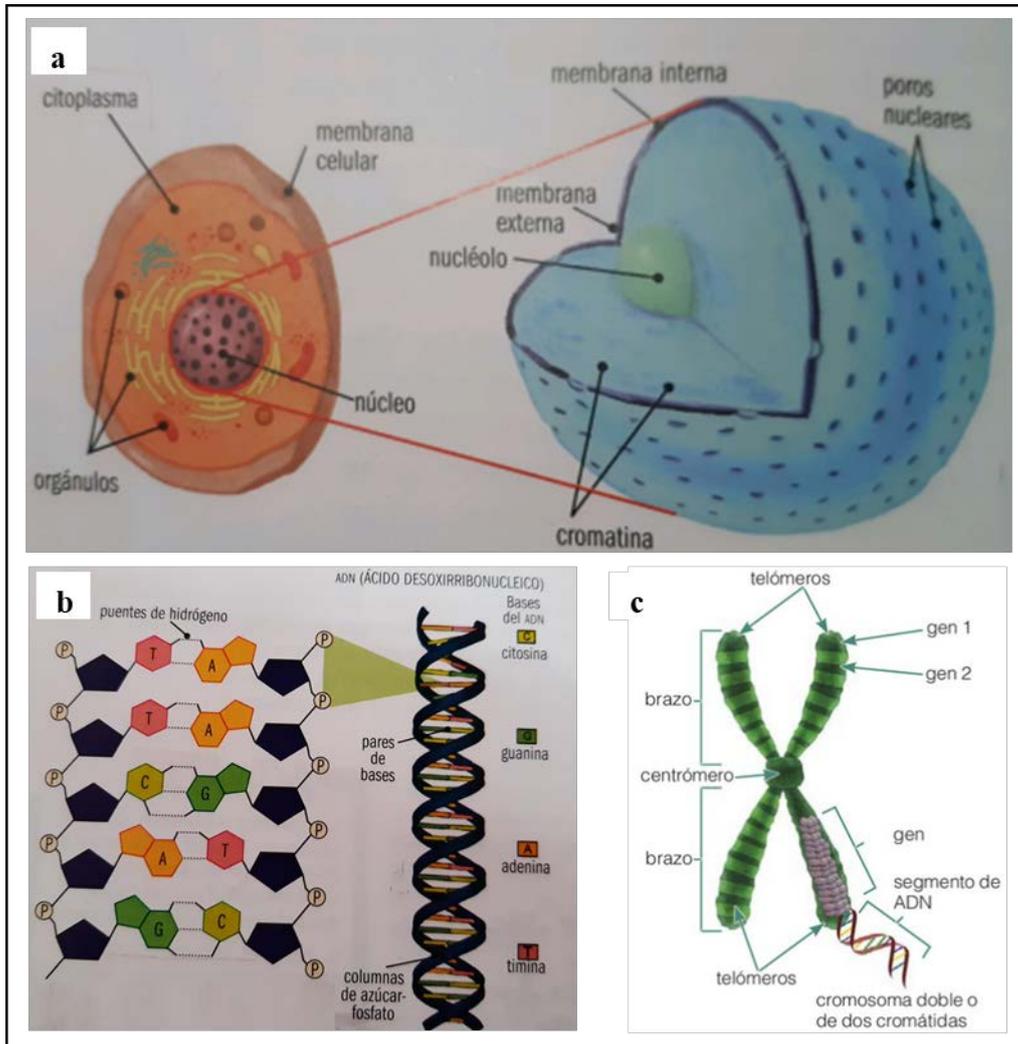


Figura 4. 11. Ejemplos representativos de diagramas visuales de estructura desplegados en el desarrollo del tema ácidos nucleicos.

En el ejemplo a, se muestra un diagrama visual de estructura de una célula eucariota modelo que contiene etiquetas indicando los nombres de sus partes. A su vez, este DVE incluye un detalle ampliado del núcleo celular en el cual también se incluyen etiquetas para detallar los nombres de sus partes. En el ejemplo b, se presenta una RV típica del tema AN. Es un DVE de una parte de la molécula de ADN representando la forma de sus componentes, su disposición en el espacio e incluyendo etiquetas con los nombres de sus partes. Por último, el ejemplo c, es un DVE de un cromosoma indicando los elementos que lo conforman.

Por otro lado, en el tema H presentó un gran número de DV que da cuenta de que la organización de los términos técnicos y sus relaciones es importante en estos LT. Algunos ejemplos de los DV identificados en el desarrollo del tema H son: diagramas de flujo sobre

la herencia de ciertas características de padres a hijos, cuadros de doble entrada que permiten estimar la distribución de los alelos en las sucesivas filiales conocidos como cuadros de Punnett, cuadros comparativos entre características dominantes y recesivas, cuadros que organizan fenotipos y genotipos, entre otros. Asimismo, este tema presentó un enfoque centrado en la evolución de los fenómenos y los cambios sucedidos en el tiempo, recurriendo a un número importante de DVP que muestran, por ejemplo, cruzamientos entre individuos incluyendo sus características físicas y las de las siguientes generaciones. En la Figura 4.12. se presentan ejemplos representativos de DV identificados en el tema H.

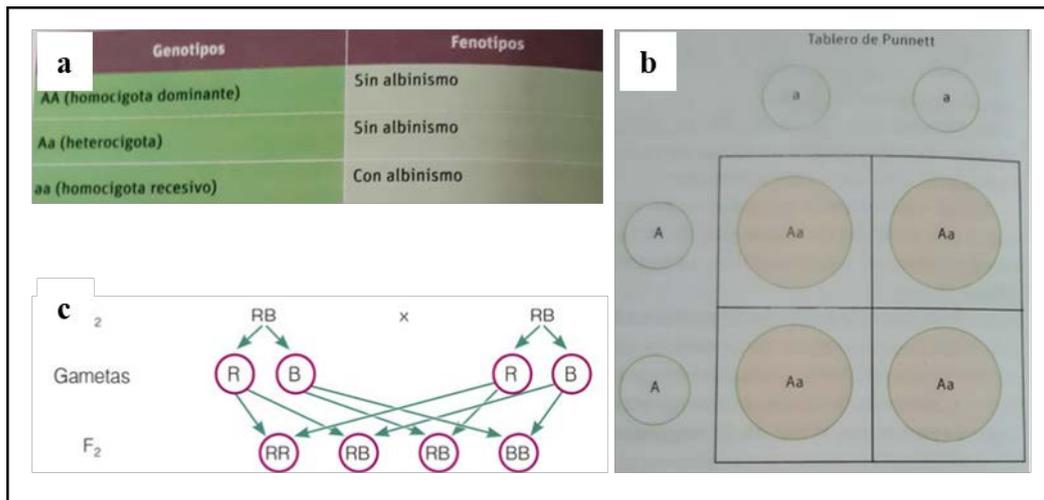


Figura 4. 12. Ejemplos representativos de diagramas verbales desplegados en el desarrollo del tema herencia.

En el ejemplo a, se presenta un DV de tipo cuadro de doble entrada en donde se enlista una serie de genotipos y su fenotipo asociado. En el ejemplo b, se presenta un tablero de Punnett que es un DV de tipo cuadro de doble entrada, indicándose los alelos en las gametas a través de los símbolos a y A y los genotipos esperados en la progenie a través de los símbolos Aa. Por último, en el ejemplo c, se presenta un DV que presenta la evolución de un fenómeno a través del tiempo por medio de información verbal y recurriendo al nivel de representación simbólico.

Por último, la marcada presencia de los DVP en el tema RC pone de manifiesto la importancia de las RV que aluden a procesos en este tema. En estos libros de texto abundaron los DVP que representan el desarrollo de procesos a través del tiempo y los cambios en sus componentes. La representación típica de este tema es la de las etapas de la mitosis y de la meiosis a través del tiempo y por lo tanto, apareció en todos los libros en estudio. Las formas que adoptan estos DVP particulares son diversas. Con mayor o menor grado de iconicidad; con mayor nivel de detalle y fragmentando las etapas; sintetizado y con menos profundidad; o a modo de comparación entre ambos tipos de división. Algunos

ejemplos de esto se presentan en el próximo apartado. Sin embargo, en todos los casos muestran los cambios a nivel celular y cromosómico que ocurren en cada una de las etapas.

En este sentido, se avanzó en el estudio de la distribución de los niveles en los diferentes tipos de representación. Para ello, se procedió del mismo modo que con el Estudio 1. En primer lugar, se calculó el score promedio para cada tipo de diagrama. En la Tabla 4.5. se muestran el *score* promedio para cada tipo de diagrama.

Tabla 4. 5. *Score* de nivel promedio para cada tipo de RV (N=287).

Tipo de RV	Score promedio
Diagrama verbal	2,51
Diagrama visual de estructura	2,10
Diagrama visual de proceso	2,40

Como puede verse, todos los tipos de diagramas combinan en promedio al menos dos niveles de representación. Estos resultados se condicen con lo encontrado en el estudio general en donde el score promedio para los diagramas mostró que este tipo particular de RV revestía interés por combinar al menos dos niveles de representación. A partir de este nuevo análisis, pudo verse que los diagramas verbales (*score*: 2,51) y los diagramas visuales de proceso (*score*: 2,40) tienen un *score* promedio superior a los diagramas visuales de estructura (*score*: 2,10) en esta muestra en estudio. Es decir que estos últimos diagramas serían menos versátiles a la hora de combinar niveles de representación.

En segundo lugar, se realizó el cruce entre el tipo de diagrama y *nivel de representación* a través de una tabla de contingencia que permitió identificar ciertas tendencias. En el caso de los diagramas visuales de estructura, la mayoría combinó dos niveles de representación, el nivel submicroscópico y el nivel simbólico (*f*: 0,73). Una menor proporción presentó tres niveles: el microscópico, el submicroscópico y el simbólico (*f*: 0,12). El resto de los DVE presentó una combinación de los niveles macroscópico, submicroscópico y simbólico (*f*: 0,05) o macroscópico y simbólico (*f*: 0,05). Por su parte, los DV, suelen combinar los cuatro niveles, macroscópico, microscópico, submicroscópico y simbólico (*f*: 0,19), o tres niveles: macroscópico, submicroscópico y simbólico (*f*: 0,19). Aunque a veces aparecen el nivel macroscópico y simbólico combinados (*f*: 0,12) o sólo el nivel simbólico (*f*: 0,12). Por último, los DVP, que fueron el tipo de diagrama más frecuente representando el 50% de la muestra, combinaron el nivel macroscópico con el simbólico (*f*: 0,32); el nivel submicroscópico con el simbólico (*f*: 0,16); los niveles macroscópico, microscópico y simbólico (*f*: 0,16); los niveles microscópico, submicroscópico y simbólico (*f*: 0,14) y los

niveles macroscópico, submicroscópico y simbólico ($f: 0,11$). En una menor proporción, presentaron un nivel o la combinación de dos niveles.

Estas tendencias sugieren que los DVE se utilizan generalmente para representar estructuras o partes de éstas que pertenecen al orden molecular acompañadas de representaciones de nivel simbólico. Por ejemplo, el diagrama de la estructura del ADN indicando la disposición de sus partes en el espacio y conteniendo referencias verbales con los nombres técnicos de las mismas.

Los DV, por su parte, presentaron una naturaleza más variada en cuanto a los niveles de representación que combinan. De este modo, pueden presentar los cuatro niveles, tres, dos o incluso uno, lo que da cuenta de su versatilidad representacional en cuanto a este aspecto.

Los DVP, los más frecuentes en esta muestra, suelen presentar el nivel simbólico. Los DVP que más aparecieron en esta muestra combinan elementos simbólicos con la representación de estructuras o fenómenos de nivel macroscópico y en menor proporción, representan también fenómenos o estructuras de orden molecular o bien, molecular y celular.

En síntesis, los diagramas fueron el tipo de RV más frecuente en la muestra total de las RV analizadas en este trabajo. De este modo, es posible afirmar que son RV relevantes a la hora de representar los contenidos de genética en estos LT. En el estudio pormenorizado de los subtipos de diagramas, se observó que la mitad de ellos corresponden a DVP mientras que la otra mitad se distribuyó entre DV y DVE. Asimismo, se identificó una asociación entre el tipo de diagrama y el tema central en el que se encontraron. Los DV aparecieron asociados al tema H, los DVE al tema AN y los DVP asociados al tema RC. Sin embargo, estos últimos aparecieron en todos los temas, lo que los distingue del resto. Esto pone de manifiesto una cierta versatilidad de este *tipo de RV* adaptable a contenidos diversos y, al mismo tiempo, da cuenta de su utilidad para estudiar la evolución de los fenómenos y los cambios que ocurren a través del tiempo y contar con una RV que permita representarlos. A su vez, cuando se analizaron los niveles de representación se observó que estos diagramas pueden presentar de uno a los cuatro niveles representacionales, lo que invitó también a seguir estudiando de qué manera se presentan los niveles dentro de este tipo particular de diagrama y en relación con los temas centrales que abordan. Por este motivo, en el siguiente apartado se presenta un estudio en profundidad sobre los diagramas visuales de proceso.

4.3.1.8. Estudio 2. E. 2.a. Caracterización de los diagramas visuales de proceso de las explicaciones de genética en los libros de texto

El número total de DVP fue de 81 en la muestra de los 165 diagramas totales. Es decir que el 50% de los diagramas identificados correspondió a DVP. Esto da cuenta de la relevancia de este tipo de RV a la hora de representar los contenidos de genética en estos LT. Particularmente, se utilizan para representar los cambios que ocurren a lo largo del transcurso de un fenómeno, por lo tanto, en este eje disciplinar la explicación de procesos tiene un rol preponderante. A continuación, se presentan los resultados de un estudio en profundidad sobre este tipo de RV a los fines de caracterizar cómo son los diagramas visuales de proceso que se despliegan en las explicaciones de los distintos temas centrales.

En primer lugar, se analizó la distribución de los DVP respecto de los temas centrales en estudio. En la Figura 4.13 se presentan las frecuencias relativas de los DVP por tema obtenidas.

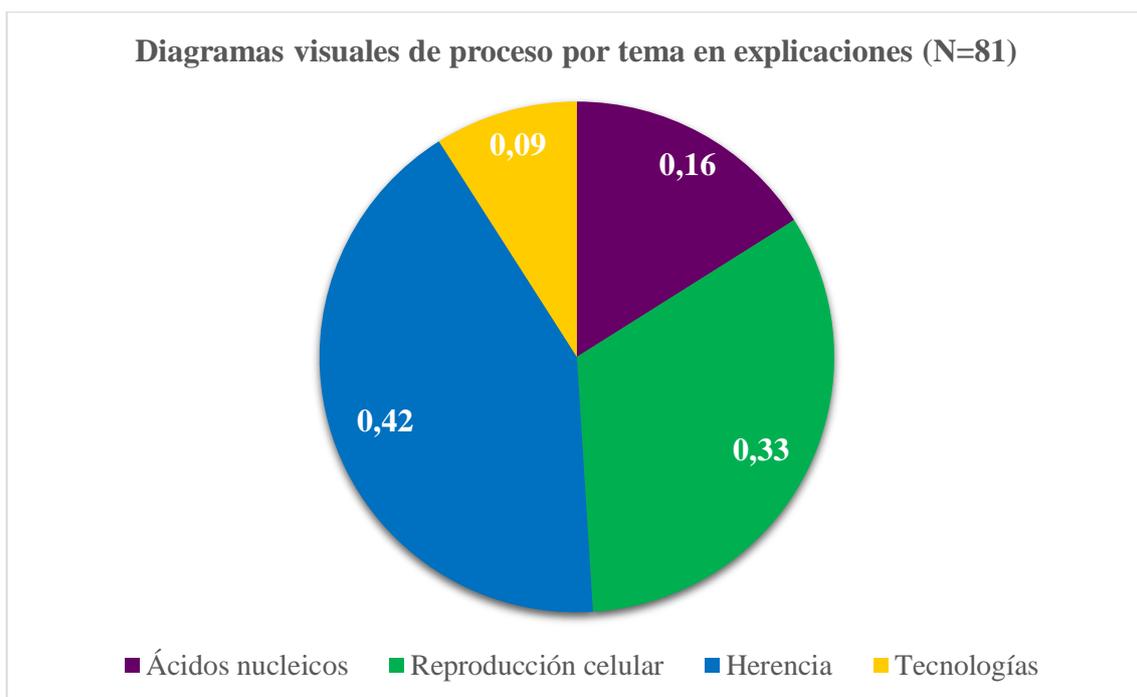


Figura 4. 13. Frecuencias relativas de diagramas visuales de proceso por tema en las explicaciones (N=82).

Como puede verse, 34 de los 81 DVP fueron identificados en el tema H, lo que representa una frecuencia de $f: 0,42$. Luego, 27 de los 81 DVP fueron identificados en el tema RC ($f: 0,33$) y el resto se distribuyeron en el tema AN y en el tema T, con 13 ($f: 0,16$) y 7 ($f: 0,09$) DVP respectivamente. Estos resultados ponen de manifiesto que en los temas H y RC se hace énfasis en el estudio de procesos y los cambios que sufren sus componentes a lo largo del tiempo, mientras que en los temas AN y T el foco no está puesto en los procesos.

En segundo lugar, se analizó la presencia de los diferentes niveles de representación en este subgrupo de DVP. Para ello se identificaron los niveles macroscópico, microscópico, submicroscópico y simbólico en la muestra. En la Figura 4.14 se presentan las frecuencias absolutas obtenidas para cada nivel en los DVP.

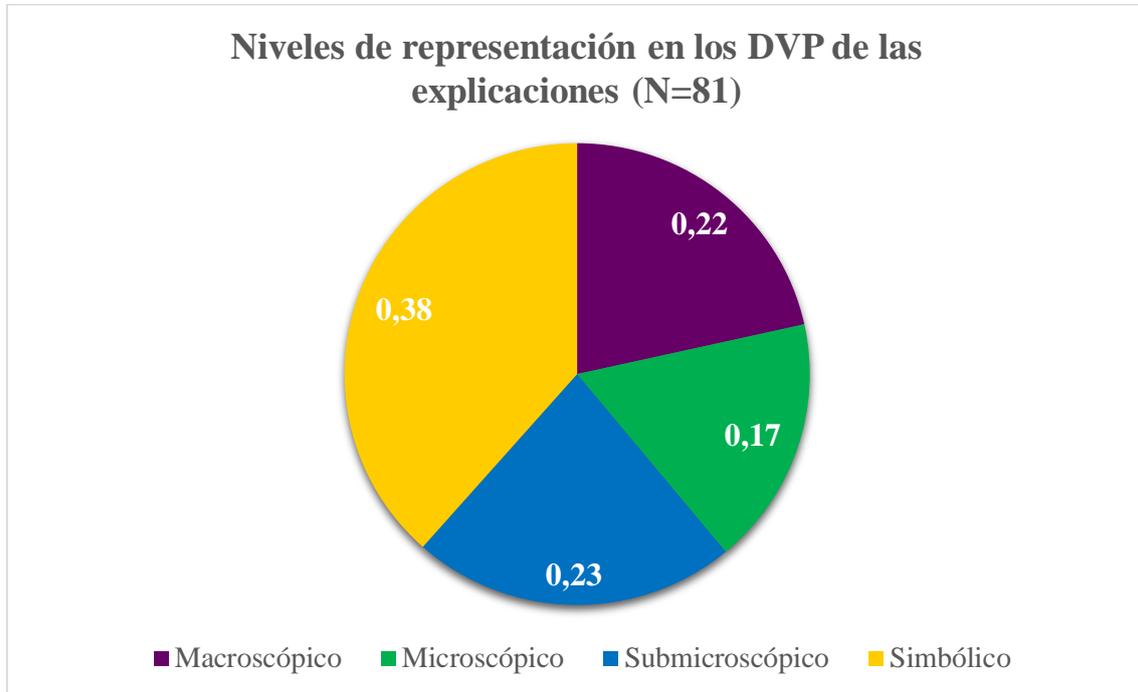


Figura 4. 14. Frecuencia absoluta para cada nivel de representación en el subgrupo de los diagramas visuales de proceso (N=81).

Como puede verse, se identificó una marcada presencia del nivel simbólico ($f: 0,38$) seguida por el nivel submicroscópico ($f: 0,23$), macroscópico ($f: 0,22$) y microscópico ($f: 0,17$). Esto pone de manifiesto que el nivel simbólico juega un rol preponderante en la construcción de los DVP y que posiblemente se encuentre presente en combinación con otros niveles. Como se mencionó anteriormente, los diagramas son el tipo particular de RV que en esta muestra en estudio combina al menos dos niveles de representación. A continuación, se avanza hacia el estudio de cómo se presentan y combinan los niveles de representación de acuerdo con los temas tratados en los DVP de genética.

Con el objetivo de identificar qué niveles de representación están presentes en los DVP según el tema en que son utilizados, se realizó una tabla de contingencia entre estas dos variables. El estudio de este subgrupo mostró tendencias distintas de los niveles de presentación aludidos según el tema en cuestión.

En el tema AN la mayoría de los DVP combinaron los niveles submicroscópico y simbólico ($f: 0,69$). En cambio, los DVP más frecuentes en el tema RC incorporaron además el nivel microscópico combinándolo con el submicroscópico y el simbólico ($f: 0,59$). Por su parte,

los DVP más utilizados en el tema H incorporaron el nivel macroscópico, el cual estuvo poco representado en los temas anteriores. La mayor parte de los DVP del tema H combinaron los niveles macroscópico y simbólico ($f: 0,59$) y una proporción algo menor combinó los niveles macroscópico, submicroscópico y simbólico ($f: 0,18$). Por último, en los DVP del tema T, se combinaron los niveles macroscópico, microscópico y simbólico ($f: 0,57$).

Los resultados encontrados para los niveles de representación que aparecen en DVP según el tema podrían explicarse debido a la naturaleza de las estructuras y fenómenos involucrados en cada uno de los tópicos centrales.

En el caso de AN, los contenidos principales que se tratan giran en torno a los procesos de los ácidos nucleicos, de escala molecular como: la transcripción, la traducción, la replicación del ADN, por eso la presencia de representaciones de nivel submicroscópico. En la Figura 4.15 se presentan algunos ejemplos representativos de los DVP que se identificaron en el desarrollo de este tema. Cabe aclarar que la ausencia del nivel microscópico en estas RV da cuenta de un abordaje de los procesos descontextualizados del entorno celular en que ocurren, lo que queda evidenciado en las RV presentadas en la Figura. Esto podría redundar en errores de comprensión.

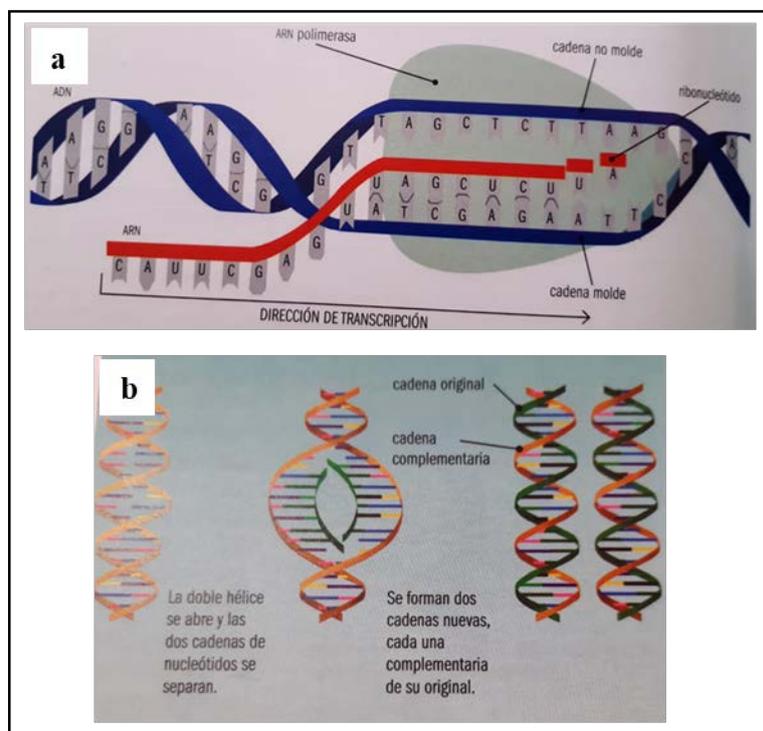


Figura 4. 15. Ejemplos representativos de diagramas visuales de proceso desplegados en el desarrollo del tema ácidos nucleicos.

De manera opuesta, en el tema RC se abordan contenidos de mitosis y meiosis que involucran estructuras y procesos de escala celular (células eucariotas, procariotas) y molecular (cromosomas, *crossing over*, huso mitótico), lo que explica la alta frecuencia del nivel microscópico combinándolo con el submicroscópico y el simbólico. La Figura 4.16 presenta algunos ejemplos representativos de los DVP que se identificaron en el desarrollo del tema RC. La ausencia del nivel macroscópico en los DVP de este tema pone de manifiesto un abordaje de los procesos que no contempla el entorno tisular u orgánico en que ocurren.

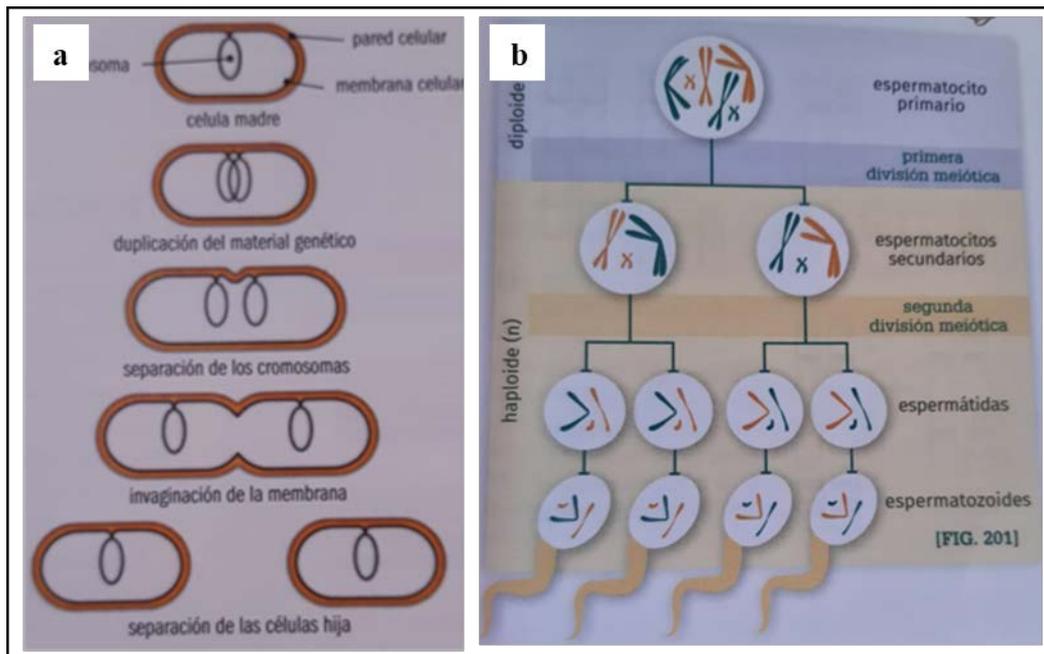


Figura 4. 16. Ejemplos representativos de diagramas visuales de proceso desplegados en el desarrollo del tema reproducción celular.

Por su parte, el tema H trata fenómenos de índole molecular como la presencia de ciertos alelos y genotipos, y de orden celular como la formación de gametas, que tienen impacto en aspectos de orden macroscópico como la aparición de ciertos fenotipos. Por lo tanto, es esperable encontrar estos tres niveles representados. Sin embargo, la mayor parte de las RV incluyeron los niveles macroscópico y simbólico en combinación (Figura 4.17a) y una menor proporción, que añaden a los anteriores, el nivel submicroscópico (Figura 4.17b). En ambos casos, el nivel simbólico generalmente está representando genotipos o alelos (AA, Aa, aa) y las representaciones de nivel macroscópico aportan los fenotipos (por ejemplo, dibujo de flor violeta). El nivel submicroscópico se utiliza generalmente para representar cromosomas.

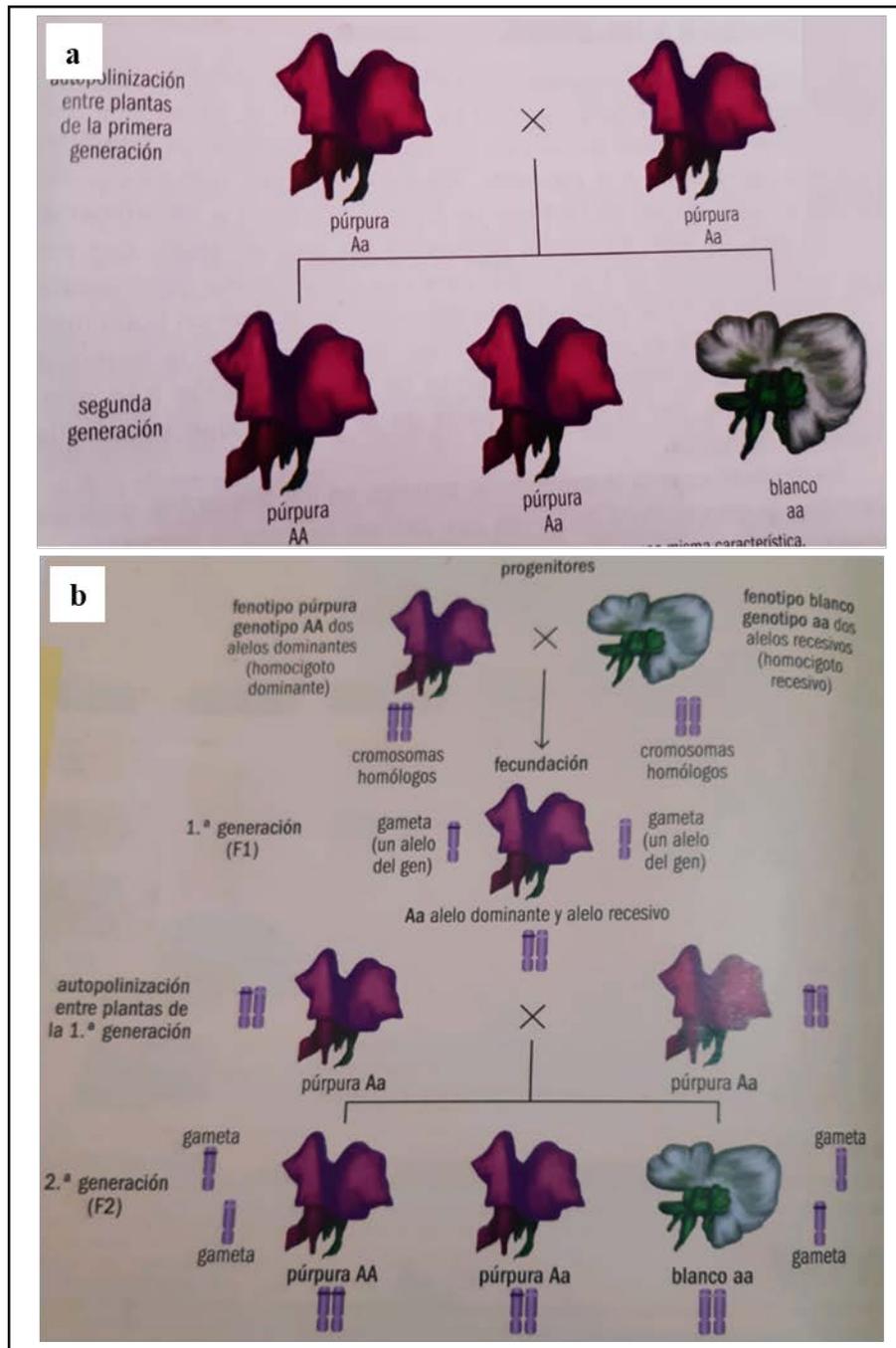


Figura 4. 17. Ejemplo representativo de diagrama verbal de proceso con nivel macroscópico y simbólico (a) y con nivel macroscópico, submicroscópico y simbólico (b) desplegados en el desarrollo del tema herencia.

Por último, en el tema T, se abordan tecnologías que integran algunos conceptos de los temas anteriormente mencionados. Por ejemplo, generación de células especializadas a partir de células madre, la clonación, técnicas de fertilización asistida, entre otras. Por esto es esperable encontrar combinación de niveles. En la Figura 4.18 se muestra un ejemplo identificado en el desarrollo del tema T en donde se muestra el proceso de clonación de la oveja Dolly a través de un DVP que combina el nivel macroscópico (representación de las

ovejas), el nivel microscópico (representación de las células y sus núcleos) y el simbólico (utilización de la expresión “2n” y empleo de términos técnicos como: oocitos, núcleo, entre otros).



Figura 4. 18. Ejemplo representativo de diagrama visual de proceso identificado en el desarrollo del tema tecnologías de los ácidos nucleicos.

En las RV de todos los temas, la presencia del nivel simbólico da cuenta de la utilización de símbolos arbitrarios: A, C, G, T, que aluden a los nucleótidos en el tema AN; las expresiones n y 2n, que aluden a la ploidía de las células en el tema RC; las expresiones f1 y f2, que aluden a las filiales en el tema H; o bien, a la utilización de términos técnicos: moléculas, mitosis, alelo, parental, células madre, entre otros. La presencia de este nivel, más abstracto que los demás, pone de manifiesto la necesidad de trabajar previamente estos símbolos arbitrarios o términos técnicos con los estudiantes para propiciar una mayor comprensión de las RV en uso.

En síntesis, los DVP son un tipo de RV muy utilizado en los capítulos de genética analizados. Sus características varían dependiendo del tema central en que se despliegan dada la naturaleza diversa de los contenidos de cada uno de estos. En general, en el tema

AN se utilizan DVP de nivel submicroscópico y simbólico; el RC se incorpora a los anteriores el nivel microscópico; en T y en H se incluye también el nivel macroscópico en diferentes combinaciones.

Hasta aquí se han desarrollado los resultados obtenidos del análisis de las RV en las explicaciones de la muestra estudiada. En suma, el Estudio 2 arrojó que las RV no se distribuyen homogéneamente entre los temas, por el contrario, la mayor proporción de RV fue identificada en el tema H (44%) seguida por AN (25%), RC (21%) y en menor proporción T (10%). Los tipos de RV más frecuentes en la muestra fueron los diagramas (57%) y las fotografías (28%), mientras que los niveles más representados fueron el simbólico y el macroscópico. Se identificó una asociación entre el tipo de representación y el tema en cuestión. Las fotografías, de nivel macroscópico, están asociadas al desarrollo del tema H; las imágenes técnicas, de nivel microscópico o submicroscópico, al desarrollo del tema AN y los dibujos, de nivel macroscópico, microscópico o submicroscópico, al tema RC. Estos tres tipos de RV no combinan niveles de representación. De manera opuesta, los diagramas están presentes en todos los temas y combinan niveles. Los DV fueron los diagramas menos frecuentes (22%) y se hallaron vinculados en mayor medida al tema H. Los DVE, generalmente de nivel submicroscópico y simbólico, se encontraron muy representados en el tema AN. Los DVP aparecieron en todos los temas.

En el siguiente apartado se presentan los resultados del análisis de las características de las RV presentes en las actividades prácticas de estos LT. Este análisis corresponde con el Estudio 3 de la tesis.

4.3.2. Estudio 3. Caracterización de las representaciones visuales de genética en las actividades prácticas de los libros de texto

En el Estudio 3 se realizó el análisis de las actividades de genética en los LT de la muestra con el objetivo de documentar y caracterizar las RV de las actividades prácticas de los capítulos de genética de acuerdo con el tema central, tipo y niveles de representación. Para ello, se realizó un análisis de contenido, considerando como unidad de registro cada RV y se aplicaron las variables como se describió previamente en la Metodología (p. 72).

El total de actividades identificadas fue de 461. La presencia de actividades con RV resultó poco frecuente frente al total de actividades prácticas propuestas en los cinco LT en estudio. El número de actividades que incluyó explícita y necesariamente el uso de una RV fue de 38, lo que corresponde al 8,46% de las actividades. Cada actividad incluyó una RV. Esto pone de manifiesto que las RV son poco utilizadas en las propuestas prácticas de estos

libros. Por el contrario, se plantearon un mayor número actividades sin recurrir al análisis, intervención o elaboración de una RV.

Cabe aclarar que en el total de actividades se identificó un grupo pequeño de nueve actividades que estaban acompañadas de 17 RV, pero estas no eran referidas explícitamente en las consignas de trabajo y su utilización no era necesaria para resolver la actividad. Por este motivo, este grupo de actividades no fue considerada dentro del grupo de actividades con RV ya que no cumplían con el criterio de inclusión. Estas RV fueron generalmente fotografías o dibujos que mostraban algún procedimiento o ilustraban alguna situación relacionada con la actividad. La presencia de este tipo de situaciones da cuenta de un uso limitado de dichas RV, reduciéndose a un rol meramente decorativo.

Dentro de las 38 actividades con RV identificadas, 16 fueron actividades de lectura ($f: 0,42$) y 14 de intervención ($f: 0,37$) de una dada RV propuesta por el material en estudio ($f: 0,77$). Una proporción menor, 8 del total, correspondió a actividades de elaboración de RV ($f: 0,21$). Estas no pudieron ser analizadas por no contar con la RV producida y por lo tanto, la muestra final quedó conformada por las 30 RV correspondientes a las actividades de lectura o intervención. Estos resultados dan cuenta que dentro de las actividades propuestas con RV, hay mayor preponderancia de aquellas que proponen actividades como leer, interpretar, analizar o completar, marcar, agregar sobre la RV, que aquellas que proponen la construcción de RV nuevas por parte de los estudiantes. A continuación, se presenta la caracterización de las 30 RV presentes en las actividades de acuerdo con el tema central que representan, el tipo de RV y sus niveles de representación.

4.3.2.1. Estudio 3. A. Distribución de las representaciones visuales según los temas en las actividades prácticas de genética los libros de texto

Con el objetivo de conocer en qué temas aparecieron más actividades con RV, se cuantificaron las actividades prácticas que utilizaron RV en función de los temas centrales: ácidos nucleicos (AN), reproducción celular (RC), herencia (H) y tecnologías. En la Figura 4.19 se presenta la distribución de las actividades con RV en los diferentes temas.

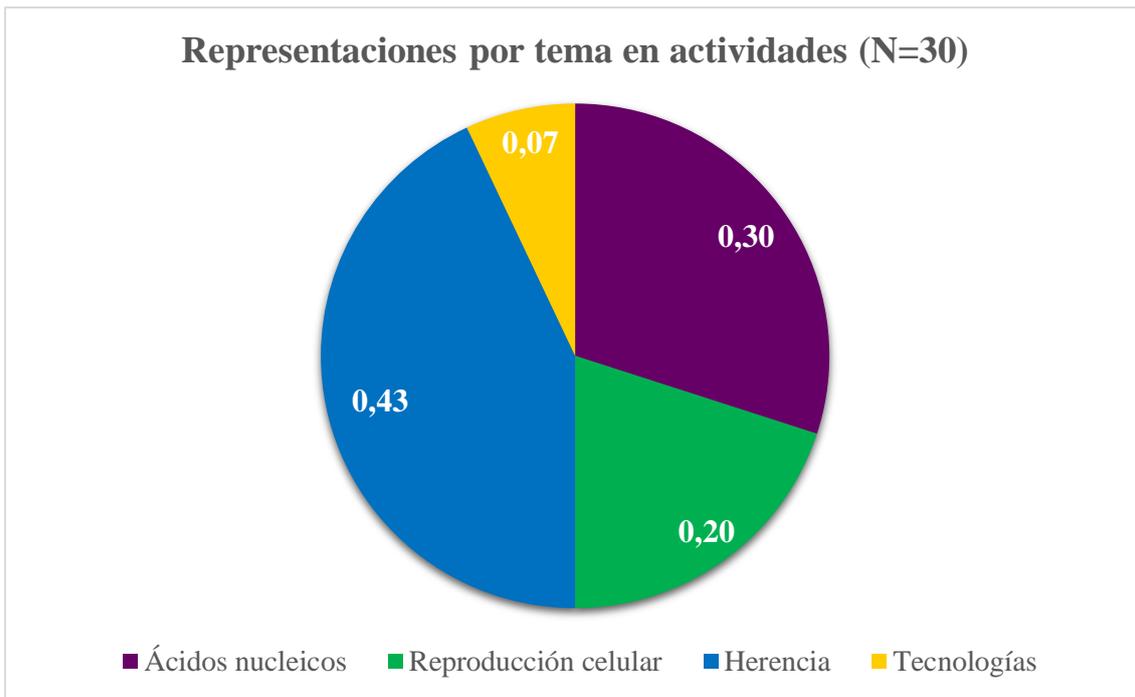


Figura 4. 19. Frecuencias relativas de representaciones por tema en explicaciones (N=30).

Como puede verse, del total de las actividades con RV, la mayoría correspondió al tema H (f: 0,43) y al tema AN (f: 0,30). Una proporción menor apareció en el tema RC (f: 0,20) y T (f: 0,07). Por lo tanto, en estos LT parecería otorgársele una mayor importancia al uso de RV para trabajar los contenidos de los temas H y AN.

4.3.2.2. Estudio 3. B. Distribución de las representaciones visuales según los tipos de representación en las actividades prácticas de genética de los libros de texto

Para avanzar en la caracterización de las RV presentes en las actividades prácticas de estos materiales, se consideraron los siguientes niveles de la variable *tipo de RV*: fotografías, imágenes técnicas, dibujos, diagramas y representaciones cuantitativas (Tabla 3.4, pp. 85). En la Figura 4.20 se muestran las frecuencias relativas de cada tipo de RV en la muestra de las actividades.

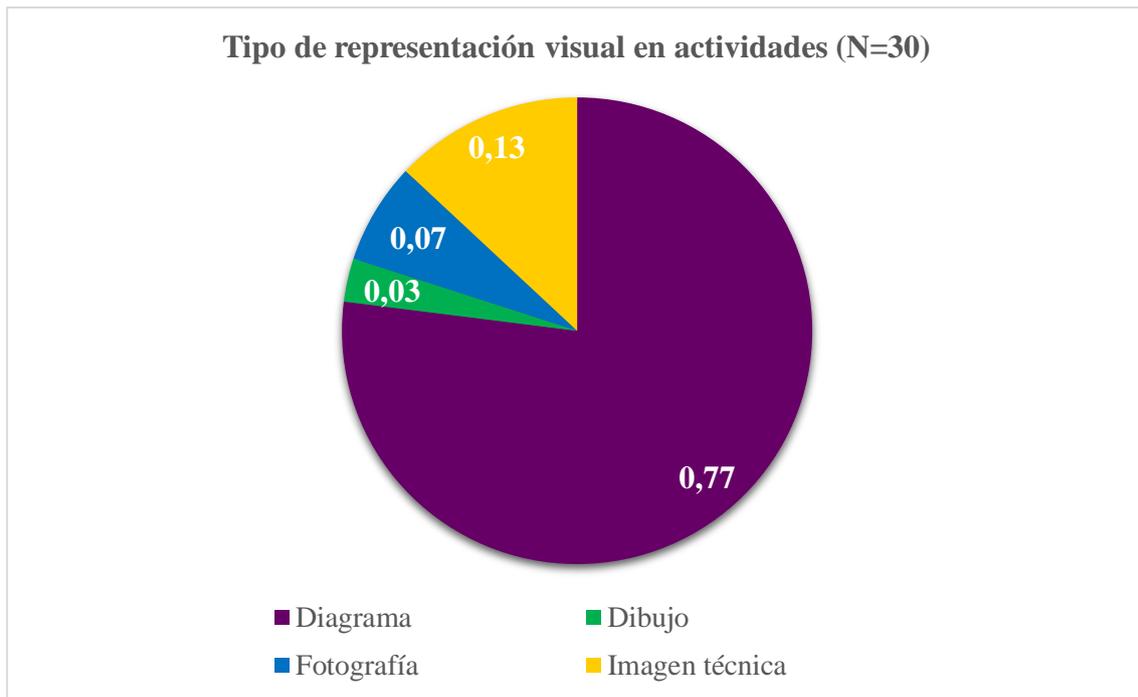


Figura 4. 20. Frecuencias relativas de tipo de representación en el total de las actividades con RV (N=30).

Como puede verse, una marcada mayoría de las RV analizadas correspondieron a diagramas (f: 0,77) y en una proporción menor a las imágenes técnicas (f: 0,13), fotografías (f:0,07) y dibujos (f: 0,03). Las representaciones cuantitativas estuvieron ausentes (f: 0).

Estos resultados dan cuenta de que en las actividades prácticas que incluyen RV se recurre preferentemente al tipo de RV que presenta la información de manera esquemática representando los contenidos y haciendo explícitas sus interrelaciones. Es decir, que las editoriales ponen el foco en las relaciones entre los conceptos a la hora de las actividades prácticas. Por el contrario, se incluyen pocas actividades con RV que reproducen los aspectos externos o internos de los fenómenos representados. La ausencia de representaciones cuantitativas manifiesta un enfoque cualitativo de la temática.

4.3.2.3. Estudio 3. C. Distribución de las representaciones visuales según los niveles de representación en las actividades prácticas de genética de los libros de texto

A continuación, se analizó la presencia de los diferentes niveles de representación en las RV utilizadas en las actividades. En la Figura 4.21 se muestra las frecuencias relativas obtenidas para cada nivel de representación en las RV de las actividades de la muestra.

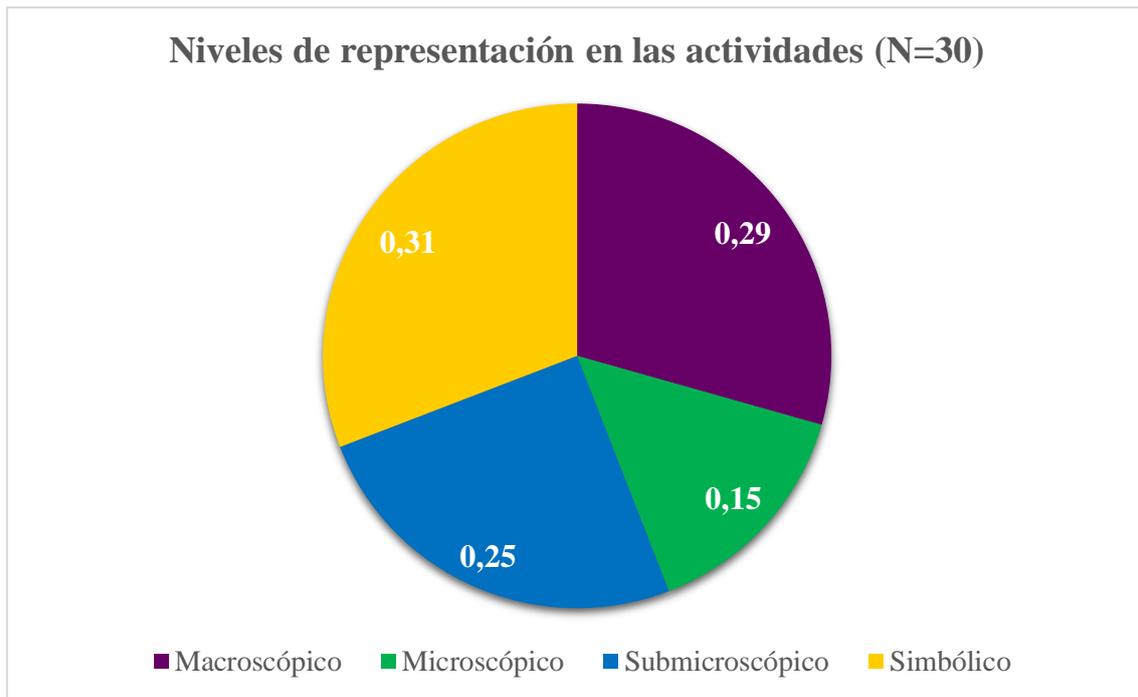


Figura 4. 21. Frecuencias relativas de aparición de cada nivel representacional respecto del total de niveles en las representaciones de las actividades prácticas (N=30).

Como puede observarse, los niveles de representación más frecuentes en la muestra fueron el simbólico (f: 0,31), el macroscópico (f: 0,29) y el submicroscópico (f: 0,25). El nivel microscópico (f: 0,15) estuvo menos referido que los demás. Esto da cuenta de que en esta muestra de RV aparecen todos los niveles de representación. En estudios posteriores se analiza de qué manera estos niveles se distribuyen en los distintos tipos de RV identificadas en las actividades prácticas y en relación con los diferentes temas centrales. A continuación, se continúa con el estudio general y se presentan los resultados obtenidos para el tipo de representación utilizado según el tema central.

4.3.2.4. Estudio 3. D. 1. Tipos de representación utilizados según los temas centrales en las actividades de genética de los libros de texto

Con el objetivo de conocer si existe una tendencia entre el tipo de RV y el tema en el que se utiliza, se realizó una tabla de contingencia para estas dos variables. En este análisis las fotografías fueron encontradas en igual proporción en las actividades de los temas AN (f: 0,03) y H (f: 0,03), una fotografía en cada caso, estando ausentes en los otros dos temas. Por lo tanto, en dichas actividades de H y AN se recurre a RV que representan los aspectos externos de los fenómenos en estudio, no siendo así en los temas RC y T. Las fotografías identificadas fueron de una población animal y otra de personas, respectivamente.

Por su parte, las cuatro imágenes técnicas fueron identificadas exclusivamente en el tema AN (f: 0,13). Las imágenes técnicas se caracterizan por representar aspectos internos de los fenómenos a través de herramientas tecnológicas. Esto parece ser importante en las actividades propuestas para el tema AN dada su alta frecuencia de aparición. En el caso particular del tema AN las imágenes técnicas corresponden a cariotipos o microfotografías de cromosomas, por ejemplo.

De manera análoga a lo que ocurrió con las imágenes técnicas, el único dibujo fue encontrado en una actividad del tema RC (f: 0,03). En este caso, fue el dibujo de un óvulo y los espermatozoides a su alrededor. La actividad consistió en preguntarles a los estudiantes qué tipos celulares identificaban en la RV.

Por último, los 23 diagramas aparecieron en las actividades de todos los temas. Sin embargo, la mayoría de estos, un total de 12, fue identificada en las actividades del tema H (f: 0,40) y una menor proporción en los demás temas, respectivamente 5 de RC (f: 0,17), 4 de AN (f: 0,13) y 2 de T (f: 0,07). Esto da cuenta de que los diagramas son versátiles en cuanto a los contenidos que pueden representar. Por ello, y por ser las RV que más aparecieron en las actividades prácticas, a continuación, se avanzó en un estudio en profundidad de este subgrupo con el fin de describir sus características representacionales en cuanto a qué tipo de relaciones representan y a qué niveles representacionales aluden. Estos resultados se presentan en el Estudio 2.2.E.

4.3.2.5. Estudio 3. D. 2. Niveles de representación utilizados según los tipos de representación en las actividades de genética de los libros de texto

Con el objetivo de conocer si todos los *tipos de RV* aludían a los mismos niveles de representación en las actividades prácticas con RV o, por el contrario, ciertos *tipos de RV* se encontraban asociados a ciertos niveles de representación, se analizó el cruce entre estas dos variables en dos etapas de igual manera a cómo se procedió con las RV de las explicaciones.

Primero, se calculó un *score* promedio para cada tipo de RV. Cada RV tuvo asociado un *score* entre uno y cuatro. A partir de los valores se *score* se obtuvo el *score* promedio para cada tipo de representación como se describió previamente en el apartado de Metodología. En la Tabla 4.6. se presenta el *score* promedio para cada tipo de RV identificada dentro de las actividades prácticas con RV.

Tabla 4. 6. *Score* de nivel promedio para cada tipo de RV (N=30).

Tipo de RV	Score promedio
Fotografía	1
Imagen técnica	1,25
Dibujo	1
Diagramas	2,61

Como puede verse, las fotografías (*score*: 1), las imágenes técnicas (*score*: 1,25) y los dibujos (*score*: 1) presentaron *scores* de nivel promedio cercanos a 1, es decir, refieren a un único *nivel de representación*. De manera opuesta, los diagramas, las RV más frecuentes dentro de las actividades con RV, mostraron un *score* de nivel promedio de 2,61. Este resultado da cuenta de que este tipo particular de RV combina al menos dos niveles de representación.

En segundo lugar, se realizó el cruce entre el *tipo de RV* y *nivel de representación* a través de una tabla de contingencia. Se identificaron algunas tendencias de acuerdo con el *tipo de RV* en cuestión. Las frecuencias que se presentan corresponden a la frecuencia de cada nivel en cada tipo de RV respecto del total de los cruces. Las fotografías presentaron el nivel macroscópico (*f*: 0,07), el dibujo correspondió al nivel microscópico (*f*: 0,03). Las imágenes técnicas fueron en su mayoría del nivel submicroscópico (*f*: 0,10). Como puede verse, en todos los casos este grupo de RV no combinaron niveles de representación. De manera opuesta, casi la totalidad de los diagramas hallados combinaron al menos dos niveles de representación. Estos resultados se profundizan a continuación en el Estudio 3.E.1.

4.3.2.6. Estudio 3.2.E. Caracterización de los diagramas en las actividades prácticas de genética los libros de texto

Con el objetivo de caracterizar el tipo de RV más frecuente en las actividades prácticas, los diagramas, se aplicaron las variables de análisis: tema, tipo y niveles de representación. A continuación, se presentan los resultados.

En primer lugar, se cuantificaron los diagramas en función de los temas centrales: ácidos nucleicos (AN), reproducción celular (RC), herencia (H) y tecnologías. En la Figura 4.22 se presenta la distribución de las actividades con RV en los diferentes temas.

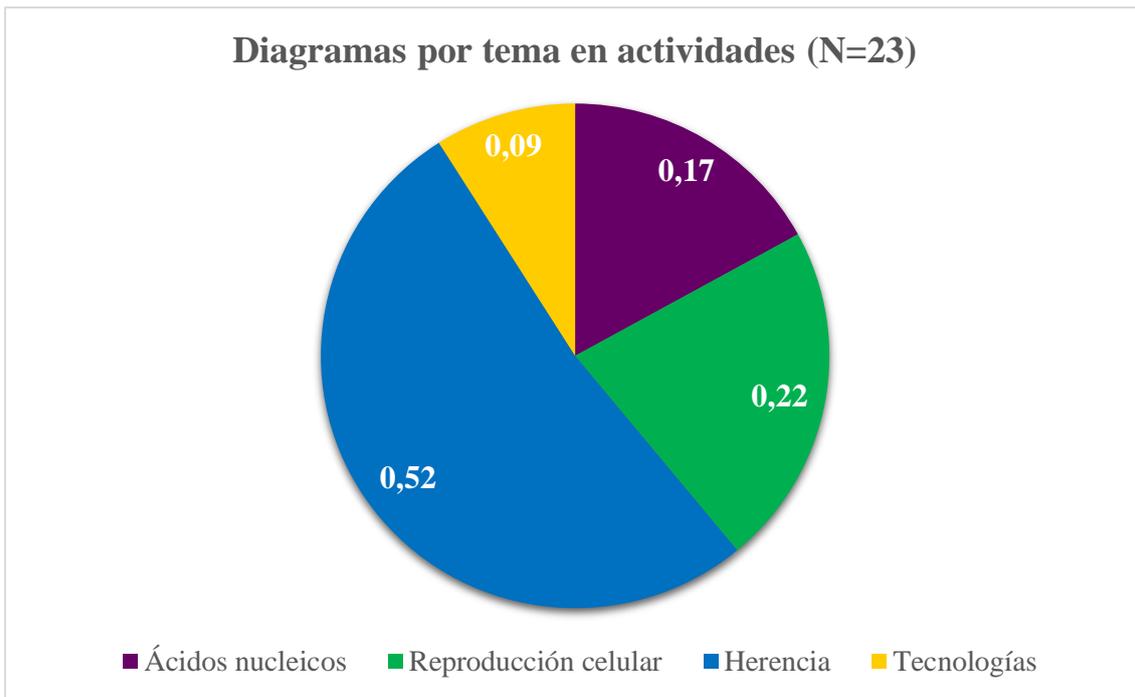


Figura 4. 22. Frecuencia relativa de diagramas por tema en actividades con RV (N=23).

Como puede verse, más de la mitad de los diagramas apareció en el tema H (f : 0,52). El resto, se distribuyó en una proporción menor entre los temas RC (f : 0,22), AN (f : 0,17), T (f : 0,09). Esto da cuenta que el tipo particular de RV, diagrama, es más utilizado en las actividades de herencia respecto de los otros tres temas.

Luego, los diagramas identificados dentro de las actividades prácticas con RV se clasificaron según su tipo: diagramas visuales de proceso, diagramas visuales de estructura o diagramas verbales tal y como se describió previamente en el Capítulo 3 (p. 85). En la Figura 4.23 se muestran las frecuencias relativas obtenidas para los tipos de diagramas en este subgrupo.

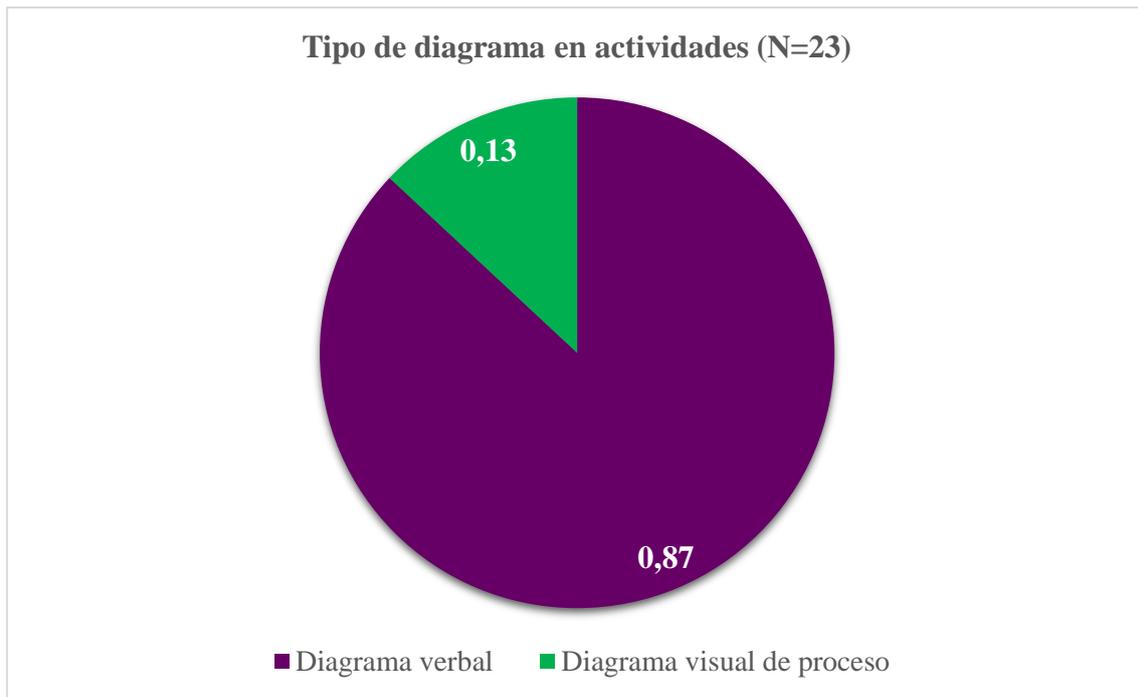


Figura 4. 23. Frecuencias relativas de tipo de diagrama en las actividades con RV (N=23).

Como puede verse, hay una tendencia marcada hacia el uso de los diagramas verbales (f : 0,87). Una proporción menor fueron diagramas visuales de proceso (f : 0,13). Mientras que los diagramas visuales de estructura estuvieron ausentes (f : 0). Esto pone de manifiesto que las editoriales se inclinan por el uso de RV que permitan representar las relaciones entre distintos conceptos a través de llaves, cuadros, flechas u otros, organizando espacialmente la información verbal. Esto permitiría inferir un especial interés en proponer actividades prácticas que fomenten la organización de la información verbal. En contraposición, son menos o nada elegidas las propuestas que incluyen diagramas con un mayor grado de iconicidad como los DVP y los DVE. Estas permitirían trabajar con los procesos, las estructuras, sus características físicas y sus cambios. De esta manera, el estudio de estos últimos aspectos queda relegado en las actividades prácticas.

Por último, se analizaron los niveles de representación presentes en los diagramas de las actividades con RV. Para cada diagrama se identificó si aludía al nivel macroscópico, microscópico, submicroscópico o simbólico. En la Figura 4.24 se presenta el gráfico que muestra las frecuencias relativas para cada nivel respecto del total de los niveles aludidos por todos los diagramas en estudio.

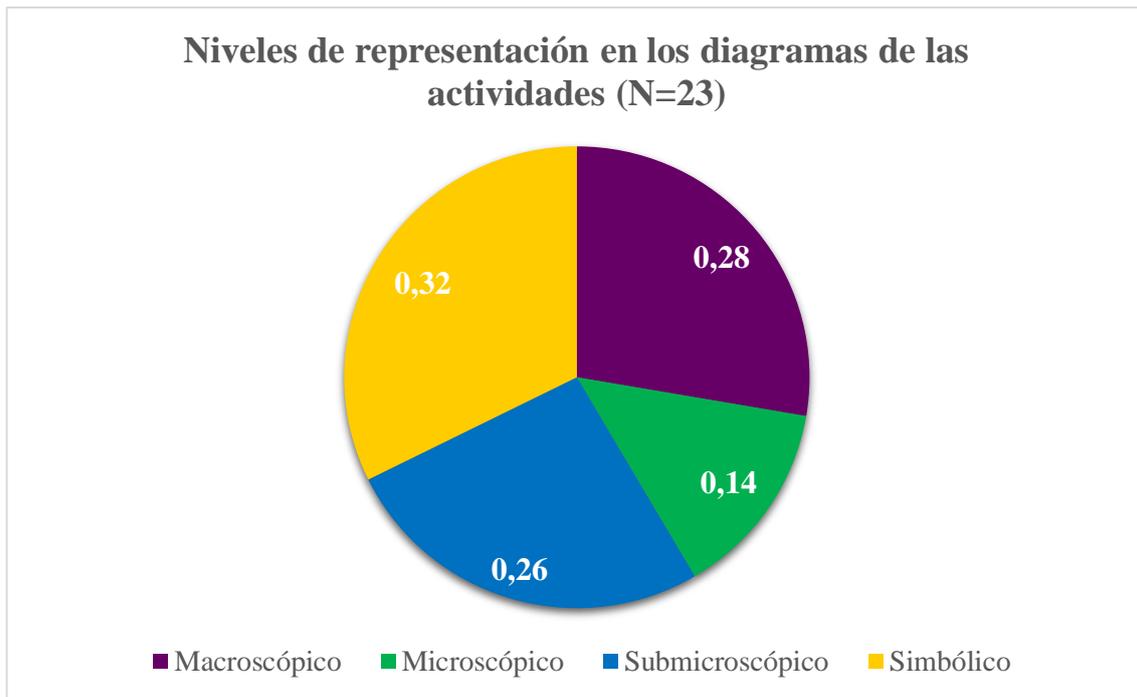


Figura 4. 24. Frecuencias relativas al total de niveles para cada nivel representacional en los diagramas de las actividades con RV (N=23).

Como puede verse, los niveles de representación más aludidos en las RV de la muestra fueron el nivel simbólico ($f: 28$), el nivel macroscópico ($f: 0,28$) y el nivel submicroscópico ($f: 0,26$). El nivel microscópico fue el que menos apareció representado ($f: 0,14$). Esto da cuenta de en la totalidad de las RV de las actividades prácticas se trabajan más fenómenos que son visibles a ojo desnudo o fenómenos de orden molecular, acompañados de representaciones de nivel simbólico; mientras que las representaciones de estructuras o fenómenos de orden microscópico son menos utilizadas.

Para avanzar en el estudio, se realizó una tabla de contingencia con el fin de identificar si existía alguna tendencia entre el tipo de RV utilizado en las actividades y el tema central al que aludían. Los DV aparecieron en las actividades de todos los temas. Sin embargo, se distribuyeron con distintas frecuencias. La mayoría apareció en las actividades del tema H ($f: 0,52$), y el resto se distribuyó en los temas RC ($f: 0,17$), AN ($f: 0,09$) y T ($f: 0,09$). Por su parte, los DVP aparecieron solo en las actividades prácticas de los temas AN ($f: 0,09$) y RC ($0,04$), estando ausentes en los temas H y T. Esto pone de manifiesto que, en esta muestra, se enfatiza el uso de diagramas que representan las relaciones entre los conceptos en cuestión en las actividades prácticas del tema H por encima del resto de los temas. Por otro lado, los diagramas que representan la evolución de los fenómenos en los cambios a través del tiempo, se utilizan en mayor medida en desarrollo de los temas AN y RC en esta muestra. Es decir, en las actividades con diagramas del tema H el foco estaría puesto en

revisar las relaciones entre los conceptos, mientras que las de los temas AN y RC, se orientarían a revisar los fenómenos estudiados y sus cambios a lo largo del tiempo.

Con el objetivo de conocer si todos los *tipos de diagramas* aludían a los mismos niveles de representación en las actividades prácticas con RV o, por el contrario, ciertos *tipos de diagramas* se encontraban asociados a ciertos niveles de representación, se analizó el cruce entre estas dos variables en dos etapas de igual manera a cómo se procedió con las RV de las explicaciones. En la Tabla 4.7. se presenta el *score* promedio para cada tipo de RV identificada dentro de las actividades prácticas con RV.

Tabla 4. 7. *Score* de nivel promedio para cada tipo de diagrama de las actividades prácticas (N=23).

Tipo de RV	Score promedio
Diagrama verbal	2,55
Diagrama visual de proceso	3

Como puede verse, los 20 DV tuvieron un *score promedio* de 2,55, mientras que los tres DVP tuvieron un *score promedio* de 3. Por lo tanto, los DV combinan en promedio al menos dos niveles de representación, mientras que los DVP combinan en promedio, tres niveles de representación.

Luego, se realizó el cruce entre el *tipo de diagrama* y *nivel de representación* a través de una tabla de contingencia. Se identificaron algunas tendencias de acuerdo con el *tipo de diagrama* en cuestión. Las frecuencias que se presentan corresponden a la frecuencia de cada nivel en cada tipo de RV respecto del total de los cruces. Los DVP combinaron dos, tres o cuatro niveles de representación. Se distribuyeron de manera homogénea en los tres casos y combinaron el nivel microscópico con el submicroscópico ($f: 0,04$), el nivel macroscópico con los anteriores ($f: 0,04$) y los cuatro niveles de representación ($f: 0,04$). Por su parte, los DV presentaron uno, dos, tres o cuatro niveles de representación. La mayoría presentó el nivel macroscópico combinado con el microscópico y el simbólico ($f: 0,30$) o el nivel macroscópico con el simbólico ($f: 0,26$). El resto, se distribuyeron en diferentes combinaciones.

Hasta aquí se han desarrollado los resultados obtenidos del análisis de las RV en las actividades prácticas identificadas en los capítulos de los LT en estudio. En suma, el Estudio 3 arrojó que son pocas las actividades que requieren el uso de una RV para su resolución respecto de la totalidad de actividades halladas en la muestra. A su vez, las actividades con RV no se distribuyen homogéneamente entre los temas, la mayor proporción fue hallada en

el tema H (0,44) seguida por AN (0,30), RC (0,20) y en menor proporción T (0,07). Los tipos de RV más utilizados en estas actividades fueron los diagramas (0,77), dejando muy por debajo el uso de los demás tipos de RV. Estos diagramas se desplegaron en todos los temas, mientras que las fotografías, de nivel macroscópico, estuvieron asociadas al tema AN y H; las imágenes técnicas, de nivel submicroscópico, al tema AN y el dibujo, de nivel microscópico, al tema RC. Dentro de los diagramas, la mayoría fueron DV (0,87) y el resto DVP (0,23). Los primeros se identificaron en todos los temas, pero en mayor proporción en el tema H (0,57), los segundos aparecieron solo en los temas AN y RC.

Por lo tanto, puede decirse que en esta muestra no se les otorga preponderancia a las actividades que implican el uso de una RV en su resolución. Esto daría cuenta de un uso limitado de las RV en donde no se explota su potencial como mediadoras en los procesos de resolución de ejercicios, problemas o realización de actividades experimentales. El hecho de que las RV aparezcan más frecuentemente en las explicaciones que en las actividades en las que los estudiantes intervienen, leen y elaboran RV podría llevar a una concepción errónea del rol de las RV en la construcción del conocimiento científico. Una idea en la cual se conciba a las RV como productos de una ciencia acabada, estática, que no es plausible de cuestionamiento. Por el contrario, propuestas que promuevan los diferentes tipos de actividades con RV abonarían a una noción en donde las RV son productos de una ciencia dinámica que evoluciona al mismo tiempo y de manera simbiótica con las RV de su campo.

En cuanto a las características de las RV más utilizadas en las actividades prácticas, puede decirse que hay una tendencia por aquellas actividades de lectura o intervención de RV que organizan conceptos, en detrimento de otras RV como aquellas que representan las características físicas, evolución de los fenómenos, composición de estructuras, o la relación cuantitativa entre variables. Esto plantea la existencia de un sesgo hacia ciertos tipos de RV asociados a las actividades y otros tipos de RV asociados a las explicaciones como se discutirá más adelante en el Estudio 3. Respecto de los temas, la cantidad de actividades con RV no es igual en todos los temas, siendo más frecuente en el tema H. Esto podría dar cuenta de una mayor necesidad de recurrir a RV en este tema respecto de los demás. En el siguiente apartado se presentan los resultados del análisis comparativo de las características de las RV presentes en las explicaciones versus aquellas presentes en las actividades prácticas de estos LT. Este análisis corresponde con el Estudio 4 de la tesis.

4.3.3. Estudio 4. Estudio comparativo entre las características de las RV de las explicaciones y actividades prácticas de genética de los libros de texto

En el apartado de Resultados del Estudio 2 (p. 100) se presentó una caracterización de las RV desplegadas en las explicaciones de genética en los libros de Biología que constituyeron la muestra de esta tesis. En el Estudio 3 (pp. 126), por su parte, se describieron las características de las RV que fueron identificadas en las actividades prácticas propuestas en los capítulos en estudio. En este apartado se presentan los resultados del Estudio 3.

En este estudio se realizó una comparación entre los resultados obtenidos en los Estudios 1 y 2, con el objetivo de identificar diferencias y similitudes entre las características de las RV de las explicaciones respecto de las que se despliegan en las actividades prácticas en los capítulos de genética de los cinco libros de texto. Para ello, se procedió tal y como se describió previamente en la Metodología (pp. 72). A continuación, se presentan los resultados obtenidos siguiendo el mismo orden que se consideró en la presentación de los estudios anteriores, a saber: distribución de las representaciones por tema, distribución según tipos de RV, distribución según los niveles de representación y luego, los cruces tipo de RV según los temas y tipo de RV y niveles de representación.

4.3.3.1. Estudio 4.A. Estudio comparativo de la distribución de las representaciones visuales según los temas centrales en las explicaciones y actividades prácticas de genética de los libros de texto

En primer lugar, se realizó la comparación entre la distribución de las representaciones por tema en el Estudio 1 y en el Estudio 2. Para ello, se tomaron los datos de los Estudios 2.A y 3.A y se construyó el gráfico que se presenta en la Figura 4.25.

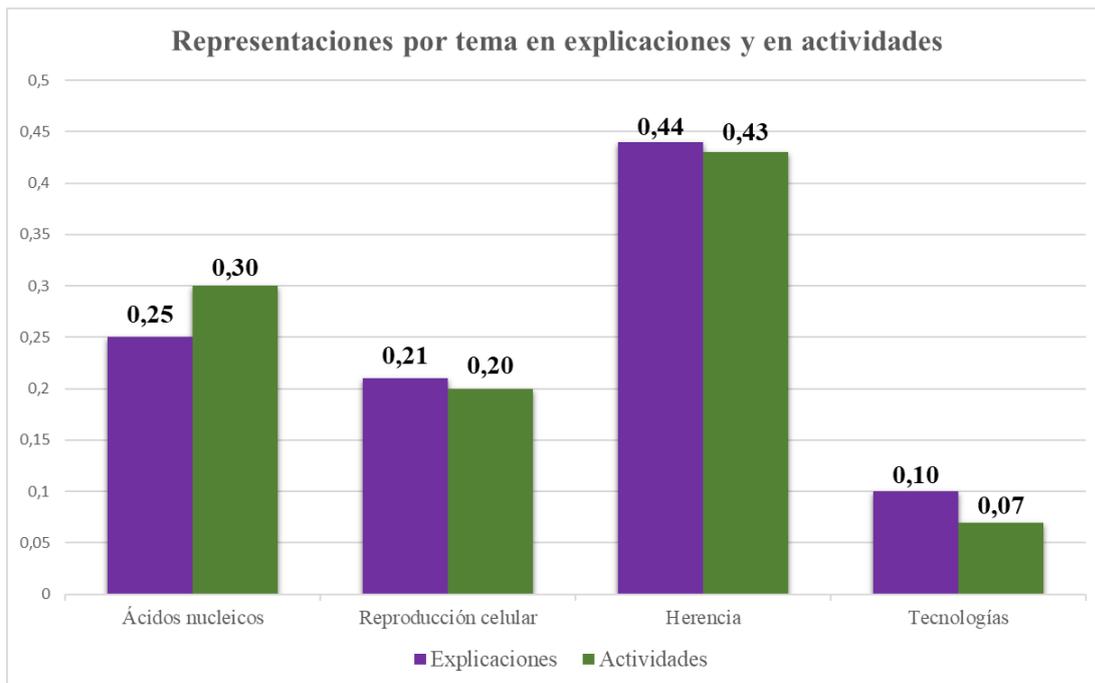


Figura 4. 25. Frecuencia relativa de representaciones por tema respecto del total en las RV de las explicaciones (N=289) y las actividades prácticas (N=30).

Como puede verse, en el caso de la cantidad de RV por tema, se obtuvieron perfiles de distribución similares en las explicaciones y las actividades. El mayor número de RV fue identificado en el tema H tanto en las explicaciones ($f: 0,44$) como en las actividades ($f: 0,43$). En segundo lugar estuvieron las RV para el tema AN, siendo algo superior la frecuencia en las actividades ($f: 0,30$) respecto de las explicaciones ($f: 0,25$). Una proporción menor de RV se identificó en las explicaciones ($f: 0,21$) y actividades ($f: 0,20$) del tema RC. Por último, para el tema T la frecuencia de aparición de RV fue menor al resto de los temas tanto en sus explicaciones ($f: 0,10$) como en sus actividades ($f: 0,07$). Esto pone de manifiesto que la proporción de RV utilizadas en cada uno de los temas, es similar cuando se analizan las explicaciones y las actividades prácticas con RV. Por lo tanto, puede decirse que en esta muestra se considera necesario un mayor uso de RV en en las explicaciones y actividades del tema H respecto de los demás. El hecho de que en el tema T se despliegue un tan bajo número de RV daría cuenta de un menor desarrollo de estos temas.

4.3.3.2. Estudio 4. B. Estudio comparativo de la distribución de las representaciones visuales según los tipos de representación en las explicaciones y actividades prácticas de genética de los libros de texto

En segundo lugar, se realizó la comparación de los tipos de RV utilizados en las explicaciones y en las actividades prácticas. Para ello, se tomaron los datos de los Estudios 2.B y 3.B y se construyó el gráfico que se presenta en la Figura 4.26.

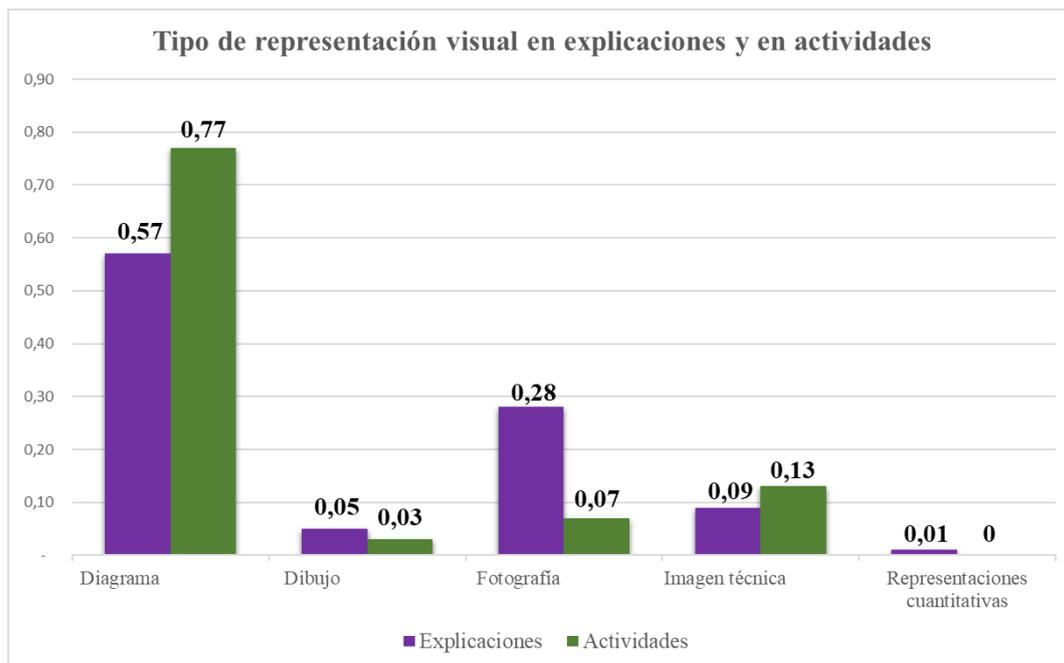


Figura 4. 26. Frecuencias relativas de tipo de representación en las RV de las explicaciones (N=289) y las actividades prácticas (N=30).

Como puede verse, tanto en las explicaciones como en las actividades prácticas los diagramas son el tipo de RV más utilizado respecto de los demás. Sin embargo, la proporción de este tipo particular de RV es mayor en las actividades ($f: 0,77$) que en las explicaciones ($f: 0,57$). Las fotografías fueron el segundo grupo más frecuente en las explicaciones ($f: 0,28$), mientras que en las actividades estuvieron menos representadas quedando en tercer lugar ($f: 0,07$). La proporción de imágenes técnicas fue algo superior en las actividades prácticas ($f: 0,13$) respecto de las explicaciones ($f: 0,09$). Los dibujos aparecieron poco representados en ambos casos ($f: 0,03$ y $f: 0,05$, respectivamente). Las representaciones cuantitativas estuvieron casi ausentes en ambos casos.

Estos resultados dan cuenta de que, en líneas generales, hay una coherencia entre las RV desplegadas en las explicaciones respecto de las propuestas en las actividades prácticas. A su vez, se identifica una marcada tendencia por ofrecer a los estudiantes RV que representan contenidos conceptuales de manera esquemática, explicitando sus interrelaciones, es decir, utilizando diagramas de diversos tipos tanto en las explicaciones

como en las actividades. Por último, las fotografías se utilizan en mayor proporción en las explicaciones y no tanto en las actividades prácticas. Esto da cuenta de que en esta muestra de libros, las fotografías son utilizadas con fines explicativos y son poco empleadas para el planteo de ejercicios o situaciones problemáticas.

4.3.3.3. Estudio 4.C. Estudio comparativo de la distribución de las representaciones visuales según los niveles de representación en las explicaciones y actividades prácticas de genética de los libros de texto

En tercer lugar, se realizó la comparación de los niveles de representación que aparecieron en las RV de las explicaciones y de las actividades prácticas. Para ello, se tomaron los datos de los Estudios 2. C y 3.C y se construyó el gráfico que se presenta en la Figura 4.27.

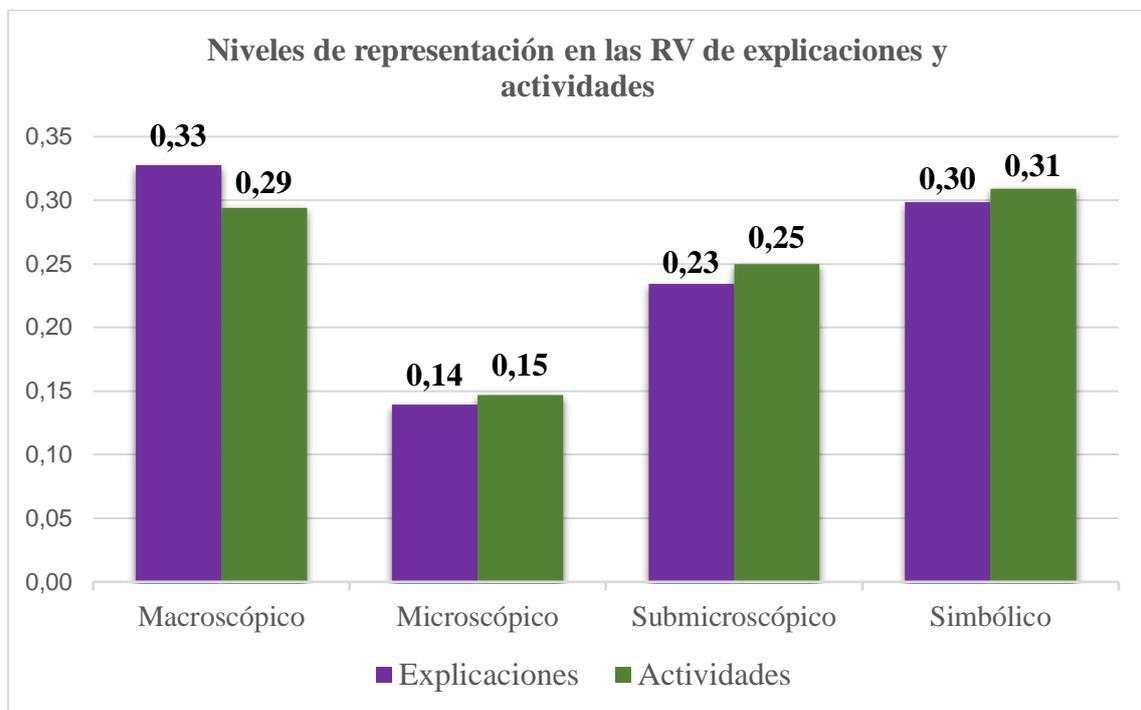


Figura 4. 27. Frecuencias relativas de nivel de representación en las RV de las explicaciones (N=289) y las actividades prácticas (N=30).

Como puede verse, las tendencias observadas son similares tanto para las explicaciones como para las actividades prácticas, siendo los niveles representacionales más aludidos el macroscópico y simbólico y luego, el submicroscópico y microscópico. Esto da cuenta de que, en ambas secciones de estos LT, las representaciones de estructuras y procesos que serían sólo visibles bajo un microscopio y que pertenecen a los niveles de

organización célula u organela, son las menos utilizadas. En segundo lugar, se encontraron aquellas representaciones de estructuras que pueden ser identificadas con técnicas analíticas y que pertenecen al nivel de organización de las moléculas. Las estructuras y fenómenos más representados fueron aquellas que hipotéticamente podrían ser vistas a ojo desnudo, con anteojos o lupas; y que pertenecen al nivel de organización población, individuo, sistema de órganos, órganos o tejidos. A su vez, también fueron frecuentes las representaciones de los fenómenos a través de símbolos arbitrarios como símbolos químicos, términos técnicos, entre otras.

Por lo tanto, habría una coherencia entre los niveles de representación desplegados en las explicaciones respecto de aquellos que aparecen en las actividades prácticas. Es decir que tanto en las explicaciones como en las actividades prácticas es necesario trabajar con representaciones que aludan a diferentes niveles de representación. Esto resulta lógico si se tiene en cuenta que, como se dijo anteriormente, la genética estudia fenómenos que involucran procesos y estructuras de nivel molecular y celular, que producen efectos en los individuos y las poblaciones. Por otro lado, cabe notar la marcada presencia del nivel simbólico en las representaciones, lo que da cuenta de que en la enseñanza de la genética es necesario trabajar con términos técnicos y símbolos arbitrarios que solo adquieren significado en el contexto de inserción de la disciplina en cuestión, tanto desde el punto de vista de las explicaciones como en las actividades.

4.3.3.4. Estudio 4. D. 1. Estudio comparativo de los tipos de representación utilizados según los temas centrales en las explicaciones y actividades prácticas de genética de los libros de texto

A continuación, se realizó la comparación de los tipos de representación utilizados según los temas centrales en las explicaciones y actividades prácticas. Para ello, se tomaron los datos de los Estudios 2.D.1 y 3.D.1 y se establecieron las comparaciones para cada caso.

Se observó que las fotografías aparecen vinculadas preponderantemente a las explicaciones y las actividades del tema H. Por su parte, tanto en las explicaciones como en las actividades prácticas propuestas para abordar el tema AN, hay una predilección por las imágenes técnicas. Los dibujos se encontraron asociados a las explicaciones y las actividades del tema RC. Los diagramas son el tipo de RV que se extiende tanto en las explicaciones como en las actividades prácticas de todos los temas.

Esto daría cuenta de una tendencia a utilizar cierto tipo de RV y, por lo tanto, enfatizar en la representación de ciertos aspectos del fenómeno representado y no en otros, según el tema que se esté desarrollando. Por ejemplo, el uso de fotografías en el tema H da cuenta

de que, tanto en las explicaciones como en las actividades prácticas, se utilizan RV que reproducen todos los elementos externos del fenómeno representado. Lo que estaría dando cuenta de una enseñanza de la herencia que basa sus explicaciones y actividades prácticas en aspectos fenotípicos más que en los aspectos genotípicos, celulares y moleculares involucrados en dichos fenómenos.

Por su parte, el uso de imágenes técnicas asociado al tema AN da cuenta de que en este tema se recurrió RV que reproducen los elementos internos del fenómeno representado a través de diversos medios técnicos, generalmente, microfotografías. Esto permite inferir que tanto en las explicaciones como en las actividades prácticas del tema AN se pone énfasis en las características de las estructuras celulares que intervienen en los procesos de los ácidos nucleicos. Por ello, aparecen microfotografías que ilustran la forma de los cromosomas, las características del núcleo, entre otros aspectos. Sin embargo, este tipo de RV no está asociada al desarrollo del tema RC en el cual también son importantes estas estructuras.

En cuanto a los dibujos, fueron pocos y su utilización se halló asociada al tema RC. Es decir que, las representaciones icónicas selectivas que muestran una correspondencia analógica con su referente fueron utilizadas en las explicaciones y actividades del tema RC. Por ejemplo, para ilustrar las características de las células sexuales.

Por último, el uso extendido de los diagramas tanto en las explicaciones como en las actividades prácticas en la mayoría de los temas centrales da cuenta del rol preponderante que tiene este tipo de RV a la hora de representar los contenidos de genética. Es por eso por lo que se realizó un estudio en profundidad de los diagramas identificados en ambas secciones de estos LT y los resultados comparativos se presentan en el Estudio 4. E. 1.

4.3.3.5. Estudio 4.D.2. Estudio comparativo de los niveles de representación utilizados según los tipos de representación en las explicaciones y actividades prácticas de genética de los libros de texto

Luego, se realizó la comparación de los niveles de representación utilizados según los tipos de representación en las explicaciones y actividades prácticas. Para ello, se tomaron los datos de los Estudios 2.D.2 y 3.D.2 y se establecieron las comparaciones para cada caso.

La totalidad de las fotografías identificadas en las explicaciones y en las actividades aludieron al nivel macroscópico. Las imágenes técnicas de las explicaciones refirieron a los niveles microscópico ($f: 0,54$) o submicroscópico ($f: 0,31$), mientras que en las actividades se hallaron imágenes técnicas que aludieron al nivel submicroscópico. Los

dibujos identificados en las explicaciones aludieron preponderantemente al nivel macroscópico ($f: 0,64$), y en menor medida a los niveles submicroscópico ($f: 0,21$) o microscópico ($f: 0,14$). En cambio, todos los dibujos hallados en las actividades presentaron exclusivamente el nivel microscópico. Los resultados para los diagramas se presentan en el siguiente apartado.

Estos resultados complementan los anteriores. Las fotografías, extendidas en las explicaciones y actividades del tema H, fueron de nivel macroscópico, lo que indica que la enseñanza se centra en los aspectos fenotípicos más que en los aspectos genotípicos, celulares y moleculares involucrados en dichos fenómenos. Las imágenes técnicas, muy utilizadas en las actividades y explicaciones del tema AN, representan estructuras de orden celular o subcelular, lo que da cuenta de un énfasis en las características de las estructuras celulares, organelas y moléculas que intervienen en los procesos de los AN. Por último, los dibujos, hallados las explicaciones y actividades de RC, aludieron a estructuras de orden celular ya que se utilizaron para representar, por ejemplo, las características externas de las células.

4.3.3.6. Estudio 4. 1. E. 1. Estudio comparativo de la caracterización de los diagramas de las explicaciones y de las actividades prácticas de genética de los libros de texto

Por último, como se mencionó anteriormente, se compararon los resultados obtenidos en los estudios en profundidad de los diagramas de las explicaciones y de las actividades prácticas, Estudio 2.E.2 y 3.E.1, respectivamente.

Cuando se analizó la distribución de los diagramas según los temas en las explicaciones y en las actividades prácticas, se encontró que los diagramas se distribuyeron en proporciones similares en ambas secciones de los LT para cada tema. La proporción de RV en cada uno de los temas tanto para las explicaciones como para las actividades prácticas se distribuyó mostrando un perfil similar, mayoría de RV en el tema H, seguido por H, RC, AN y T. Por lo tanto, para la distribución de diagramas por temas se conserva la tendencia general obtenida para la distribución de las RV por tema. Esto coincide con lo esperado si se tiene en cuenta que los diagramas son la parte mayoritaria de las RV totales.

Cuando se estudió la naturaleza de dichos diagramas de acuerdo con los tres subtipos: DV, DVE y DVP, se observó una distribución distinta de estos al comparar lo hallado en las explicaciones versus las actividades prácticas. En las explicaciones, prevalecieron los

DVP seguidos por los DVE y en menor medida, los DV. Mientras que, en las actividades, los DVE estuvieron ausentes y los DV prevalecieron fuertemente por sobre los DVP. Esto pone de manifiesto que la naturaleza de los diagramas, y por lo tanto de los contenidos, que se despliegan en la sección de explicaciones diferente de la naturaleza de los diagramas presentes en las actividades prácticas.

En cuanto a los niveles de representación aludidos por los diagramas, tanto aquellos desplegados en las explicaciones como los utilizados en las actividades, combinaron al menos dos niveles de representación. En el caso de los DVE aparecieron exclusivamente en las explicaciones y estuvieron ausentes en las actividades. La mayoría de estos combinó dos niveles de representación: el nivel submicroscópico y el nivel simbólico ($f: 0,73$).

Por su parte, los DV de las explicaciones, combinaron generalmente los cuatro niveles, macroscópico, microscópico, submicroscópico y simbólico ($f: 0,19$), o tres niveles: macroscópico, submicroscópico y simbólico ($f: 0,19$). Mientras que los DV de las actividades presentaron uno, dos, tres o cuatro niveles de representación; la mayoría de ellos aludió al nivel macroscópico combinado con el microscópico y el submicroscópico ($f: 0,30$) o el nivel macroscópico con el simbólico ($f: 0,26$).

Por último, los DVP de las explicaciones, que fueron el tipo de diagrama más frecuente representando el 50% de la muestra, combinaron el nivel macroscópico con el simbólico ($f: 0,32$); el nivel submicroscópico con el simbólico ($f: 0,16$); los niveles macroscópico, microscópico y simbólico ($f: 0,16$); los niveles microscópico, submicroscópico y simbólico ($f: 0,14$) y los niveles macroscópico, submicroscópico y simbólico ($f: 0,11$). Los DVP de las actividades combinaron dos, tres o cuatro niveles de representación. Se distribuyeron de manera homogénea en los tres casos y combinaron el nivel microscópico con el submicroscópico ($f: 0,04$), el nivel macroscópico con los anteriores ($f: 0,04$) y los cuatro niveles de representación ($f: 0,04$).

Por lo tanto, se halló una diferencia en las relaciones representadas a través de los diagramas en las explicaciones y en las actividades prácticas. Mientras que en las explicaciones el énfasis está puesto en la representación de la evolución de los fenómenos a través del tiempo y los cambios de sus partes, a través de los DVP; en las actividades se prioriza el trabajo con DV. Es decir, que se presta especial atención a las relaciones entre los conceptos y por ello, se ofrece a los estudiantes oportunidad de trabajar con tablas o mapas conceptuales. Esto daría cuenta de que en las actividades el foco está puesto en tareas que promuevan la organización de los conceptos, mientras que en las explicaciones los diagramas son utilizados mayormente para representar procesos o estructuras.

Hasta aquí se ha presentado el Estudio 4 que consiste en una comparación entre los resultados obtenidos en las explicaciones y las actividades prácticas de la muestra en estudio. Se identificaron ciertas similitudes y algunas diferencias entre las RV desplegadas en ambas secciones de estos LT.

La tendencia hallada muestra que se conserva para la cantidad de RV utilizadas para cada uno de los temas, es decir, que tanto en las actividades prácticas como en las explicaciones se le otorgaría una importancia relativa similar de acuerdo con el siguiente perfil: mayoría en el tema H, seguido por AN, RC y por último, el tema T. Lo que daría cuenta de que el tema H es relevante para Biología de segundo año y que su enseñanza está mediada por un alto número de RV.

En síntesis, pudo verse que las fotografías fueron halladas asociadas a las explicaciones y actividades del tema H, aludiendo al nivel macroscópico. Por su parte, las imágenes técnicas, de nivel microscópico o submicroscópico, estuvieron asociadas a las explicaciones y actividades prácticas del tema AN. A su vez, los dibujos, de nivel macroscópico, microscópico o submicroscópico, se identificaron fundamentalmente en las explicaciones y actividades prácticas del tema RC. Sin embargo, el uso de los diagramas fue diferente en las explicaciones respecto de las actividades prácticas. En las explicaciones prevalecen los DVP y los DVE, mientras que, en las actividades, los DV. Es decir que en un caso se prioriza representar procesos o estructuras, mientras que en las actividades el foco está puesto en la representación verbal de los conceptos y sus relaciones.

4.4. Resumen de resultados

A continuación, se presenta un listado de los resultados más significativos de esta investigación.

Parte I_Estudio 1

- Los contenidos del eje “La información genética” son extensos y corresponden con los cuatro temas centrales descritos en la literatura: ácidos nucleicos (AN), reproducción celular (RC), herencia (H) y tecnologías (T).
- El DC tiene pocas referencias explícitas al uso de las RV y estas son ambiguas.
- El DC sugiere realizar actividades con RV de lectura y en menor medida, de elaboración, pero no de intervención.

Parte II_ Estudio 2

- En las explicaciones se identificaron 289 RV. La mayoría en el tema H, seguido por AN, RC y menos en el tema T. El tipo de RV más frecuente fueron los diagramas, seguidos por las fotografías, imágenes técnicas y dibujos. Estas aludieron a diferentes niveles representacionales, algunas los combinaron y otras no.
- El tipo de RV en las explicaciones varió según el tema: fotografías en tema H; imágenes técnicas en AN y dibujos en RC y los diagramas en todos los temas. Los niveles de representación variaron según el tipo de RV: fotografías (macroscópico); dibujos (macroscópico, submicroscópico o microscópico); imágenes técnicas (microscópico o submicroscópico) y diagramas (combinaron entre 2 y 4 niveles).
- Las fotografías, todas de nivel macroscópico, fueron el segundo tipo más frecuente de RV y fueron muy utilizadas en el tema H. Los diagramas, combinan niveles y fueron el tipo de RV más frecuente ya que aparecen en todos los temas. La mayoría de los diagramas fueron DVP (presentes en todos los temas), seguidos por DV (asociados al tema H y combinan los cuatro niveles) y por los DVE (asociados al tema AN y a los niveles submicroscópico y simbólico).
- La mayoría de los DVP fueron identificados en el tema H (combinando nivel simbólico y macroscópico) seguido por RC (combinaron nivel microscópico, submicroscópico y simbólico), AN (combinando nivel submicroscópico y simbólico) y T (combinaron niveles macro, micro y simbólico).

Parte II_ Estudio 3

- Solo 38 del total de las 461 actividades incluyó explícita y necesariamente el uso de una RV (8,24% de las actividades). De las 38 actividades con RV, la mayoría correspondió a tareas de lectura o de intervención y una proporción menor a tareas de elaboración ($f: 0,21$).
- De las 30 actividades con RV, 16 fueron de lectura y 14 de intervención. Cada actividad incluyó una RV. La mayoría de las actividades con RV se halló en el tema H, seguido por AN, RC y menos en el tema T. El tipo de RV más frecuente fueron los diagramas, seguidos por las imágenes técnicas, fotografías y dibujos. Estas aludieron a diferentes niveles representacionales, algunas los combinaron y otras no.
- Los tipos de RV más utilizados en estas actividades fueron los diagramas (23), dejando por debajo el uso de los demás tipos de RV (7). El tipo de RV en las actividades prácticas varió según el tema: fotografías en temas AN y H; imágenes técnicas en AN; dibujo en RC y los diagramas en todos los temas prevaleciendo

en H. Los niveles de representación variaron según el tipo de RV: fotografías (macroscópico); dibujo (microscópico); imágenes técnicas (submicroscópico) y diagramas (combinaron entre 2 y 4 niveles).

- La mayoría de los diagramas identificados en las actividades prácticas fueron del tema H, seguido por RC, AN y T. La mayoría de los diagramas fueron de tipo DV (mayoritariamente tema H y combinando el simbólico con otros) y el resto fueron DVP (presentes en los temas AN y RC combinando niveles). No se identificaron DVE.

Parte II_ Estudio 4

- La distribución de las RV en cada tema fue similar en las explicaciones y en las actividades prácticas: mayoría de RV en el tema H, seguido por AN, RC y menos en el tema T. El tipo de RV más frecuente en ambos casos fueron los diagramas y los menos frecuentes los dibujos y las representaciones cuantitativas. Las fotografías abundaron en las explicaciones, pero fueron poco utilizadas en las actividades.
- El tipo de RV varió según el tema tanto en las explicaciones como en las actividades, arribando a resultados similares. Las fotografías en el tema H; las imágenes técnicas en AN; y los dibujos en RC y los diagramas en todos los temas. Se hallaron similitudes en las explicaciones y las actividades prácticas respecto de los niveles de representación según el tipo de RV solo en el caso de las fotografías (macroscópico) y las imágenes técnicas (submicroscópico).
- La distribución de los diagramas por tema fue similar en las explicaciones y en las actividades: tema H, seguido por RC, AN y T. Los tipos de diagramas fueron diferentes en las explicaciones respecto de las actividades. En las explicaciones abundaron los DVP y los DVE, mientras que en las actividades los DV fueron los más frecuentes.

CAPÍTULO 5:

CONCLUSIONES Y

PERSPECTIVAS

5.1. Introducción

En este capítulo se presentan las conclusiones de la investigación realizada en el marco de esta tesis. Como corolario, se desarrollan las posibles implicancias para el trabajo con RV en las clases de genética, particularmente con libros de texto, y algunas recomendaciones para llevar al aula. Por último, se comentan las perspectivas a futuro en esta línea de investigación.

5.2. Conclusiones

El propósito de esta tesis fue analizar la naturaleza y usos de las representaciones visuales de genética en libros de biología de secundaria y su rol en el diseño curricular, para conocer sus características en vistas de considerarlas al momento de enseñar con estos materiales. Luego de haber realizado los estudios correspondientes se identificaron los contenidos de genética y los lineamientos generales para el uso de representaciones visuales del diseño curricular y se caracterizaron las representaciones visuales de genética de las explicaciones y de las actividades prácticas de los libros de texto, lo que permitió conocer particularidades que merecen ser tenidas en consideración a la hora de planificar la enseñanza de esta disciplina. Así, esta tesis, constituye un aporte a la didáctica de la biología ya que proporciona criterios plausibles de ser utilizados para realizar una vigilancia representacional sobre los libros de texto, lo cual resulta de utilidad al profesorado para pensar la enseñanza de la genética con representaciones visuales mediada por estos materiales didácticos. A continuación, se postulan las principales conclusiones derivadas de este trabajo de investigación y, a partir de ellas, se esbozan algunos aportes para la enseñanza de genética con representaciones visuales.

En primer lugar, los lineamientos del diseño curricular para el eje “La información genética” presentan contenidos correspondientes a los cuatro grandes temas delimitados en el marco teórico: ácidos nucleicos, reproducción celular, herencia y tecnologías de los ácidos nucleicos. Estos contenidos coinciden con los encontrados en los capítulos de los libros de texto. Asimismo, son similares a los relevados por otros investigadores al estudiar planes de estudio y libros de Biología de la escuela secundaria de otras regiones tal como se desarrolló en Capítulo 2 (Stern et al., 2017). Es decir, que parece existir una tradición común respecto de los contenidos de genética a enseñar. Otro aspecto por señalar es que, tanto en el diseño curricular como en los libros, pensados para estudiantes de entre 13 y 14 años, se incluye una extensa lista de contenidos de naturaleza ontológica compleja dentro del eje temático en cuestión. Esta complejidad debe ser tenida en cuenta al momento de seleccionar y secuenciar los contenidos para su enseñanza.

En segundo lugar, respecto de los tipos de representaciones que debieran emplearse en la enseñanza de la genética, los lineamientos del diseño curricular son pocos y están enunciados de manera inespecífica. Así, aluden de manera general al uso de gráficos, cuadros, tablas de datos, ilustraciones y árboles filogenéticos. A su vez, no se indica de manera explícita la definición de cada tipo de representación visual con lo cual, queda a la libre interpretación de cada docente pudiendo llevar a confusiones y diferentes interpretaciones. Dado que la forma en que se enuncian los diferentes tipos de representación resulta ambigua, se dificulta la lectura del documento y su posterior implementación en el aula. Así, el hecho de que en el diseño curricular no se explicita la relevancia de las representaciones visuales en la construcción del conocimiento disciplinar, tratándolas de manera superficial podría ser interpretado como una invitación a los docentes a utilizar libremente distintas representaciones, o bien, podría traducirse en un uso poco reflexivo en el aula. En consecuencia, es menester realizar una lectura detenida de estos documentos atendiendo a estos puntos. Los aportes teóricos de esta tesis podrían ser considerados para construir criterios *ad-hoc* para la toma de decisiones en cuanto a los diferentes tipos de representaciones visuales a utilizar para cada tema, los niveles de representaciones aludidos en cada una y el modo de utilización de las mismas, ya sea como parte de explicaciones o de actividades prácticas, dependiendo el objetivo didáctico que se persiga.

Adicionalmente, los tipos de representación recomendados por el diseño curricular son diferentes a los que se hallaron en los libros de texto. Y en estos últimos, las representaciones visuales de las explicaciones son de diferente tipo respecto de las utilizadas en las actividades prácticas. Si bien en ambos casos abundan los diagramas, en las explicaciones fueron mayoritariamente diagramas visuales de proceso y de estructura, que representan a través de elementos visuales procesos o estructuras, mientras que en las actividades los diagramas fueron los diagramas verbales, donde el foco está puesto en la representación verbal de los conceptos y sus relaciones. Por su parte, las fotografías se utilizan mucho en las explicaciones y poco en las actividades. Los gráficos están ausentes en ambas secciones. Estas distinciones halladas entre el diseño y los libros y entre las diferentes secciones de los libros, merecen ser atendidas en el caso de utilizar estos materiales. Para luego decidir si es necesario complementar la propuesta educativa incluyendo representaciones visuales que muestren otros aspectos de los fenómenos representados tanto en el momento de explicar como a la hora de problematizar las ideas.

En tercer lugar, en cuanto al uso de las representaciones visuales, los libros de texto exponen 289 representaciones visuales en el desarrollo de las explicaciones y sólo 30 representaciones visuales como parte de las actividades. Esto da cuenta de una utilización de las representaciones visuales preferentemente como mediadoras de las explicaciones

en desmedro de sus posibles usos como instrumentos problematizadores. Estas 30 representaciones visuales formaron parte de actividades de lectura (16) o de intervención (14). Una parte menor de actividades involucró tareas de elaboración de una nueva representación visual (8). Mientras que los lineamientos del diseño curricular proponen un procesamiento de representaciones a través de actividades de lectura y elaboración. Es decir que, el abordaje en los libros de texto es diferente al propuesto por el diseño curricular, incluyendo actividades de intervención las cuales no son sugeridas por el documento ministerial. Por otro lado, algunas actividades con representaciones visuales no se han tenido en consideración en el análisis por no presentar una consigna que explicita su uso para su resolución de la tarea da cuenta de una concepción de las representaciones visuales como elementos decorativos o secundarios y no como elementos para construir conocimientos. Esto tampoco está contemplado en el diseño curricular.

Considerando que en las actividades de intervención se presenta la representación visual incompleta y la tarea consiste en completarla, podrían ser de utilidad a la hora de identificar sectores, estructuras o partes de procesos, entre otros. En biología, este tipo de procedimientos resulta fundamental, aunque no esté mencionado en el diseño curricular. De manera opuesta, los libros de texto no incluyen prácticamente actividades de elaboración de representaciones visuales. Esto pone de manifiesto una carencia respecto de lo planteado por el diseño curricular. Por lo tanto, sería recomendable su incorporación en forma de actividades complementarias diseñadas por el profesorado. Más aún, considerando que este tipo de actividades promueve la generación de un RV nueva, lo que se acerca a la concepción de las representaciones visuales como elementos epistémicos mediadores de la construcción de nuevos conocimientos.

Tanto el diseño curricular como los libros de texto proponen un uso limitado de las representaciones visuales que reduce las posibilidades de trabajo orientado a una mejor comprensión de los temas. Las actividades con imágenes son un contexto excepcional en el que se puede observar cómo se trabaja realmente la competencia gráfica o visual a través de un libro de texto. Por tanto, supone un aspecto relevante sobre el que establecer criterios para seleccionar el libro de texto que mejor promueva esta competencia específica. En este caso, se observa una limitada presencia de actividades con representaciones visuales y, por lo tanto, pocas posibilidades de promover la alfabetización visual en los estudiantes. Además, tampoco se trabajan de manera equilibrada los tres tipos de actividades, lo que sería un criterio de elegibilidad de un buen libro de texto (López Manjón y Postigo, 2016). Por el contrario, se proponen actividades de baja demanda cognitiva, lo que coincide con resultados hallados previamente (Sandoya, 2006). Por lo tanto, sería recomendable que los y las docentes que

seleccionaron alguno de estos libros para su trabajo diario en las aulas, incorporen actividades de lectura, intervención y elaboración de representaciones a través de materiales complementarios. A su vez, promover la apropiación de las representaciones visuales, construcción de otras nuevas y reconstrucción de las representaciones internas, abonando a una alfabetización visual entendida en términos amplios.

En suma, a pesar de que la literatura concibe a las imágenes como una parte importante de la manera de representar y aprender el conocimiento científico, (López Manjón y Postigo, 2016), el diseño curricular no enfatiza en su implementación y los libros de texto analizados no responden a esta recomendación, incluyendo escasas representaciones visuales en las actividades. Esto podría llevar a una lectura por parte de los docentes en donde se considere a las RV exclusivamente como herramientas para la exposición de contenidos y no para la problematización de los mismos. Y así, promover en el estudiantado una idea errónea de las representaciones visuales como productos acabados y no como herramientas epistémicas (Diez de Tancredi et al., 2004; Vega Ecabo, 2005; Grilli, Laxague y Barboza, 2015).

En cuarto lugar, en relación con las representaciones visuales que se despliegan en cada uno de los temas centrales de estos libros de texto, se encontró que una marcada mayoría de representaciones aparece en el tema herencia. De manera opuesta, el menor número de representaciones se encontró en el tema tecnologías de los ácidos nucleicos. Este sesgo hacia la enseñanza del tema herencia respecto de los demás fue identificado también por otros autores que remarcan que en la educación secundaria hay una tendencia a desarrollar con mayor énfasis y dedicación de tiempo los contenidos de herencia, fundamentalmente herencia mendeliana (Legarralde, 2020). Más aún, los contenidos de herencia fueron los que se priorizaron durante la emergencia sanitaria (y educativa) ocurrida durante 2020 y 2021 según lo relevado en esta investigación.

En quinto lugar, un aspecto inherente a las representaciones visuales de genética es el nivel de representación al que refieren, considerando una escala que va desde lo submicroscópico a lo macroscópico pasando por diferentes niveles intermedios. En particular, en las representaciones visuales encontradas tanto en las explicaciones como en las actividades de los libros analizados se observaron diferencias importantes que requieren ser tenidas en cuenta a la hora de planificar su uso en la enseñanza. Mientras algunos de los tipos de RV aluden a un único nivel representacional, otros combinan varios niveles. Por ejemplo, las fotografías siempre aluden al nivel macroscópico, las imágenes técnicas generalmente al nivel microscópico. Mientras que los dibujos se destacan como representaciones versátiles que pueden aludir a diferentes niveles de representación, aunque no los combinan. Los diagramas son particularmente interesantes por aludir generalmente a dos o más niveles representacionales. Esto puede deberse a que,

por ser representaciones visuales más abstractas, tienen la potencialidad de incluir diferentes niveles representacionales a la vez. Mientras que, en las fotografías, dibujos o imágenes técnicas, que tienen intención reproductiva, no es posible incluir más de un nivel de representación. Esto pone de manifiesto una complejidad intrínseca de los diagramas, lo cual es menester transparentar en las clases con los estudiantes.

El hecho de que ciertas representaciones visuales estén asociadas a ciertos niveles de representación es una cuestión para atender en la enseñanza, explicitando estos sesgos. Así, resulta importante dedicar un espacio para que los estudiantes sean capaces de identificar los niveles de representación en las RV y proponer tareas para que puedan relacionar los diferentes niveles de representación entre sí. En el caso particular de la genética, teniendo en cuenta que es una disciplina que estudia procesos de nivel molecular y celular, que producen efectos en los individuos y las poblaciones, puede decirse que los diagramas visuales de proceso resultan ser RV apropiadas para su enseñanza. Esto podría explicar su abundancia en la muestra. La ubicuidad de los diagramas de proceso en biología respalda la sugerencia de que esta disciplina tiene una naturaleza y una estructura distintas de otras ciencias (Griffard, 2013) y, por lo tanto, puede presentar desafíos pedagógicos únicos para los profesores de biología.

En sexto lugar, y desde un punto de vista más detallado, pudo verse que los tipos de representación visual utilizados varían dependiendo del tema central de las explicaciones. Así, en los temas herencia y tecnologías de los ácidos nucleicos prevalecen las fotografías, mientras que en reproducción celular los dibujos y en ácidos nucleicos las imágenes técnicas. Esto puede deberse a la naturaleza de los contenidos representados: en los primeros se representan aspectos externos como características físicas de individuos o equipamientos, en reproducción celular, las características de las células y en ácidos nucleicos, los aspectos internos de los fenómenos como la estructura de las células, los cromosomas, entre otros. Es decir que, en los libros de texto estudiados, se detectó un encapsulamiento representacional. Así como en el área de física se había identificado el uso de gráficos cartesianos para la enseñanza y el aprendizaje de cinemática, en contraposición con otras áreas de la física en donde prevalecen tal otro tipo de representación visual (Idoyaga y Lorenzo, 2019), en genética de segundo año de la educación secundaria parece ocurrir algo similar.

Por último, a los aspectos destacados hasta el momento, se suma otra conclusión que resulta relevante a la hora de utilizar estos materiales educativos para la enseñanza. El tipo y nivel de representación varía de acuerdo con el tema central en las explicaciones de esta muestra de libros de texto. Las fotografías, de nivel macroscópico, están asociadas al desarrollo del tema herencia. Las imágenes técnicas, de nivel microscópico o submicroscópico, se vinculan al desarrollo del tema ácidos nucleicos. Los dibujos, de nivel macroscópico,

microscópico o submicroscópico, al tema reproducción celular. Los diagramas visuales de estructura, generalmente de nivel submicroscópico y simbólico, se encontraron muy representados en el tema ácidos nucleicos. Los diagramas verbales se hallaron vinculados en mayor medida al tema herencia. El hecho de que el tipo de representación visual y los niveles aludidos sea diferente según el tema central del que se trate, abona complejidad al encapsulamiento representacional advertido en el párrafo anterior. Así, existe una fragmentación entre los diversos temas dada no solo por la separación habitual entre capítulos disciplinares sino también por la naturaleza de las representaciones visuales con las cuales se enseñan.

Si bien se sabe que existe una mutua apelación entre el contenido representado y la representación (Lorenzo y Pozo, 2010), lo que podría explicar el encapsulamiento representacional advertido en donde para cada tema se utilice un cierto tipo de representación visual, es necesario preguntarse si esto es deseable. O si, por el contrario, se están limitando las posibilidades de representación de un mismo fenómeno a través de distintas representaciones visuales para potenciar las posibilidades de aprendizaje (López Manjón y Postigo, 2016) y que provoque que los estudiantes asocien la representación al contenido persistiendo este sesgo luego de la instrucción. En este sentido, considerando que la enseñanza con múltiples representaciones sirve para mostrar a los estudiantes representaciones que se enfocan en diferentes aspectos del fenómeno a representado a los fines de promover una comprensión más acabada, el enfoque de estos libros parece ir en otro sentido. Y, por lo tanto, sería necesario fomentar el uso y la traducción entre las múltiples representaciones externas y vincularlas con la idea que estas representan para promover un aprendizaje exitoso de la biología (Tsui y Treagust, 2003).

Así, para enseñar genética es necesario recurrir a un número importante de representaciones, de naturaleza variada. La variedad de tipos y niveles de representación identificados en las explicaciones se debe a la necesidad de abordar contenidos diversos que incluyen estructuras, procesos, aspectos visibles y no visibles. A su vez, esta disciplina abarca fenómenos de orden celular hasta el orden poblacional. Es por esto por lo que a lo largo de las páginas se hallaron representaciones visuales que refieren a diferentes aspectos de los fenómenos representados y también aluden a distintos niveles de representación. Estas cuestiones, que pueden resultar evidentes para los y las profesoras, no necesariamente son así para los estudiantes. Estos resultados develan la complejidad propia de las representaciones visuales de esta disciplina y constituyen un llamado de atención para tenerlos en consideración a la hora de diseñar la enseñanza con representaciones visuales y hacer explícitas sus particularidades para promover un uso más adecuado por parte de los estudiantes.

La construcción de los conocimientos de genética implica y requiere la traducción entre representaciones externas múltiples, que representan conceptos y principios en diferentes niveles de organización biológica y en diferentes modos de representación. Así, una enseñanza mediada por estos libros de texto podría llevar a un aprendizaje fragmentado en donde los estudiantes no sean capaces de integrar los temas y sus representaciones. Por el contrario, podría llevar a una comprensión errónea en donde los estudiantes asocien ciertos tipos de representación visual a ciertos temas exclusivamente. Promover los procesos de traducción en los estudiantes es fundamental para el desarrollo de la comprensión biológica (Schönborn y Bögeholz, 2018). De acuerdo con la literatura, los libros de texto deberían incluir una diversidad de representaciones visuales en sus distintas secciones que garantice el trabajo con diferentes representaciones de un mismo fenómeno a los fines de instruir a los estudiantes en la lectura de estas (Eilam, 2012).

Estos hallazgos echan luz sobre la necesidad de revisar las representaciones visuales de las explicaciones y actividades en los materiales didácticos identificando posibles vacancias. Para, de este modo, poder generar propuestas que permitan una enseñanza dotada de múltiples representaciones externas, incluyendo una variedad de tipos y niveles de representación para cada uno de los temas abordados, estructuradas a partir de un hilo conductor que garantice su integración.

En síntesis, en esta tesis pudo demostrarse que hay ciertos tipos de representación asociados a los cuatro temas centrales estudiados, que guardan características particulares. Por ejemplo, los niveles de representación que se aluden son diferentes en unos temas respecto de los otros. Esto permite afirmar que en esta muestra hay un encapsulamiento representacional según el tema en estudio. Esto pone de manifiesto, la necesidad pensar una enseñanza con representaciones visuales mediada por libros de texto que explicita estos sesgos representacionales y que se nutra de otras representaciones visuales para plantear una enseñanza mediada por múltiples representaciones (Treagust y Tsui, 2013).

En el mismo sentido, a partir de los resultados es posible afirmar que el contenido disciplinar condiciona la naturaleza de las representaciones visuales que se usan para su enseñanza. Las representaciones visuales que se despliegan en los contenidos de genética dentro de esta muestra de libros de texto son variadas y con una gran complejidad intrínseca. Como se propuso en la formulación del problema de esta tesis, las representaciones visuales son parte de la disciplina a enseñar y, por lo tanto, constituyen sus contenidos (Diez de Tancredi, 2004). Entonces, su enseñanza no puede omitirse o trabajarse de manera liviana. Por el contrario, se hace necesaria una enseñanza que atienda la diversidad, la complejidad intrínseca de estas representaciones visuales, que busque promover su procesamiento y comprensión acabada.

5.4. Aportes para la enseñanza

Los resultados de esta tesis resultan de utilidad para pensar la enseñanza de la genética con representaciones, aportando fundamentos para una adecuada vigilancia representacional de los materiales didácticos (Idoyaga, 2019). Cada una de las variables analizadas fue seleccionada por ser aspectos de interés inherentes a las representaciones visuales de genética: el tema central y los contenidos que representan, el tipo de representación y los niveles de representación. Adicionalmente, cada una de dichas variables constituye un criterio plausible de ser considerado en los procesos de vigilancia representacional en sus diferentes dimensiones. Por ejemplo, el tipo de representación visual y los niveles de representación se vinculan con la dimensión epistémica. Así, su vigilancia incluiría el reconocimiento del tipo de representación utilizado, las relaciones entre los elementos de la RV expresadas y aquellas omitidas, los niveles de representación aludidos y la integración entre distintos tipos y distintos niveles de representación. Por otra parte, la inclusión de la representación visual como parte de las explicaciones o como parte de las actividades se vincula con la dimensión didáctica de la vigilancia representacional. Así podría analizarse cuántas y cuáles representaciones visuales se usan en cada sección de la propuesta y cómo podrían articularse entre sí o complementarse con otras nuevas. Por último, el tipo de actividad propuesta para trabajar sobre la representación visual, se vincula con la dimensión cognitiva, y permitiría analizar el procesamiento que realizan los estudiantes sobre la información contenida en la representación visual y podría revisar la posibilidad de traducción entre diversos modos de representación. A continuación, se presentan algunas sugerencias para transferir los resultados de esta investigación en las aulas.

En primer lugar, esta información puede ser de utilidad a la hora de pensar cómo secuenciar las representaciones visuales y de qué manera trabajarlas en las clases. Algunos autores recomiendan primero, estudiar aspectos macroscópicos, más cercanos al alumno, como los caracteres observables y su herencia, comparando, por ejemplo, el parecido entre familiares y analizando de qué modo se heredan los caracteres. Luego, avanzar sobre la explicación de estos fenómenos desde niveles celulares o moleculares, para que ellos puedan relacionar los cromosomas, genes, procesos de división celular, herencia, con los fenómenos de orden macroscópico y de este modo, no se aprenda de una manera aislada e inconexa (Ruiz González, Banet, y Banet, 2017). Esta misma lógica se puede extender a la secuenciación de las representaciones visuales, considerando que el modo en que se secuencian estas influye en la comprensión de los estudiantes (Flores Camacho et al., 2020).

Desde allí, se puede pasar a seleccionar los tipos de representación visual a incluir en cada una de las etapas de la enseñanza, teniendo en consideración, además de los niveles de

representación, las relaciones de representación entre el objeto o fenómeno representado y la RV. Si el docente está interesado en mostrar relaciones de semejanza, recurrirá a representaciones más icónicas como las ilustraciones (fotografías, imágenes técnicas y dibujos). Por el contrario, si el docente busca que los estudiantes trabajen sobre procesos o estructuras, recurrirá a diagramas visuales (DVP o DVE, respectivamente). Si el interés está puesto en las relaciones conceptuales, utilizará diagramas verbales. Por último, si desea que sus estudiantes comprendan la relación entre dos o más variables, recurrirá a gráficos (López Manjón y Postigo, 2014). Muchas veces, seguramente será necesario recurrir a más de una representación para poder hacer foco en distintos aspectos, apelando a una enseñanza multirrepresentacional (Treagust y Tsui, 2013).

Una vez seleccionadas y secuenciadas las RV a trabajar, sería recomendable ofrecer a los estudiantes instancias para que puedan reflexionar sobre los niveles de representación aludidos en ellas. Entonces, pueden plantearse discusiones y actividades en torno a las siguientes preguntas: ¿Cuáles son las estructuras que identificás en la representación visual? ¿Qué tamaño relativo tienen esas estructuras? ¿Podrías verlas a simple vista o necesitarías de algún medio técnico? ¿En qué nivel de organización de la materia ubicarías dicha estructura? ¿Tiene palabras la representación visual? ¿Esas palabras son términos técnicos? ¿A qué estructuras refieren dichos términos técnicos?

Luego, pasando al análisis de las relaciones representadas, las actividades propuestas podrían orientarse a que los y las estudiantes identifiquen ¿Qué contenidos se representan? ¿A qué tema central corresponden? ¿Qué relaciones pueden establecer entre la representación visual y el objeto o fenómeno representado? ¿Qué aspectos está omitiendo la representación? ¿Se representan procesos, estructuras? ¿La representación visual tiene intencionalidad reproductiva o es preferentemente abstracta? ¿Qué implicancias tiene esto a la hora de interpretarla?

El aprendizaje con múltiples representaciones involucra tres dimensiones: modos de representaciones, niveles de representaciones y conocimiento del dominio de la biología (Treagust y Tsui, 2013). Por lo tanto, en todos los casos, es deseable trabajar las explicitaciones de tipo, tema y nivel de representación durante todas las clases, tanto en las representaciones visuales de las explicaciones como en las representaciones visuales de las actividades prácticas, transparentando las diferencias y similitudes entre ellas. Y, por otro lado, integrando las representaciones visuales entre los diferentes temas ya que los contenidos de un tema son empleados para otros y viceversa. Entonces, es recomendable abonar a una integración de los contenidos y, sobre todo, de sus representaciones.

5.5. Perspectivas

A partir de los hallazgos de esta tesis, surgieron nuevos interrogantes de investigación. En primer lugar, surge la pregunta ¿Cuáles son las características de las RV de genética presentes en libros de texto de nivel superior? ¿Qué diferencias y similitudes se identifican al comparar los libros del nivel superior con los resultados hallados en libros de nivel secundario? Estos aportes podrían contribuir a entender cuál es el salto que debe hacer estudiante cuando pasa de la escuela secundaria a la educación superior. Al mismo tiempo, estos hallazgos podrían operar como insumos para ofrecer recomendaciones a los y las docentes al momento de enseñar en la escuela secundaria y enseñar en el nivel superior teniendo en consideración las particularidades de las representaciones visuales utilizadas en los niveles sucesivos.

Por otro lado, y considerando a las representaciones visuales como productos epistémicos de la ciencia, vale la pena preguntarse ¿Qué características tienen las representaciones visuales de genética que aparecen en los artículos publicados en la disciplina? ¿En qué se parecen y en qué se diferencian de aquellas representaciones visuales que aparecen en los libros de texto del nivel superior? ¿Y del nivel medio? Con estos estudios, podría hacerse un seguimiento de la trasposición didáctica desde el contexto de surgimiento de las representaciones visuales hacia el contexto educativo. A su vez, se pueden analizar las ventajas y desventajas de utilizar unas u otras. También sería posible ver ¿Cómo varía el grado de abstracción de las representaciones visuales en cada uno de los casos? ¿Qué implicancias tiene esto en el procesamiento de las representaciones visuales en los niveles más específicos de la formación superior?

Por último, la estrategia de análisis utilizada en esta tesis podría probarse sobre otros materiales didácticos como guías de estudio, guías de ejercicios, apuntes teóricos, videos, recursos web, entre otros. De esta manera, sería posible enriquecer la metodología en vistas de expandir los estudios en ambos niveles lo cual permitiría tener una mirada más amplia de las representaciones visuales desplegadas en cada uno de ellos. Así podría estudiarse cuál es la mejor manera de articular todos estos materiales y sus representaciones a los fines de promover una mejor comprensión de los temas, apelando al diseño de una enseñanza con representaciones múltiples.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referencias bibliográficas

1. Aguilera, D., y Perales, J. (2018). El libro de texto, las ilustraciones y la actitud hacia la ciencia del alumnado: percepciones, experiencias y opiniones del profesorado. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(3), 41-56.
2. Ainsworth, S., (2018). Multiple Representations and Multimedia Learning. En F. Fischer, C. Hmelo-Silver, S. Goldman y P. Reimann, (Eds.), *International Handbook of the Learning Sciences* (pp. 96-105). Estados Unidos, Routledge.
3. Aivelo, T. y Uitto, A. (2019). Teachers' choice of content and consideration of controversial and sensitive issues in teaching of secondary school genetics. *International Journal of Science Education*, 41(18), 2716–2735. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1694195>
4. Alfonso Sierra, R., Gallego Torres, P. y Martínez Delgado, L. (2016). Textos escolares de ciencias: la transposición didáctica y la lingüística sistémico-funcional del modelo de la doble hélice del ADN. *Revista Interamericana de Investigación, Educación y Pedagogía-RIIEP*, 227–248. <https://doi.org/10.15332/s1657-107x.2016.0002.13>
5. Aristi, R. (2010). La gestación por sustitución: dilemas éticos y jurídicos. *Humanitas Humanidades médicas*, volumen (49). Recuperado de: <http://www.iatros.es/wp-content/uploads/humanitas/materiales/TM49.pdf>
6. Artola, E. (2015). Las representaciones gráficas cartesianas en el ámbito de biología de poblaciones: Análisis ontosemiótico de libros de texto e intervención didáctica en estudiantes de educación secundaria. [Tesis Doctoral. Universidad de Granada].
7. Artola, E. C., Mayoral, L. E., y Benarroch, A. B. (2016). Análisis De Representaciones Gráficas Cartesianas En Libros De Texto De Biología. *European Scientific Journal*, *ESJ*, 12(36), 109. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n36p109>
8. Aumont, J. (1992). *La Imagen*. Barcelona: Paidós Comunicación.
9. Ayuso, E. [LIIECEyN]. (2020). *Reflexiones para pensar la enseñanza de la Genética*. [Archivo de Vídeo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=0iA1vqawUM4>
10. Bachelard, G. (1948). *La formación del Espíritu Científico*, Buenos Aires: Editorial Argos
11. Barraza Escamilla, N. (2018). El currículum, análisis y reformulación del concepto. *Dictamen Libre*, 1(22), 113–118.
12. Banet, E., y Ayuso, E. (1995). Investigación experiencias. *Enseñanza de Las Ciencias*, 13(2), 137–153.
13. Banet, E., y Ayuso, E. (2000). Teaching genetics at secondary school: A strategy for teaching about the location of inheritance information. *Science Education*, 84(3), 313–351. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200005\)84:3<313::AID-SCE2>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<313::AID-SCE2>3.0.CO;2-N)
14. Banet, E., y Ayuso, G. E. (2003). Teaching of biological inheritance and evolution of living beings in secondary school. *International Journal of Science Education*, 25(3), 373–407. <https://doi.org/10.1080/09500690210145716>
15. Bateson, W., (1902). *A defence of Mendel's Principles of Heredity*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
16. Barquero, B.; Schnotz, W. y Reuter, S. (2000). Adolescents' and adults' skills to visually communicate knowledge with graphics. *Infancia y Aprendizaje*, 90, pp. 71-87. <http://dx.doi.org/10.1174/021037000760087973>

17. Berardi, M. (2019). Representaciones visuales sobre género y sexualidad. Un análisis de manuales escolares. *Compartimos Lo Que Sabemos UNLP-FaHCE*, 3(1), e076. <https://doi.org/10.24215/25457284e076>
18. Brown, S., y Krzic, M. (2021). Lessons learned teaching during the COVID-19 pandemic: Incorporating change for future large science courses. *Natural Sciences Education*, 50(1), 1–10. <https://doi.org/10.1002/nse2.20047>
19. Butz, H. y Patócs, A. (2019). Brief summary of the Most Important Molecular Genetic Methods (PCR, qPCR, Microarray, Next-Generation Sequencing). En En Igaz, P. y Patócs, A., *Genetics of Endocrine Diseases and syndromes* (33-54). Nueva York, Estados Unidos: Springer.
20. 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. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376140381007> New York, NY: Springerbardi.
21. Carcavilla Puey, F. (2021). Tendencias en el diseño de identidad visual de las marcas de automóviles: entre la nostalgia del pasado y el reto del futuro eléctrico, Redmarka. *Revista de Marketing Aplicado*, vol. 25, núm. 2, 1-23. <https://doi.org/10.17979/redma.2021.25.2.8666>
22. Castaño, R. E., (2007). Análisis de las ilustraciones del modelo de ADN, en los libros de texto de ciencias, de octavo y noveno grado de educación básica y su importancia en la formación de modelos mentales. <http://educacion.udea.edu.co:8080/jspui/handle/123456789/1043>
23. Chá Larrieu, A. (2014). Unas gotas de epistemología: los tres contextos. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*.
24. Chevallard, Y. (1991). La transposición didáctica. *Del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: AIQUE.
25. Churchill, F. (1970). Hertwig, Weismann, and the meaning of reduction division circa 1890. *History of Science Society*, 61(4), 428–457.
26. Clément, P. (1996). L'imagerie biomédicale: Définition d'une typologie et proposition d'activités pédagogiques [Biomedical imagery: Definition of a typology and proposition of pedagogical activities]. *Aster*, 22, 87–126.
27. Clément, P. y Castéra, J. (2013). Multiple Representations of Human Genetics in Biology Textbooks. In David F. Treagust y Chi-Yan Tsui (Eds.), *Multiple Representation Biological Education, Series: Models and Modeling in Science Education* (Springer, Vol. 7, pp. 19–38). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4192-8>
28. Castéra, J., Bruguière, C., & Clément, P. (2008). Genetic diseases and genetic determinism models in French secondary school biology textbooks. *Journal of Biological Education*, 42(2), 53–59.
29. Darwin, C. (1859). *The origin of species by means of natural selection or the preservation of favoured races in the struggle for life*. London: John Murray
30. De Andrea, P., Menconi, M. F., Iugovich, A., Barrios, H. y Legarralde, T. (2015). Análisis del contenido herencia mendeliana en libros de texto de segundo año de la escuela secundaria básica. *Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa En El Campo de Las Ciencias Exactas y Naturales*, 1–12.
31. Debray, R., (2001). *Introducción a la mediología*. Barcelona, España: Paidós.
32. Díez de Trancredi, D., y Caballero, C. (2004). Representaciones externas de los conceptos biológicos de gen y cromosoma. Su aprendizaje significativo. *Revista de Investigación*, 56, 91–122.

33. Dimopoulos, K., Koulaidis, V. y Sklaveniti, S. (2003). Towards an analysis of visual images in school science textbooks and press articles about science and technology. *Research in Science Education* 33(2), 189-216
34. Donald, M., (1991). *Origins of the modern mind. Three stages in the evolution of culture and cognition.* Estados Unidos: Harvard University Press.
35. Duncan, R. G., y Reiser, B. J. (2007). Reasoning Across Ontologically Distinct Levels: Students' Understandings of Molecular Genetics. *Journal Of Research in Science Teaching*, 44(7), 938–959. <https://doi.org/10.3109/15569529109052133>
36. Duval, R. (1999). *Semiosis y pensamiento humano. Registros semióticos y aprendizajes intelectuales.* Colombia: Universidad del Valle. Instituto de educación y pedagogía. Grupo de educación matemática.
37. Duval, R., (2017). *Understanding the mathematical way of thinking.* Springer, Cham.
38. Eco, U. (2000). *Tratado de Semiótica General de Umberto Eco.* Editorial Lumen.
39. Eilam, B. (2012). *Teaching, learning, and visual literacy: The dual role of visual representation.* Cambridge University Press.
40. England E., Hinojosa D., Romero M. (2010) Ilustración científica en el IES Antonio de Mendoza. *Revista Pasaje a la Ciencia (Edición digital)* 13, 111-115.
41. Espino, M. (2004). *El derecho a la intimidad genética.* Madrid, Barcelona, Buenos Aires. España, Argentina: Marcial Pons.
42. Eysenck, M. W., y Keane, M. T., (1990). *Cognitive psychology: A student's handbook.* Estados Unidos: Lawrence Erlbaum Associates.
43. Fanaro, M., Otero, M. R., y Greca, I. M., (2005). Las imágenes en los materiales educativos: las ideas de los profesores. *Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(2). Recuperado de <http://reec.uvigo.es/>.
44. Farina, J., & Rassetto, M. J. (2021). Análisis documental del Diseño Curricular para el Nivel Inicial de la Provincia de Río Negro, Argentina. *Revista Bio-Grafía Escritos Sobre La Biología y Su Enseñanza*, 6.
45. Fernandes Xavier, M. C., Sá Freire, A. de, y Ozório Moraes, M. (2006). New Biology and genetics in High School science textbooks. *Ciência y Educação*, 12(3), 275–289. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132006000300003>
46. Ferreiro, G. y Occelli, M. (2008). Análisis del abordaje de la respiración celular en textos escolares para el Ciclo Básico Unificado. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. 7 (2). Recuperado de <http://www.saum.uvigo.es/reec/lang/spanish/volumenes.htm>
47. Figini, E.; Bfloreerzal, M. y De Micheli, A. (2001). La enseñanza de la Genética en el nivel medio y la educación polimodal: temas presentes en las actividades de los libros de texto. *Memorias de las V Jornadas de Enseñanza de la Biología*, 196-200
48. Flores-Camacho, F., García-Rivera, B. E., Báez-Islas, A., y Gallegos-Cázares, L. (2017). Diseño y Validación de un Instrumento para Analizar las Representaciones Externas de Estudiantes de Bachillerato sobre Genética. *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa*, 10.2(2017), 151–169. <https://doi.org/10.15366/riee2017.10.2.008>
49. Flores-Camacho, F., García-Rivera, B., Báez Islas, A., Gallegos-Cázares, 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), 617–627. <https://doi.org/10.25267/Rev>
50. Flemming, W. (1965). Contributions to the knowledge of the cell and its vital processes. *J. Cell Biol.* 25, 3–69.

51. Forissier, T. y Clément, P. (2003). Teaching “biological identity” as genome/environment interactions. *Journal of Biological Education*, 37 (2), 85-90.
52. Franklin, R., y Gosling, R. (1953). Evidence for 2-chain helix in crystalline structure of sodium deoxyribonucleate. *Nature*. 172(4369), 156-7. doi: 10.1038/172156a0
53. Frías, D. (2007). The History of the Mendelian Gene Genetics is a young discipline with vertiginous advances in the last century . Mendel , in his experiments with *Pisum sativum* , by studying only phenotypes , inferred its “hereditary factors”. Nowa- days with extant too. *Rivista Di Biologia*, 100(2007), 69–92.
54. Galagovsky, L., y Greco, M. (2009). Uso de analogías para el “aprendizaje sustentable”: el caso de la enseñanza de los niveles de organización en sistemas biológicos y sus propiedades emergentes. *Revista Electrónica de Investigación En Educación En Ciencias*, 4(1), 10–33.
55. García García, J. J., (2005). El uso y el volumen de información en las representaciones gráficas cartesianas presentadas en los libros de texto de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(2), 181-199.
56. García García, J., y Perales Palacios, F. (2006). ¿Cómo usan los profesores de Química las representaciones semióticas? *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 5(2), 247–259.
57. García-Mila, M., Andersen, C., y Rojo, N., (2010). Pensar e “inscribir” mientras se investiga: un estudio de caso. *Cultura y Educación*, 22(2), 199-213.
58. Gayon, J. (2016). From Mendel to epigenetics: History of genetics. *Comptes Rendus Biologies*, 339(7–8), 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2016.05.009>
59. Glaser, B.G. (2004), Remodeling Grounded theory. *Forum Qualitative Social Research*, 5(2), May.
60. Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Ministerio de Educación. Dirección General de Planeamiento e Innovación Educativa. Gerencia Operativa de Currículum (2020). Contenidos priorizados para el ciclo lectivo 2020. Nivel secundario. Formación General del Ciclo Básico y Orientado del Bachillerato
61. Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Ministerio de Educación. Dirección General de Planeamiento e Innovación Educativa. Gerencia Operativa de Currículum (2021). Contenidos priorizados para el ciclo lectivo 2021. Nivel secundario. Formación General del Ciclo Básico y Orientado del Bachillerato
62. Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Ministerio de Educación. Dirección General de Planeamiento e Innovación Educativa. Gerencia Operativa de Currículum (2015a). Diseño curricular nueva escuela secundaria de la Ciudad de Buenos Aires: ciclo básico del bachillerato. 1a ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
63. Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Ministerio de Educación. Dirección General de Planeamiento e Innovación Educativa. Gerencia Operativa de Currículum (2015b). Diseño curricular nueva escuela secundaria de la Ciudad de Buenos Aires: ciclo orientado del bachillerato: Ciencias Naturales. 1a ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
64. Gómez López, S. (2005). Modelos y representaciones visuales en la ciencia. *Modelos y Representaciones Visuales En La Ciencia*, 1(1), 83–116. https://doi.org/10.5209/rev_ESIM.2005.v1.30360 Mirarlo bien, propone distintos criterios de clasificación.
65. Gómez-galindo, A. A., Pérez, G., y González-Galli, L. (2017). ¿Qué aportan los dibujos a la comprensión de los significados de las explicaciones de los estudiantes en Biología Evolutiva? *X Congreso Internacional Sobre Investigación En Didáctica De Las Ciencias*, 4307–4312.

66. González Galli, L. [Genética UNPA UARG]. (2020). *Enseñanza de la Genética y pensamiento crítico*. [Archivo de Vídeo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=2lkKyk3nPcAyt=2394s>
67. Granados M, J. L., y Echeverría Ezponda, J. (2019). Representar e intervenir con tecnomundos tecnovirtuales: simulaciones, ficciones y controversias. *Argumentos de Razón Técnica*, 22, 96–119.
68. Griffard, P. B. (2013). Deconstructing and Decoding Complex Process Diagrams in University Biology. In David F. Treagust & Chi-Yan Tsui (Eds.), *Multiple Representations in Biological Education, Series: Models and Modeling in Science Education* (Springer, Vol. 7, pp. 19–38). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4192-8>
69. 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. https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i1.07
70. Hegarty, M., Carpenter, P. A., y Just, M. A. (1991). Diagrams in the comprehension of scientific text. In R. Barr, M. L. Kamil, P. B. Mosenthal, y P. D. Pearson (Eds.), *Handbook of reading research* (Vol. II, pp. 641–668). White Plains, NY: Longman
71. Horwitz, P., Neumann, E., Schwartz, J. (1996) Teaching science at multiple space-time scales. *Communications of the ACM* 39(8), 100–102.
72. Idoyaga, I., Maeyoshimoto, J., Moya, C. N., y Granchetti, H., (2017). Uso y cantidad de información de gráficos en materiales didácticos de Física. *Enseñanza de las ciencias*, (Extra), 1821-1826.
73. Idoyaga, I., y Lorenzo, G. (2019). *Las representaciones gráficas en la enseñanza y en el aprendizaje de la física en la universidad*. Tesis de Doctorado. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Universidad de Buenos Aires.
74. Idoyaga, I., Lorenzo, M. G., Moya, N., y Maeyoshimoto, J. (2021). La vigilancia representacional: Una estrategia en construcción. *Congreso internacional en investigación en didáctica de las ciencias*, 375–378. https://congresoenseciencias.org/wp-content/uploads/2021/10/Actas-Electronicas-del-XI-Congreso-FINAL_compressed.pdf
75. Ivins J. R., William M. (1975) *Imagen Impresa y Conocimiento*. Barcelona. Gustavo Gili. Lizárraga
76. Igaz, P. (2019). Basic concepts of genetics. In P. Igaz y A. Patócs (Eds.), *Genetics of Pituitary Tumours* (Vol. 111, pp. 3–20). Springer.
77. Johnstone, A. H. (1982). Macro- and microchemistry. *School Science Review*, 64, 377-379
78. Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75–83.
79. Knippels, M. (2002) *Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education. The yo- yo learning and teaching strategy*. Utrecht, Netherlands: CD-β Press.
80. Kress, G. R., y Van Leeuwen, T. (1996). *Reading images: The grammar of visual design*. Psychology Press.
81. Legarralde, T.; Ramírez, S.; Vilches, A. y Lapasta, L. (2013). El uso de las representaciones gráficas en las clases de ciencias. Una propuesta para favorecer aprendizajes. Libro de Resúmenes del III Congreso Internacional de Educación en Ciencias. Universidad Nacional de Catamarca.
82. Legarralde, T., Guillermina, D., y Lorenzón, M. (2020). *Conceptos centrales del campo de la Genética. Los saberes de los futuros profesores en Ciencias Biológicas y*

- su abordaje en los textos destinados a la Enseñanza Superior. Tesis de doctorado. Facultad de humanidades y ciencias de la Educación. Universidad Nacional de La Plata.
83. Lemke, J. L. (2002). La Educación en ciencias: ideas para mejorar su práctica. In M. Benlloch (Ed.), *Enseñar todos los lenguajes de la ciencia: palabras, símbolos, imágenes y acciones*. (Paidós).
 84. Levin, J. R., Anglin, G. J., y Carney, R. N. (1987). On empirically validating functions of pictures in prose. In D. M. Willows y H. A. Houghton (Eds.), *The Psychology of Illustration*. (pp. 51–85).
 85. Livni-Alcasid, G. A., Haskel-Ittah, M., y Yarden, A. (2018). As symbol as that: Inconsistencies in symbol systems of alleles in textbooks, and students' justifications for them. *Education Sciences*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/educsci8030110>
 86. López Manjón, A., Sánchez, R. (2017). Obstáculos para la alfabetización gráfica, análisis de las actividades con imágenes en los libros de texto. En Monroy, Z., Sánchez, R., Alvarez, G (Ed.), *Obstáculos epistemológicos en la enseñanza y el aprendizaje de la filosofía y de la ciencia* (pp. 283-292). Ciudad de México, México: UNAM.
 87. López-Noguero, F. (2002). El Análisis de contenido como método de investigación. *XXI. Revista de Educación*, 4(4), 167–180.
 88. López-Manjón, A., y Postigo, Y. (2014). Análisis de las imágenes del cuerpo humano en libros de texto españoles de primaria. *Enseñanza de Las Ciencias*, 32(3), 551–570. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1319>
 89. 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. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376140381007>
 90. López-Manjón, A., y Postigo, Y. (2016). ¿Qué libro de texto elegir? La competencia visual en las actividades con imágenes. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias.*, 13(1), 84–101. https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2016.v13.i1.07
 91. Lorenzo, G., y Pozo, J. I. (2010). La representación gráfica de la estructura espacial de las moléculas: Eligiendo entre múltiples sistemas de notación. *Cultura y Educación*, 22(2), 231–246. <https://doi.org/10.1174/113564010791304555>
 92. Lorenzo, M. G., y Moya, N. (2016). Ver para aprender. Las imágenes en la construcción de conocimiento de ciencias naturales. *En: El cine en la documentación científica de la Universidad de Buenos Aires desde 1898*. Buenos Aires: EUDEBA
 93. Lorenzo, M. G. (2018). Los contenidos de ciencias naturales en la enseñanza universitaria: especificidad, abstracción y orientación profesional. *Aula Universitaria*, 956(19). <https://doi.org/10.14409/au.v0i19.6709>
 94. Lowe, R. (1986) 'The scientific diagram: Is it worth a thousand words? The Australian Science Teachers' Journal, 1 [32], 713.
 95. Lowe, R. K. (2013). *Successful instructional diagrams*. Londres: Kogan Page.
 96. Lozano Cantú, O., y Villanueva Gutiérrez, Ó. E. (2016). Ciencia, currículum y profesores: las ciencias naturales en la educación secundaria. *Actualidades Investigativas En Educación*, 16(1). <https://doi.org/10.15517/aie.v16i1.21714>
 97. Maienschein, J. (1991). From presentation to representation, en E. B. Wilson's, *The cell*. *Biology and Philosophy*, 6, 227-254.

98. Marbach-Ad, G., Stavy, R. (2000) Student's cellular and molecular explanations of genetic phenomena. *Journal of Biological Education* 34(4), 200–210. doi:10.1080/00219266.2000.9655718
99. Martí, E., (2003). Representar el mundo externamente. La adquisición infantil de los sistemas externos de representación. Madrid, España: Antonio Machado.
100. Martí, E., y Pozo, J. I. (2000). Beyond mental representations: The acquisition of external systems of representation. *Infancia y Aprendizaje*, 23(90), 11–30. <https://doi.org/10.1174/021037000760087946>
101. Martínez Bonafé, J. (2002). *Políticas del libro escolar*. Madrid: Ediciones Morata.
102. Martínez García, M.V. (2003). Análisis del contenido de Genética en textos de Educación no Universitaria. *Revista Interuniversitaria de Formación de Profesorado*, 17(1), 207-208.
103. Martínez-Gracia, M. V., Gil-Quilez, M. J., y Osada, J. (2006). Analysis of molecular genetics content in Spanish secondary school textbooks. *Journal of Biological Education*, 40, 53–60.
104. Martschenko, D., Trejo, S., y Domingue, B. W. (2019). Genetics and Education: Recent Developments in the Context of an Ugly History and an Uncertain Future. *AERA Open*, 5(1), 1–15. <https://doi.org/10.1177/2332858418810516>
105. Márquez, C., Izquierdo, M., y Espinet, M. (2003). Comunicación multimodal en la clase de ciencias: el ciclo del agua. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 21(3), 371–386. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=743301>
106. Maturano, C., y Aguilar, S. (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.
107. Mendoza Castro, C. P. (2021). Libros digitales en EdiLIM como recurso innovador en la enseñanza de Ciencias Naturales. [Tesis de maestría]. Recuperado de: <http://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/5696>
108. Menegaz, A., y Mengascini, A. (2005). El concepto de niveles de organización de los seres vivos en contextos de enseñanza. *Enseñanza de Las Ciencias, Extra*, 1–5.
109. Mengascini, A. (2006). Propuesta Didáctica y dificultades para el aprendizaje de la organización celular. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(3), 485-495.
110. Menza Vados, A. E., Rocha Castaño, C. A., y Sánchez Rodríguez, W. H. (2019). Modelo de clasificación y visualización de relaciones texto-imagen. *Kepes*, 16(20), 283–343. <https://doi.org/10.17151/kepes.2019.16.20.12>
111. Merino, C., González A., Lizama, P. y Pino, S. (2017). Contracción cardíaca y la promoción de la visualización a través de una secuencia con realidad aumentada. *Enseñanza de las Ciencias, (Extra)*, 4445-4452
112. Morgan, T.H, Sturtevant A.H., Muller H.J. y Bridges C.B (1915). *The Mechanism of Mendelian Heredity*. New York: Henry Holt.
113. Moles, A. A. (1976). *Teoría de la información y percepción estética*. Madrid: Ediciones Júcar.
114. Navarro, J. I., Rassetto, M. J., Priegue, A. C., Arias, A. O., Farina, J., Mora, N. E., & Almazan, P. A. (2011). Conceptos previos sobre genética en alumnos ingresantes a la carrera de psicología de la Universidad Nacional del Comahue. *Hospital Provincial Neuquén, Dr. Eduardo Castro Rendon*, 1.

115. Nichols, K. (2018). Impact of professional learning on teachers' representational strategies and students' cognitive engagement with molecular genetics concepts. *Journal of Biological Education*, 52(1), 31–46. <https://doi.org/10.1080/00219266.2017.1285800>
116. Occelli, M. (2011). La enseñanza de la Biotecnología en la escuela secundaria y su abordaje en los libros de texto: un estudio en la ciudad de Córdoba. [Tesis de maestría].
117. Occelli, Valeiras (2013). Los Libros de texto de ciencias como objeto de investigación: Una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las ciencias, Revista de investigación y experiencias didácticas*, 31 (2), 133-152. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/285774>
118. Occelli, M., Valeiras, N. y Bernardello, G. (2015). La biotecnología en libros de texto de escuela secundaria: un análisis de los libros utilizados en Córdoba (Argentina). *Revista Electrónica de Investigación En Educación En Ciencias*, 10(1), 34–44.
119. Occelli, M., & Pomar, S. (2018). Construcción de representaciones externas para comprender genética molecular en la escuela secundaria Resumen Introducción Referentes Teóricos. *Revista de Educación En Biología, Número extraordinario*, 735–736.
120. Otero, M. R., Moreira, M. A., y Greca, I. M. (2002). El uso de imágenes en textos de física para la enseñanza secundaria y universitaria. *Investigações Em Ensino de Ciências*, 7(2), 127–154.
121. Ortega, M. L. (2017). Imágenes, conocimiento y educación. Reflexiones desde la historia de la representación visual en las ciencias. *Revista de Investigación e Innovación Educativa*, 31, 11–38. <https://revistas.uam.es/tarbiya/issue/view/402/244>
122. Padilla Berdugo, R., Iriarte, F. (2020). Efectos de las imágenes representadas según distintas escalas de iconicidad de Abraham Moles sobre la comprensión de textos expositivos relacionados con el electromagnetismo. Tesis doctoral. Universidad del Norte. Colombia.
123. Papatheodosiou, K., Salta, K., y Koulougliotis, D. (2020). Classification Systems of Visual Representations Included in Biology Textbooks. *International Conference The Future of Education, July*, 1–4.
124. Parthasarathy, J., y Premalatha, T. (2020). Coding Visuals in Biology Textbooks. *The International Journal of Analytical and Experimental Modal Analysis*, XII(X), 790–794. <http://www.ijaema.com/gallery/90-ijaema-october-4737.pdf>
125. Peláez, C.; Rodríguez, J. M. y Occelli, M. (2010). Análisis del concepto de reproducción en libros de texto. *Revista de Educación en Biología*, 13, (2), 7-15.
- Pierce, Charles (1894). ¿Qué es un signo? Traducción castellana de Uxía Rivas (1999), disponible en: <www.unav.es/>.
126. Pérez Echeverría, M. P., y Scheuer, N. (2009). External representations as learning tools. An introduction. In C. Andersen, N. Scheuer, M. P. Pérez Echeverría, y E. Teubal (Eds.), *Representational systems and practices as learning tools in different fields of learning* (pp. 1–18). Rotterdam: Sense.
127. Pérez-Echeverría, M. P., Martí, E., y Pozo, J. I. (2010). Los sistemas externos de representación como herramientas de la mente. *Cultura y Educacion*, 22(2), 133–147. <https://doi.org/10.1174/113564010791304519>
128. Pierce, Charles (1903). El ícono, el índice y el símbolo. Traducción castellana de Sara Barrena (2005). Disponible en: <www.unav.es/>.
129. Pino, I. (2003). La utilización de mapas de conceptos como técnica para identificar atributos de conceptos de ADN y gen aprendidos por los estudiantes de 9º grado de Educación Básica. *Revista de Investigación*, 53, 71-90.

130. Porta, L, y Silva, M. (2003). La investigación cualitativa: El Análisis de Contenido en la investigación educativa.
131. Postigo, Y., y López-Manjón, A. (2012). Representaciones visuales del cuerpo humano. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 17(53), 593–626.
132. Pozo, J. I. (1997). Enfoques para la enseñanza de la ciencia. In *Teorías Cognitivas del aprendizaje* (Morata, Vol. 2021, pp. 265–308).
133. Postigo, Y., y López-Manjón, A. (2015). Alfabetización gráfica en libros de texto de biología: Análisis de las actividades con imágenes. *Infancia y Aprendizaje*, 38(3), 509–541. <https://doi.org/10.1080/02103702.2015.1054667>
134. Postigo, Y., y López-Manjón, A. (2019). Images in biology: are instructional criteria used in textbook image design? *International Journal of Science Education*, 41(2), 210–229. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1548043>
135. Pozo Muncio, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (1998). Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento científico al conocimiento cotidiano. Ediciones Morata. Madrid.
136. Pozo, J. I. (1999). Más allá del cambio conceptual: el aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de Las Ciencias*, 17(3), 513–520.
137. Pozo, J. I., y Postigo, Y., (1999). Hacia una nueva alfabetización: El aprendizaje de información gráfica. En Pozo, J. I. y Monereo, C., (Coords.), *El aprendizaje estratégico* (pp. 251-270). Madrid: Aula XXI. Santillana
138. Pozo, J. I., (2001). *Humana mente. El mundo, la conciencia y la carne*. Madrid, España: Morata.
139. Pozo, J. I. (2017). Learning beyond the body: from embodied representations to explicitation mediated by external representations / Aprender más allá del cuerpo: de las representaciones encarnadas a la explicitación mediada por representaciones externas. *Infancia y Aprendizaje*, 40(2), 27–53. <https://doi.org/10.1080/02103702.2017.1306942>
140. Pozzer, L. L., y Roth, W.-M. (2003). Prevalence, structure, and functions of photographs in high school biology textbooks. *Journal of Research in Science Teaching* 40(10), 1089–1114.
141. Presutti, Miceli y Laporte, 2009. Mapas conceptuales como herramienta en la enseñanza de contenidos comunes a diferentes cursos de ingeniería agronómica Completar
142. Puig Mauriz, B., y Jiménez Aleixandre, M. P. (2015). El modelo de expresión de los genes y el determinismo en los libros de texto de ciencias. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias.*, 12(1), 55–65. https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i1.05
143. Quílez-Pardo, J. y Quílez-Díaz, A.M^a (2016). Clasificación y análisis de los problemas terminológicos asociados con el aprendizaje de la química: obstáculos a superar. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13 (1), 20-35. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/18011>
144. Quintero, T y Lorenzo, G (2021). Estudio de las prácticas educativas para la enseñanza de la termodinámica en la universidad. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de Río Cuarto.
145. Rassetto, M. J., Ayuso, B., y Lopez, E. (2014). Los planes de estudio del profesorado de Biología en universidades argentinas. In P. Membiela, N. Casado, y I. Cebreiros (Eds.), *Investigaciones en el contexto universitario actual* (pp. 175–179). Educación Editora. España http://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/1927/Investigaciones_no_contexto_universitario_actual.pdf?sequence=1&isAllowed=y

146. Rocabado, O.; Carvajal H.; Núñez de Arco J.; Corach, D. (2004). Hacia la normatización de Criterios de Obtención de Evidencias en Víctimas Sobrevivientes de Agresión Sexual, Tendiente a la Identificación Molecular por Análisis de ADN. *Revista Médica*, 10 (2), 75-81.
147. Rosenberg, C., Legarralde, T. y Vilches, A. (2015). Análisis de las representaciones gráficas sobre la replicación del ADN en libros de texto. *Actas IV Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa En El Campo de Las Ciencias Exactas y Naturales*, 10.
148. Roth, W. M., (2002). Reading graphs: contributions to an integrative concept of literacy. *Journal of Curriculum Studies*, 34(1), 1-24.
149. Rudolph, C. y Maturano, C. (2021). Análisis de imágenes en libros de texto de Biología. *Revista de Educación en Biología*. Número especial, 345-348.
150. Ruiz González, C., Banet, E., y Banet, L. L. (2017). Conocimientos de los estudiantes de secundaria sobre herencia biológica: implicaciones para su enseñanza. *Revista Eureka*, 14(3), 550-569. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i3.04
151. Rusek, M. (2021). Special Issue: Research on Textbooks in Science and Mathematics Education. *Scientia in Educatione*, 12(1), 2-4. <https://doi.org/10.14712/18047106.2024>
152. Sacristán, J. (2005). El currículum: ¿Los contenidos de la enseñanza o un análisis de la práctica? En: J. Gimeno Sacristán, y A. I. Pérez Gómez. *Comprender y transformar la enseñanza*. Madrid: Morata.
153. Salsa, A., y Peralta, O. (2010). La influencia cognitiva, cultural y educativa de las representaciones externas. *Revista Irice*, 21, 7-12.
154. Sampieri, R.H., Fernández Collado, C.F. y Baptista Lucio, P. (2010). Metodología de la investigación. Ed. 5. México, DF: McGraw-Hill/Interamericana Editores
155. Sandoya, M. A. (2009). Actividades cartográficas en libros de texto de secundaria. *Anales de Geografía*, 29(2), 173-204.
156. Schönborn, K. y Bögeholz, S. (2018). Experts' Views on Translation Across Multiple External Representations in Acquiring Biological Knowledge About Ecology, Genetics, and Evolution. En David F. Treagust y Chi-Yan Tsui (Eds.), *Multiple Representations in Biological Education, Series: Models and Modeling in Science Education* (Springer, Vol. 7, pp. 111-128). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4192-8>
157. Sheredos, B., Burnston, D., Abrahamsen, A., y Bechtel, W. (2013). Why do biologists use so many diagrams? *Philosophy of Science*, 80(5), 931-944. <https://doi.org/10.1086/674047>
158. Sierra, R. A., Gallego Torres, P., y Martínez Delgado, L. (2016). Textos escolares de ciencias: la transposición didáctica y la lingüística sistémico-funcional del modelo de la doble hélice del ADN. *Revista Interamericana de Investigación, Educación y Pedagogía-RIIEP*, 227-248. <https://doi.org/10.15332/s1657-107x.2016.0002.13>
159. Stern, F., y Kampourakis, K. (2017). Teaching for genetics literacy in the post-genomic era. *Studies in Science Education*, 53(2), 193-225. <https://doi.org/10.1080/03057267.2017.1392731>
160. Torkar, G., Veldin, M., Glažar, S. A., y Podlesek, A. (2018). Why do Plants Wilt? Investigating students' understanding of water balance in plants with external representations at the macroscopic and submicroscopic levels. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(6), 2265-2276. <https://doi.org/10.29333/ejmste/87119>
161. Treagust, D. F., y Tsui, C.-Y. (2013). Multiple Representations in Biological Education. In D. F. Treagust y C.-Y. Tsui (Eds.), *Multiple Representations in*

- Biological Education, Series: Models and Modeling in Science Education* (Springer, pp. 3–19). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4192-8>
162. Treagust, D. F. y Tsui, C.-Y. (2013). Multiple Representations in Biological Education. In D. F. Treagust y C.-Y. Tsui (Eds.), *Conclusion: Contributions of Multiple Representations to Biological Education* (Springer, pp. 349–369).
163. Treagust, D. F. (2018). The Importance of Multiple Representations for Teaching and Learning Science. In M. Shelley y A. Kiray (Eds.), *Education Research Highlights in Mathematics, Science and Technology 2018* (Issue December, 2018, pp. 215–223). ISRES Publishing. <http://link.springer.com/10.1007/978-981-10-3549-4>
164. Tsui, C. Y., y Treagust, D. F. (2003). Genetics reasoning with multiple external representations. *Research in Science Education*, 33(1), 111–135. <https://doi.org/10.1023/A:1023685706290>
165. Vilouta, N., y Porro, S. (2016). Análisis de una asignatura para la educación CTS: Biología, Genética y Sociedad. *Indagatio Didactica*, 8(1), 1426–1437.
166. Vega Ecabo, J. (2005). Mentes híbridas: Cognición, representaciones externas y artefactos epistémicos AIBR. *Revista de Antropología Iberoamericana*, 0–36.
167. Vilouta, N. (2019). Conceptualización y abordaje de controversias sociocientíficas en la materia Biología, Genética y Sociedad. *Divulgatio. Perfiles académicos de posgrados*, 3(8), 1-29. Disponible en RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/2806>
168. Vojříř, K., y Rusek, M. (2019). Science education textbook research trends: a systematic literature review. *International Journal of Science Education*, 41(11), 1496–1516. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1613584>
169. Watson, J. D., y Crick, F. H. C. (1953). Molecular Structure Of Nucleic Acids. *Nature*, 171, 737–738.
170. Weidenmann, B. (1994). Codes of Instructional Pictures, en Schnotz, W. y Kulhavy, R.W. (eds.). *Comprehension of graphics. Advances in psychology*, 108, pp. 29-42. Amsterdam: Elsevier Science B.V.
171. Wiley, J., Sarmiento, D., Griffin, T. D., y Hinze, S. R. (2017). Biology textbook graphics and their impact on expectations of understanding. *Discourse Processes* 54(5-6), 463-478.
172. Wimsatt, W. (2007). La geometría analítica de la genética: estructura, función y evolución temprana de los cuadros de Punnett en E. Suárez (ed.), *Variedad infinita: ciencia y representación, un enfoque histórico y filosófico* (pp. 215-260). Editorial Limusa.
173. Wright, L. K., Grace, G. E., y Newman, D. L. (2020). Undergraduate Textbook Representations of Meiosis Neglect Essential Elements. *American Biology Teacher*, 82(5), 296–305. <https://doi.org/10.1525/abt.2020.82.5.296>
174. Ybarra, M. G. y Pujalte A. (2020). Modelización en la enseñanza de la genética y herencia en la escuela secundaria: estado del arte. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Lomas de Zamora.