



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA
EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR**

FACULTAD DE CIENCIAS

**LA ENSEÑANZA DE LA HERENCIA BIOLÓGICA: UNA PROPUESTA
DESDE EL ENFOQUE DE LA EVALUACIÓN FORMATIVA-FORMADORA**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRA EN DOCENCIA PARA
LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR
(BIOLOGÍA)**

PRESENTA:

BRENDA ADRIANA VALENCIA CIPRÉS

**DIRECTORA DE TESIS: M. en D. BEATRIZ CUENCA AGUILAR
FES IZTACALA**

MEXICO, D.F.

AGOSTO, 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Este trabajo está dedicado:

A GABRIEL, DIEGO Y SANTIAGO, las razones de mi existir. Porque su presencia es lo mejor y lo más maravilloso que la vida me pudo dar, los amo profundamente.

Agradezco ampliamente:

A mi directora de Tesis, la maestra Beatriz Cuenca Aguilar por su guía y siempre buena disposición para el desarrollo y conclusión de este trabajo. Bety, querida amiga, gracias por todos tus consejos y apoyo incondicional, por ser mi maestra académica y por tus enseñanzas de vida.

A mi comité tutor: a la Dra. Adriana Muñoz Hernández y a la Dra. Alejandra García Franco por el tiempo dedicado en la revisión de esta tesis, por sus certeras observaciones, opiniones y recomendaciones que enriquecieron el contenido del trabajo.

A los miembros del sínodo. Al Dr. Ricardo Noguera Solano por su tiempo y observaciones realizadas para la mejora del trabajo, por compartirme recursos de gran valor para mi formación académica. A la M en C. Irma Elena Dueñas García, por el tiempo dedicado a la revisión de la tesis y por sus acertadas observaciones y sugerencias.

Al Consejo Nacional para la Ciencia y la Tecnología (CONACYT) y a la Dirección General de Personal Académico (DGPA), por los recursos económicos otorgados durante el estudio de la maestría.

Al Banco de Moscas de la Facultad de Ciencias UNAM, por el material biológico donado a manera de paquetes didácticos.

Al departamento de impresiones del Colegio de Ciencias Humanidades plantel Naucalpan por las facilidades prestadas para el fotocopiado de los recursos impresos, así como a los encargados de los laboratorios donde se realizaron las actividades, por la cristalería y el equipo proporcionado.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por darme la oportunidad de seguir formándome.

Muchas y sinceras gracias:

A los alumnos de los grupos 403-B y 325-A del CCH-Naucalpan generación 2012-2014 por su entusiasta participación, porque aprendimos juntos. A los profesores titulares de los grupos: la profesora Irma Castelán Sánchez y al Profesor Miguel Valencia Ciprés por permitirme trabajar con sus alumnos.

A mi grupo de trabajo en el CCH: El Seminario para la Formación de Profesores en didáctica y Evaluación, porque juntos hemos explorado el tan complicado tema de la Evaluación Educativa y este recorrido me ha dejado valiosos aprendizajes. A Nery, Irma y Ana porque siempre son optimistas para con mi trabajo.

A mis compañeros de la MADEMS, por esas profundas y acaloradas discusiones que terminaron siempre en fructíferos productos, por las experiencias compartidas y lo aprendido a su lado. Gracias también a mis profesores por compartir su conocimiento, por su compromiso.

A mi mamá, a mi papá y a mis hermanos, porque sé que a pesar de la distancia comparten este logro conmigo. Padres gracias por impulsar mi arranque, los quiero.

A las personas que en mis ausencias me ayudaron a cuidar a mis hijitos, sin ustedes no lo hubiera logrado: Blanca, mamá, Tere, tía Paty, Gabo, y a los que, por falta de memoria pero no de amor me hizo falta nombrar.

A mi familia postiza, por su confianza y porque creen en mí, a los que están aquí y a los que ya partieron.

Especialmente a mi pepe grillo, mi compañero de vida. Gracias por tu paciencia y tu apoyo incondicional, por tu comprensión y por suplirme en momentos tan importantes de la vida de nuestras crías. No tengo palabras para describir lo que representas para mí, sólo que eres extraordinario.

Gracias especiales también para mis dos queridos hijos, porque con su apoyo, cariño y amor incondicional he podido concluir este proyecto.

Finalmente: gracias vida, gracias Dios, gracias universo por permitirme estar aquí.

Resumen

En este trabajo de tesis se describe el desarrollo y resultados de aplicación de una propuesta de enseñanza diseñada para abordar el estudio de la herencia biológica a nivel bachillerato. La orientación pedagógica de la propuesta se sustentó en el enfoque de la evaluación formativa-formadora y la determinación de la secuencia amplitud y profundidad del contenido de enseñanza se realizó a partir de la reconstrucción histórica del concepto y de las ideas previas de los estudiantes relacionadas con él. La intervención docente se llevó a cabo en el sistema de bachillerato del Colegio de Ciencias y Humanidades, en dos grupos pertenecientes al plantel Naucalpan. Los métodos para la recolección y el análisis de datos así como para la selección de la muestra de estudio estuvieron enmarcados en la perspectiva de la investigación cualitativa. Los resultados del estudio mostraron que la implementación paralela de actividades de autoevaluación y coevaluación al proceso de enseñanza y aprendizaje fue efectiva para la construcción de significados sobre la herencia biológica próximos a la noción de causalidad en Biología. Se discute y reflexiona sobre la pertinencia de la secuencia didáctica propuesta y de las situaciones de aprendizaje planteadas para la enseñanza de la herencia biológica en el bachillerato.

Palabras clave: Herencia biológica, bachillerato, evaluación formativa-formadora, ideas previas, Historia de la Ciencia.

Abstract

In this thesis work we describe the development and results of implementation of a teaching proposal designed for the study of biological inheritance in High School Education level. The pedagogical approach of the proposal was based on formative assessment, whereas the criteria for determining the sequence, depth and breadth of the content to be taught was based on the historical reconstruction of the concept and the students' preconceptions related to it. The instructional intervention was conducted in the High School Education system Colegio de Ciencias y Humanidades, in two groups at Naucalpan campus. The methods for collecting and analyzing data as well as the selection of the study sample were framed in the qualitative research perspective. The results of the study showed that the parallel implementation of self- and peer-assessment activities together with the teaching-learning process was effective for the construction of meanings about biological inheritance close to the notion of causality in Biology. We discuss and reflect about the relevance of this teaching proposal as well as that of learning situations designed to teaching biological inheritance in High School Education.

Keys words: biological inheritance, High School Education, formative assessment, misconceptions, Science's History

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	
i. Tendencias en la enseñanza de la herencia biológica.....	1
ii. Problematización.....	7
iii. Descripción general de la tesis.....	10
CAPÍTULO 1. ENCUADRE DEL TRABAJO	
1.1. La herencia biológica en el Plan de Estudios del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH): propósitos y objetivos de aprendizaje.....	13
1.2. Enfoques para la enseñanza de la herencia biológica planteados en el programa de estudio de Biología I.....	15
1.3. De la evaluación tradicional a la evaluación como reguladora del aprendizaje.....	18
CAPÍTULO 2. ELEMENTOS INTEGRADORES PARA EL DISEÑO DIDÁCTICO	
2.1. Criterios para el diseño didáctico	26
2.1.1. Dimensión epistémica: delimitación conceptual del referente de enseñanza.....	26
2.1.2. Dimensión pedagógica: análisis de las dificultades conceptuales de los alumnos de bachillerato en torno a la herencia biológica.....	36
2.1.2.1. Las ideas previas en la didáctica de las ciencias.....	36
2.1.2.2. Análisis de ideas previas sobre la herencia biológica.....	38
2.2. Diseño didáctico.....	48
2.2.1. Sobre el referente de enseñanza.....	49
2.2.2. Determinación de la secuencia, amplitud y profundidad del contenido a enseñar.....	50
2.2.3. Planteamiento de actividades.....	53

CAPÍTULO 3. LA INVESTIGACIÓN CUALITATIVA COMO ENFOQUE METODOLOGICO DEL TRABAJO

3.1. Naturaleza del enfoque cualitativo	58
3.1.1. La Teoría Fundamentada: guía para el diseño de la investigación.....	61
3.1.1.1. Generalidades de la Teoría Fundamentada.....	62
3.2. Metodología de trabajo.....	63
3.2.1. Muestra.....	65
3.2.2. Métodos para la recolección de datos.....	66
3.2.3. Aproximación instruccional.....	69
3.2.4. Métodos para el análisis de datos.....	72

CAPÍTULO 4. SOBRE LA APLICACIÓN DE LA PROPUESTA DE ENSEÑANZA Y EL ANÁLISIS DE DATOS

4.1. Resultados y análisis de resultados del primer nivel de aproximación de la secuencia didáctica: reconocimiento de lo heredable.....	74
4.1.1. Evaluación al inicio de la estrategia.....	74
4.1.2. Evaluación durante la estrategia.....	77
4.1.2.1. Categorización de ideas de la primera versión del organizador gráfico.....	79
4.1.2.2. Categorización de ideas de la segunda versión del organizador gráfico.....	81
4.1.3. Evaluación al final de la estrategia.....	87
4.2. Resultados y análisis de resultados del segundo nivel de aproximación de la secuencia didáctica: naturaleza de la estructura transmitida.....	89
4.2.1 Evaluación al inicio de la estrategia.....	90
4.2.2 Evaluación durante la estrategia.....	92
4.2.3 Evaluación al final de la estrategia.....	98

4.3. Resultados y análisis de resultados del tercer nivel de aproximación de la secuencia didáctica: mecanismos de la herencia.....	100
4.3.1. Evaluación al inicio de la estrategia.....	101
4.3.1.1. Acerca del estudio previo de los conceptos.....	101
4.3.1.2. Acerca del grado de dominio de los conceptos.....	102
4.3.2. Evaluación durante la estrategia.....	104
4.3.3. Evaluación al final de la estrategia.....	107
CAPÍTULO 5. SOBRE LA INCIDENCIA DE LA EVALUACIÓN FORMATIVA-FORMADORA EN EL CAMBIO DE LAS NOCIONES DE LOS ALUMNOS	
5.1. Identificación de posibles cambios en las nociones de los estudiantes acerca de la herencia biológica.....	110
5.2. Acciones de los estudiantes vinculadas al aprendizaje de la noción de herencia biológica como proceso causal.....	121
CAPÍTULO 6: HACIA UNA REFLEXIÓN SOBRE LA ENSEÑANZA DE LA HERENCIA BIOLÓGICA EN EL BACHILLERATO	
6.1. Consideraciones iniciales.....	129
6.2. Implicaciones del trabajo para la enseñanza.....	130
6.3. Consideraciones finales.....	132
LISTA DE REFERENCIAS	137
ANEXOS	146

i. Tendencias en la enseñanza de la herencia biológica

Debido a su naturaleza abstracta, la herencia biológica es considerada como uno de los tópicos más difíciles de enseñar y aprender (Lewis, Leach, y Wood-Robinson, 2000a; Knippels, Waarlo y Boersma, 2005), no obstante dado el impacto que los continuos avances de esta disciplina tiene sobre las sociedades humanas, se posiciona como una de las temáticas fundamentales que integran los *curricula* escolares prácticamente desde el nivel básico de la educación hasta los niveles superiores que están enmarcados dentro del área de las ciencias biológicas.

Esta situación ha derivado en el constante interés por proponer formas de enseñanza que aproximen a los estudiantes al conocimiento de los conceptos básicos de la herencia biológica con la intención de que puedan aplicarlos en su vida cotidiana (Lewis y Kattman, 2004; Knippels, *et al* 2005), dando con ello lugar a una extensa línea de investigación que se ha diversificado hacia diferentes direcciones en correspondencia con las diversas perspectivas sobre la enseñanza, aprendizaje y evaluación que se han venido desarrollado en el campo educativo.

En vista de lo anterior, es posible encontrar en la literatura trabajos que abordan la enseñanza y aprendizaje de la herencia biológica, y los conceptos que engloba, desde diferentes visiones, de los cuales resaltan por su cantidad los relacionados con las ideas previas y sus diversas líneas de investigación, particularmente la del cambio conceptual. Otros campos en los que se ha investigado también acerca de la enseñanza y aprendizaje de la temática son el de la lingüística, la historia de la ciencia, el aprendizaje autorregulado y las tecnologías de la información y la comunicación, aunque es importante hacer notar que estos trabajos no son igual de abundantes como los elaborados en la rama de las ideas previas (Base datos ERIC, 2014).

Desde sus diferentes campos estas investigaciones han puesto en evidencia que hay problemas serios con relación al aprendizaje de los contenidos de la herencia biológica y que esta complicación se relaciona en gran medida con las formas de intervención docente (Mills, Van Horne, Zhang y Boughman, 2008). Así, la

instrucción se ha convertido en el foco central de la investigación cuyos resultados han manifestado una serie de aspectos importantes a tener en cuenta en la enseñanza de la herencia biológica tales como marcos de referencia para el diseño instruccional, la identificación de obstáculos potenciales para el desarrollo conceptual, criterios para la selección y secuenciación de contenidos, la eficacia de recursos como las imágenes y multimedios, así como la estrecha vinculación apreciada entre la autoevaluación y el automonitoreo con el éxito académico, contribuciones que hacen notar la necesidad de trabajar en el diseño de estrategias didácticas que contribuyan a la mejora del aprendizaje de la herencia biológica.

En este sentido una de las perspectivas que ha demostrado resultados de aprendizaje favorables respecto a la comprensión de conceptos genéticos es el uso de analogías, particularmente el empleo de material manipulable, orientación que sostiene dos ideas centrales: por un lado que los estudiantes aprenden de diferentes maneras y por otro, que el aprendizaje táctil puede ser una buena alternativa para apoyar el dominio de conceptos abstractos (Grumbine, 2006; Woody y Himelblau, 2013). Las estrategias reportadas diseñadas bajo esta visión han documentado logros adecuados para la retención de conceptos y para la comprensión profunda de temáticas como la asociación de los genes con los rasgos, el uso de cuadros de punnett, los principios de la genética mendeliana y de conceptos asociados a ellos como fenotipo, genotipo, homocigoto, heterocigoto y alelos, así como de otros modelos de herencia por ejemplo la codominancia y herencia ligada al sexo. Los objetos manipulables empleados en estas estrategias van desde rompecabezas (DeHoff, 2010), LEGO, (Grumbine, 2006) y recetas para hacer galletas (Johnson, 1991), hasta el uso de golosinas como los osos de goma (Baker y Thomas, 1998)

Respecto a la línea de trabajo de las ideas previas, las investigaciones realizadas en torno a la enseñanza de la herencia biológica han estado enfocadas sobre todo en el aprendizaje del uso de reglas y patrones hereditarios y más recientemente en la comprensión de las estructuras y mecanismos de la herencia. En cuanto a la identificación, hay trabajos que reportan tanto listados de ideas previas como las fuentes principales que las generan, en ellos se ha manifestado que los problemas en la enseñanza de herencia se relacionan principalmente con la abundancia de

términos, que pertenecen además a diferentes niveles de organización (Knippels *et al.*, 2005), con la selección y secuenciación de contenidos (Ayuso y Banet, 2002), con el conflicto entre las creencias tradicionales y el conocimiento científico (Kibuka, 2007) y con el uso de materiales poco pertinentes, por ejemplo libros de texto e imágenes que refuerzan ideas previas.

Estas situaciones guardan relación directa con el desarrollo de concepciones alternativas a las explicaciones científicas. En sus diferentes estudios Enrique Ayuso y Enrique Banet (1995, 2002) han reportado una lista considerable de ideas previas sobre la localización y transmisión del material hereditario, mismas que han empleado como punto de partida para el diseño de estrategias instruccionales. Respecto a las características de estas actividades de enseñanza, estos autores advierten que deben promover la explicitación de las ideas previas, utilizar situaciones y ejemplos cercanos a los alumnos y estimular la reflexión. La sugerencia general que se desprende de estos trabajos es que las ideas previas de los alumnos deben ser determinadas y abordadas en la instrucción, recomendación que han adoptado como elemento didáctico primordial diversos programas de estudio, entre ellos los de Biología propuestos por el CCH.

Considerando que para el área de la genética se han reportado un número elevado de ideas previas (Banet y Ayuso, 1995; Ayuso *et al.*, 1996; Lewis y Kattmann, 2004; Knippels *et al.*, 2005; Kibuka, 2007; Lewis *et al.*, 2000), el enfoque del cambio conceptual como un medio para apoyar su superación ha tomado un lugar importante en la enseñanza del tópico (Karagöz y Mustafá, 2011). Las estrategias reportadas en la literatura diseñadas bajo este enfoque señalan la utilización de diversas técnicas y modelos para la instrucción por ejemplo analogías, aprendizaje cooperativo, procesos cognitivos y la contrastación de modelos, posturas que coinciden en que el papel del profesor es fundamental para lograr el cambio ya que es el que desarrolla las actividades para generar conflicto en las ideas previas de los alumnos y proporciona orientación sobre cómo llegar a las concepciones científicas, es decir gestiona el proceso.

En lo que toca a las investigaciones fundamentadas en el área de la lingüística, son interesantes los resultados expuestos acerca de la comunicación oral y escrita con relación a la enseñanza de conceptos genéticos. Orientados por este enfoque,

Karin Thörne y Niklas Gericke (2014) reportan hallazgos importantes sobre la complicación que presentan los alumnos para vincular los conceptos de gen y rasgo, estos autores manifiestan que la causas posibles de esta problemática es que ambos conceptos pertenecen a niveles de organización diferente y que los profesores en su discurso no contemplan el papel que juegan las proteínas en este vínculo.

El análisis semántico que estos autores realizaron sobre las explicaciones que dan los maestros cuando enseñan el tópico, reveló que aunque los docentes abordan la noción de gen-rasgo, muy pocos atribuyen a las proteínas un rol importante en esta relación, lo que deriva muchas veces en la formación o reforzamiento de ideas previas. Ante esta observación, la propuesta que se desprende del trabajo de Thörne y Gericke (2014) es que los profesores deben incluir en su enseñanza la noción de mecanismo, de manera que el concepto de proteína se use para describir cómo la información de los genes se traduce en rasgos a través su síntesis. En Biología la noción de mecanismo ha sido fundamental para la comprensión de fenómenos moleculares como la replicación del DNA y la expresión génica (Pierce, 2005), por lo tanto y considerando que los conceptos de la herencia biológica se caracterizan por su alto nivel de abstracción, se sugiere adoptar este razonamiento para la enseñanza del tópico.

Acerca del uso de la historia de la ciencia como herramienta para la enseñanza, hay documentados algunos trabajos que reportan beneficios pedagógicos de este campo de investigación para el aprendizaje de los conceptos de la herencia biológica. Richard Burian (2013) propone utilizar episodios de la historia de la genética para enseñar procesos de descubrimiento, corrección y validación del conocimiento científico. Según la visión del autor, estos episodios contienen elementos que pueden favorecer la comprensión de aspectos particulares de un concepto; en el acercamiento histórico que hace al concepto de gen delimita cuatro episodios particulares con los que describe cómo se llegó a determinar la constitución, estructura y función de estas estructuras, información que además da cuenta del funcionamiento de la ciencia. Un beneficio que se asocia a este enfoque es la posibilidad de que los estudiantes construyan explicaciones

próximas a la ciencia que les permita mirar objetivamente los avances científicos que tienen lugar en el campo de la genética.

Otro acercamiento histórico reportado como eficiente para la enseñanza de la herencia biológica es el uso de modelos históricos para determinar esquemas conceptuales de los diferentes espacios de representación (Gericke y Hagberg 2007). Respecto al concepto de gen, se ha trabajado en la construcción de dichos esquemas conceptuales utilizando modelos de diferentes etapas de la historia de la genética, información que se ha empleado como referente para establecer en las estrategias la secuencia de las actividades con miras a dirigir a los alumnos hacia los modelos vigentes.

Con relación al uso de las nuevas tecnologías, Petra Starbek, Starcic Erjavec y Cirila Peklaj (2010) proporcionan evidencias respecto a la eficacia del uso de herramientas multimedia para la enseñanza de la genética en comparación con las formas de intervención tradicional, particularmente con la enseñanza expositiva. Trabajando con estudiantes de secundaria, estas autoras realizaron un estudio cuasi-experimental en el que probaron la eficacia de cuatro formas de instrucción: la expositiva, mediante textos, mediante textos complementados con imágenes y a través de uso de animaciones. Los resultados que obtuvieron mostraron que los estudiantes que se instruyeron con el recurso multimedia y con los textos que incluían imágenes presentaron una mejor retención de la información así como una mejor comprensión de ésta, en comparación con los grupos que fueron instruidos expositivamente y con lecturas, lo que les llevó a sugerir que el uso de imágenes y herramientas multimedia son medios eficaces para la enseñanza de la genética.

Por su parte Brian White (2012) pone de relieve la contribución que el uso de softwares ha tenido para el aprendizaje de la genética, en especial para el tema de los mecanismos de la herencia. Este autor desarrolló un laboratorio virtual de genética en el que los alumnos pueden simular el proceso de herencia de un determinado rasgo proponiendo las cruces experimentales que consideren pertinentes y posteriormente interpretando los resultados obtenidos. El uso de este simulador se reporta como eficiente para la práctica del razonamiento causa-efecto así como para el planteamiento y prueba de hipótesis, habilidades que

resultan particularmente relevantes considerando que la resolución de problemas genéticos representa uno de los principales obstáculos para la enseñanza de la genética, pues aun cuando la comprensión de los conceptos genéticos es débil los estudiantes son capaces de resolver con éxito estos problemas aplicando técnicas y procedimientos que memorizan. Al igual que este simulador, hay reportes en la literatura de algunos otros que se ha aplicado con éxito en los niveles de secundaria y bachillerato.

Finalmente, con respecto a la enseñanza de la herencia biológica orientada por la visión de la autorregulación, Ayuso *et al.*, (1996) ponen de relieve que la autorreflexión y la autoevaluación son procesos cognitivos que tienen un rol relevante en el aprendizaje de los conceptos de la herencia biológica, pues estos procesos estimulan la reflexión en los alumnos llevándolos a ser conscientes de las acciones que les permiten lograr sus metas de aprendizaje. Con relación a la resolución de problemas genéticos, estos autores sugieren que hay que abordarlos de tal manera que los alumnos planteen objetivos, formulen hipótesis, planifiquen estrategias, interpreten resultados y elaboren conclusiones es decir, que la resolución de problemas debe ir más allá de procedimientos mecánicos y memorísticos.

Esto último permite vislumbrar la importancia de promover la reflexión metacognitiva en los estudiantes y aunque esta actividad no asegura que el aprendizaje de los conceptos genéticos será preciso, si puede reducir la posibilidad de construir concepciones alternativas (García y Mazzarella, 2011). En cuanto a las estrategias instruccionales enfocadas en promover la reflexión metacognitiva, Rios (1999, citado por García y Mazzarella, 2011) propone una estructura organizada en cuatro fases o niveles, la primera implica hacer un análisis detallado de la tarea a realizar, la fase dos involucra la planificación de las estrategias que se llevaron a cabo para realizar la tarea, la tercera fase promueve la autosupervisión de las actividades ejecutadas y la última fase involucra la autoevaluación de los resultados.

Así pues como se muestra en el desarrollo anterior acerca de las tendencias en la enseñanza de la herencia biológica, la instrucción de este tópico en las aulas ha sido abordada desde perspectivas diferentes, cada una de las cuales presenta aproximaciones propias para abordar un problema común: la complicación que

tienen los estudiantes para aprender los principios y conceptos de esta temática. Este común denominador deja claro que independientemente de la visión que se adopte, la búsqueda y propuesta de opciones que contribuyan al mejoramiento de la enseñanza de la herencia biológica es necesaria. En este sentido, la perspectiva pedagógica que se adopta en este trabajo es el del enfoque de la evaluación formativa-formadora, desde la consideración de que a través de la evaluación es posible promover en los alumnos el aprendizaje de los conceptos que engloba la herencia biológica.

ii. Problematización

Ya en el apartado anterior se expuso uno de los problemas que subyacen en la enseñanza de la herencia biológica: la dificultad que presentan los alumnos para aprender conceptos relacionados con este tópico dado su alto grado de abstracción y a que pertenecen a niveles de organización diferentes.

Aunada a esta dificultad se encuentra otro obstáculo que atañe a las diferentes estructuras curriculares que se plantean en los diversos sistemas de bachillerato de nuestro país, esto es la dispersión, selección y orden precario de sus contenidos de enseñanza y objetivos de aprendizaje, situación que ha repercutido visiblemente en la preparación de los alumnos.

Al respecto Juan Fidel Zorrilla (2010) señala que hay una tendencia generalizada en los diferentes sistemas de la Educación Media Superior (EMS) a incluir demasiados contenidos en los programas de estudio, hecho que redundará a su vez en otras dificultades graves como la poca calidad con que se abordan los temas y el uso de estrategias didácticas poco eficaces que buscan cubrir todos los contenidos más que el aprendizaje de los alumnos.

Desafortunadamente los intentos por mejorar esta situación se han concentrado casi en su totalidad en ejercicios burocráticos que dejan a un lado las verdaderas necesidades académicas y que han derivado en propuestas incipientes y con baja eficacia para el mejoramiento de la calidad de la educación. Sin embargo, esta situación lejos de ejercer desmotivación pone de manifiesto que las medidas tomadas no tienen forzosamente que provenir de los contextos más altos del sistema educativo, puesto que las escuelas o los propios salones de clase, en

donde los docentes tienen amplia incidencia, constituyen igualmente contextos en donde se pueden ejecutar prácticas que contribuyan al mejoramiento de la educación.

Lo anterior hace evidente que es en estos contextos más particulares donde se demanda que la práctica educativa se centre en acciones concretas que permitan a los estudiantes apropiarse de conocimientos que les sean útiles de cara al desarrollo de las sociedades actuales y que con estas acciones se pueda contrarrestar la problemática de la carga de contenidos de los programas de estudio.

Como parte de la EMS, el bachillerato del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) aunque es un sistema autónomo que se rige bajo sus propios enfoques, no está exento de las problemáticas antes expuestas. Así por ejemplo, la asignatura de Biología I del Plan de Estudios vigente del CCH es considerada por la mayoría de los docentes que la imparten como una de las actividades académicas con más dificultades para abordar dada la carga de contenidos que presenta. En experiencia personal esta situación se agrava con los aprendizajes que se ubican al final del curso como es el caso de los relacionados con la herencia biológica. La ubicación de esta temática en el programa, así como el tiempo destinado a la asignatura en general, hacen que difícilmente alcance a ser revisada o en su defecto abordada con calidad, sobre todo cuando se le da mayor peso a los contenidos que a los aprendizajes.

Es por esta razón que surge el interés por abordar este tópico en el presente trabajo, pues el estudio y comprensión de los procesos que se abordan en él resultan indispensables para el entendimiento de otros temas biológicos, especialmente el de evolución biológica. Por este motivo es necesario implementar estrategias que aseguren que el tema será revisado en clase y que promuevan la construcción de aprendizajes duraderos, además, en un contexto más general, el aprendizaje de conocimientos científicos proporciona a los estudiantes una forma diferente de ver, pensar y hablar sobre los hechos con los que cotidianamente se encuentra en contacto, el conocimiento científico permite a los escolares acceder a una cultura diferente: la científica.

En el sentido de las posturas pedagógicas que orientan el diseño de las estrategias didácticas, actualmente en el campo de la educación se apuesta a favor de la

regulación y autorregulación para el logro de aprendizajes, procesos que pueden desarrollarse a través de la evaluación, particularmente de la llamada evaluación formativa-formadora (Álvarez, 2009). Con esta visión, la evaluación educativa se concibe como una estrategia que promueve el aprendizaje de los alumnos, concepción que ha dado lugar a una línea de investigación que comienza a introducirse en el campo de la enseñanza de las ciencias (Bordas, 2001).

La evaluación vista como una estrategia para el aprendizaje ha orientado el diseño de unidades didácticas en diferentes disciplinas científicas, mostrando su efectividad para la construcción de significados (Sanmartí y Almentí, 2004), no obstante, en la didáctica de la Biología la perspectiva de la evaluación formativa-formadora ha sido poco explorada y menos aún en un tema que es reconocido como difícil de enseñar y aprender como lo es la herencia biológica.

Considerando las virtudes que pueden encontrarse en la evaluación como una estrategia para promover el aprendizaje en los alumnos, lo poco que ha sido explorada esta postura en la didáctica de la Biología, así como los requerimientos teóricos que desde la disciplina demanda la enseñanza de la herencia biológica, se plantea como pregunta a investigar si ¿la integración de actividades de autoevaluación y coevaluación al proceso de enseñanza-aprendizaje puede aproximar a los alumnos que cursan la asignatura de Biología I en el CCH a la noción de herencia biológica como un proceso causal?.

El supuesto del que se parte es que el desarrollo de una propuesta de enseñanza que integre la evaluación a lo largo de todo el proceso de enseñanza-aprendizaje apoyará a que los alumnos se aproximen a la noción de herencia biológica como un proceso causal. La concepción de evaluación de la que se parte es la descrita anteriormente esto es, la que busca la regulación y autorregulación de los alumnos, habilidades que pueden fomentarse a través de la autoevaluación y coevaluación que son actividades características de la evaluación formativa-formadora.

De esta forma, es objetivo general de la tesis diseñar una propuesta didáctica para la enseñanza de la herencia biológica en el sistema de bachillerato del CCH, que contemple tanto la secuenciación de contenidos como el planteamiento de actividades de evaluación de tipo formativo-formador para abordarlos. De manera

particular son objetivos: 1) examinar la capacidad de un grupo de alumnos del bachillerato del CCH que cursan la materia de Biología I, para supervisar y orientar su proceso de aprendizaje llevando a cabo actividades de autoevaluación y coevaluación y 2) indagar sobre las posibilidades que ofrece la evaluación formativa-formadora para que los estudiantes se aproximen a la noción de herencia biológica como un proceso causal.

Con estos planteamientos, el trabajo que se expone a continuación busca contribuir, en la medida de lo posible, en la solución de la problemática relacionada con los procedimientos de instrucción, así como ofrecer una alternativa respecto a la acción docente frente a la saturación de los contenidos en los programas de estudio. Desde esta visión, este trabajo de tesis puede aportar elementos valiosos para mejorar el aprendizaje de los conceptos relacionados con la herencia biológica en el bachillerato, particularmente en el sistema del CCH.

iii. Descripción general de la tesis

El trabajo que aquí se describe consiste en el diseño e implementación de una aproximación didáctica para el estudio de la herencia biológica en el sistema de bachillerato del CCH. Dicho diseño contempla el planteamiento de una secuencia didáctica establecida a partir de la reconstrucción histórica del concepto, así como el planteamiento de actividades de evaluación enfocadas en estimular la autoevaluación y coevaluación en los alumnos. Para estos fines el trabajo se organizó en cinco capítulos que corresponden al desarrollo de cada uno de los elementos que dieron estructura al trabajo, de manera general el contenido de cada capítulo es el siguiente:

En el capítulo uno se describe los elementos que dieron encuadre al trabajo de tesis, esto es el programa de estudios que orientó el diseño instruccional y el enfoque pedagógico bajo el cual se propusieron las actividades de aprendizaje. En este capítulo se detalla el enfoque didáctico y disciplinario que da fundamento al programa de estudios de la asignatura de Biología I del Plan de Estudios vigente del CCH, programa para el que se diseñó la propuesta didáctica aquí descrita. Se describen las características del enfoque de la evaluación formativa-formadora y se contrastan con las de la evaluación tradicional con la intención de mostrar las

virtudes que este primer enfoque ofrece para promover la enseñanza de la herencia biológica.

En el segundo capítulo se detallan los criterios considerados para el diseño didáctico que corresponden a la dimensión epistémica y a la dimensión pedagógica del contenido de enseñanza, es decir de la herencia biológica. Ambos elementos se usaron como guía para la determinación de secuencia, profundidad y amplitud con que se trató el contenido de enseñanza. Con relación a la secuenciación del contenido, tomando como referencia la reconstrucción histórica del concepto se propuso una secuencia didáctica conformada por tres niveles de aproximación: el primero abordó los aspectos macroscópicos de la herencia, es decir los rasgos, el segundo se concentró en el estudio de las estructuras transmitidas, su naturaleza, características y localización y el tercer nivel estuvo dedicado a los mecanismos de la herencia. Tomando como base esta secuencia didáctica se diseñó para cada nivel una estrategia de enseñanza estructurada por actividades planteadas desde el enfoque de la evaluación formativa-formadora.

El tercer capítulo se dedicó al enfoque metodológico del trabajo que estuvo orientado por la perspectiva cualitativa, particularmente por la metodología de la Teoría Fundamentada. Se describen aquí en un primer momento las características de este enfoque metodológico respecto a sus fundamentos filosóficos y a las técnicas empleadas para la recolección y análisis de datos. En un segundo momento se describen los instrumentos empleados para la recolección de datos, así como su aplicación, se detallan también las características de la población-muestra y se explica el procedimiento que se siguió para el análisis de datos.

En el capítulo cuatro se reportan los resultados obtenidos después de la Implementación de la aproximación didáctica, se detalla aquí la forma en que se codificaron los datos recolectados y la manera en que estos se organizaron para su posterior análisis. Esta organización se realizó empleando un sistema categorial estructurado por tres niveles de generalidad: categoría, subcategoría y concepción, agrupaciones que fueron utilizadas para construir esquemas conceptuales generales. De cada nivel de aproximación se obtuvieron al menos dos estructuras conceptuales generales dependiendo del instrumento empleado

para la recolección de datos y del momento de la estrategia (es decir inicio, desarrollo o cierre). Los datos obtenidos de los instrumentos aplicados al final de cada uno de los niveles de aproximación se emplearon para identificar las acciones que los alumnos llevaron a cabo al enfrentarse a una tarea de aprendizaje, esta identificación se realizó también por medio de un análisis categorial.

En el quinto capítulo se interpretan y discuten los resultados. Esta interpretación llevo a establecer que los alumnos construyeron esquemas conceptuales coherentes que los acercó a la noción de herencia biológica como un proceso causal. Se pone de relieve que la construcción de estos esquemas es complicada debido a la presencia de obstáculos que dificultan el desarrollo conceptual, siendo los más arraigados la idea de que la reproducción sexual es un mecanismo hereditario y que cada rasgo es causado por un gen. En cuanto a los procesos de regulación y autorregulación, las acciones llevadas a cabo por los alumnos se clasificaron como formativas o formadoras y de planeación, automonitoreo o autoevaluación. Los resultados indican la posibilidad de que al ir avanzando en los niveles de aproximación los estudiantes presentan mayor autonomía respecto a las estrategias que utilizan para realizar las tareas que se les solicitan.

La propuesta didáctica que se diseñó en este trabajo puede contribuir al aprendizaje de los conceptos que engloba el proceso de herencia biológica en dos sentidos: por un lado los profesores del bachillerato, y en particular los docentes del CCH, podrían emplear la secuencia didáctica planteada como guía para la planificación de actividades acordes a sus intereses y finalidades, es decir como orientación para el diseño de sus propias estrategias didácticas. Por otro lado, las estrategias didácticas en sí pueden ser utilizadas como recursos pertinentes para el estudio de la herencia biológica en general y en particular para lograr los objetivos de aprendizaje que para esta temática se plantean en el programa de estudios de Biología I del CCH, de manera que es posible sugerir que con esta aproximación didáctica los alumnos pudieron comprender que el material hereditario se transmite a través de diversos mecanismos.

CAPÍTULO 1

ENCUADRE DEL TRABAJO

En este capítulo se describe el entorno que enmarca el trabajo de la tesis. En un primer apartado se presenta el enfoque desde el que se aborda el estudio de la herencia biológica en los programas de Biología del Colegio de Ciencias y Humanidades, detallando en particular las características del correspondiente a Biología I programa para el que se diseñó la propuesta de enseñanza. En una segunda parte se exponen dos posturas respecto al sentido de la evaluación en la práctica educativa: la perspectiva formativa-formadora y la visión tradicional, la intención de este desarrollo es manifestar las virtudes de la primera postura para el aprendizaje de los estudiantes y con ello sustentar la decisión de adoptar este enfoque pedagógico como orientación para el diseño instruccional.

1.1. La herencia biológica en el Plan de Estudios del Colegio de Ciencias y Humanidades: propósitos y objetivos de aprendizaje

El Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) es un sistema de bachillerato que pertenece a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). En esencia, su organización general se basa en un sistema de cuatro áreas de conocimiento en las que se integran de acuerdo a criterios epistemológicos y pedagógicos diversas materias que a su vez se organizan en asignaturas.

En el mapa curricular del Plan de Estudios Actualizado del CCH, los conocimientos de orden biológico se concentran en la materia denominada *Biología* que está conferida al área de Ciencias Experimentales. Los contenidos de esta materia, entendidos como conceptos, habilidades, actitudes y valores, se distribuyen en cuatro asignaturas (Biología I,II, III y IV) que se cursan en los dos últimos años del bachillerato, las dos primeras con carácter obligatorio y las dos últimas con carácter optativo (Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], 1996). En los programas de estudio, los contenidos de naturaleza disciplinar se

plantean como conocimientos que se encuentran en construcción constante y que son producto del desarrollo histórico, social y cultural de las comunidades

Los contenidos relacionados con la herencia biológica se ubican en los programas de las asignaturas de Biología I y III, y corresponden básicamente a saberes relacionados con los mecanismos de la herencia. Para cada uno de estos contenidos están planteados propósitos y aprendizajes específicos de acuerdo con los propósitos educativos generales de cada asignatura y un aspecto que es importante resaltar es que su estudio se aborda en las últimas unidades de ambos programas.

Así por ejemplo en la asignatura de Biología I en la que se propone la enseñanza de conceptos y principios básicos de la Biología, se formula como propósito particular para los contenidos relacionados con la herencia biológica, “que los alumnos identifiquen los principales mecanismos de transmisión de la información genética” (Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], 2003, p. 16), y para ello se establecen tres objetivos de aprendizaje particulares: 1) explicar diferentes mecanismos hereditarios, 2) resolver problemas que involucren la transmisión de caracteres según distintos mecanismos hereditarios y 3) reconocer que la transmisión de las características hereditarias permite la continuidad de los sistemas vivos. Las temáticas vinculadas con estos aprendizajes son los de herencia mendeliana y herencia no mendeliana.

Por lo que respecta a la asignatura de Biología III en la que se propone la profundización de conceptos y principios biológicos teniendo como eje a la biodiversidad, el propósito señalado para los contenidos de la herencia biológica plantea que “los alumnos comprendan que los cambios que se producen en el material genético son la base molecular de la biodiversidad” y para ello se establece como objetivo de aprendizaje particular que los alumnos “comparen las relaciones entre alelos en la transmisión y expresión de la información genética, para comprender la variación” (Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], 2003, p. 34)

La organización descrita anteriormente denota una selección de contenidos que se concentra en concepciones de la herencia biológica formulados a partir del siglo XX, es decir que está enfocada en los conceptos de la llamada genética de la

transmisión. A pesar de que esta subdisciplina comprende tanto el estudio de sus principios básicos como los modos de transmisión del material hereditario, los contenidos incluidos en los programas de estudio y por tanto los propósitos y objetivos de aprendizaje planteados para ellos, advierten una inclinación hacia el estudio de los mecanismos de transmisión que se vincula muy poco con aspectos importantes para la comprensión de este fenómeno como son la identificación y definición de las unidades de la herencia, el papel de la división celular en este proceso y el pensamiento evolutivo, es decir se aprecia este planteamiento cierto grado de fragmentación.

Teniendo en consideración lo anteriormente descrito y partiendo del propósito general del programa de Biología I, del propósito específico de su tercera unidad y de los aprendizajes señalados para los contenidos relacionados con la herencia biológica, la propuesta didáctica que se hace en este trabajo se plantea con la intención de ofrecer una alternativa de enseñanza que contribuya a subsanar los puntos débiles de este programa y con ello, en la medida de lo posible, contribuir a la mejora del aprendizaje de la herencia biológica en el bachillerato. Así pues, se detalla en los párrafos siguientes los elementos disciplinarios y didácticos que enmarcan la enseñanza de los contenidos relacionados con la herencia biológica en la asignatura de Biología I del CCH, programa de estudio al que da atención la propuesta didáctica de este trabajo.

1.1.1. Enfoques para la enseñanza de la herencia biológica planteados en el programa de estudio de Biología I

La perspectiva desde la cual se plantea la enseñanza de la herencia biológica en el curso de Biología I, considera dos elementos principales: un enfoque disciplinario y un enfoque didáctico, ambos orientados hacia la enseñanza de una biología que integre tanto conceptos y principios disciplinarios como habilidades y valores (Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], 2003, p. 3).

En su esencia, el enfoque disciplinario está orientado por el pensamiento evolutivo de las causas próximas y las causas últimas que explican los fenómenos biológicos. Desde esta postura el estudio de los contenidos relacionados con la herencia biológica se centra en aspectos que dan cuenta de cómo se transmite el

material hereditario y cómo éste contribuye en la determinación de las características de los individuos, en otras palabras se refiere al estudio de las causas próximas que provocan los rasgos en los seres vivos.

Estas causas próximas corresponden a uno de los cuatro ejes complementarios propuestos para dar sentido a la secuenciación general de los contenidos del programa: las propiedades de los seres vivos. Los otros ejes son el pensamiento evolutivo, el análisis histórico y las relaciones sociedad-ciencia-tecnología, para cada uno de los cuales se formulan contenidos y aprendizajes particulares. No obstante a que el planteamiento de estos ejes complementarios tiene por finalidad una enseñanza integradora, la organización de los contenidos y sus respectivos aprendizajes se aprecian más bien desarticulados, incluso dentro de temáticas de la misma naturaleza.

A sí por ejemplo con lo que respecta a la herencia biológica, pese a que los contenidos que se desprenden de esta temática se organizan en un mismo tópico - mecanismos de la herencia - la noción de continuidad y variación se abordan como procesos independientes uno de otro; de igual manera, es difícil distinguir relación entre la naturaleza “de lo que se transmite” y los diferentes mecanismos de transmisión. Esta situación se presenta también con otros tópicos que deberían guardar relación estrecha con el estudio de la herencia biológica: los procesos de división celular, particularmente la meiosis, y la evolución; para ambos tópicos se formulan objetivos de aprendizaje en los que prácticamente no se contempla la noción de herencia biológica.

Por otra parte, en el enfoque didáctico se describe la visión que el CCH adopta respecto a los procedimientos de aprendizaje, enseñanza y evaluación en correspondencia con los principios de su Modelo Educativo. Para el diseño instruccional el conocimiento de esta perspectiva es fundamental pues de ella depende, junto con los elementos del enfoque disciplinario, la pertinencia que la aproximación instruccional pueda tener para este sistema de bachillerato en particular.

El enfoque didáctico del programa de Biología I promueve la concepción de que el aprendizaje es un proceso gradual y continuo, en el que el conocimiento nuevo se cimienta sobre las ideas anteriores. Respecto a la instrucción, la visión es que los

alumnos deben ser los actores principales del proceso de enseñanza, por lo que el diseño de propuestas didácticas debe considerar primordialmente aspectos de los estudiantes tales como sus ideas previas, edad, intereses, características socioculturales y antecedentes académicos. Con relación a la evaluación, se propone una visión integral que atienda principalmente el logro de los aprendizajes más que la cobertura de las temáticas, se sugiere por tanto una evaluación continua que contemple la diagnosis, lo formativo y lo sumativo.

Respecto al establecimiento de los objetivos de aprendizaje, se consideran tres niveles cognitivos³: 1) conocimiento, que implica recordar y reproducir la información sin modificarla; 2) comprensión, que demanda la capacidad para explicar e interpretar información; y 3) aplicación, que implica la capacidad para definir ideas generales, establecer causas y consecuencias y seleccionar conocimientos para utilizarlos en situaciones diferentes al ámbito escolar. Estos niveles se emplean tanto para orientar sobre la amplitud y profundidad con que se deben abordar los contenidos de los programas, así como para evaluar el logro de dichos objetivos de aprendizaje en términos de la adquisición de principios y conceptos.

En la siguiente tabla de especificaciones se detalla lo anterior respecto a los conocimientos relacionados con la herencia biológica.

³ El nivel cognitivo se refiere al tipo de conocimiento y está determinado por los aprendizajes. El establecimiento de estos niveles se fundamenta en los siguientes aspectos: 1) en la propuesta educativa del Modelo Educativo del CCH, así como en el enfoque disciplinario y didáctico planteado para la materia de Biología, 2) en las orientaciones señaladas en el Núcleo de Conocimientos y Formación Básicos que debe proporcionar el Bachillerato de la UNAM (Universidad Nacional autónoma de México [UNAM], 1998, p. 9) y 3) en la propuesta de Benjamín Bloom para clasificar objetivos y metas educativas (Bloom, 1973).

Tabla 1. Tabla de especificaciones para los contenidos relacionados con la herencia biológica del programa de estudios de Biología I del CCH.

Aprendizaje	Nivel cognitivo			Temática	Conceptos básicos
	1	2	3		
Explica diferentes mecanismos hereditarios		X		<ul style="list-style-type: none"> • Herencia mendeliana -Herencia dominante -Herencia recesiva -Herencia de caracteres independientes • Herencia no mendeliana -Codominancia -Herencia ligada al sexo -Alelos múltiples • Conceptos de gen y genoma • Concepto de mutación. Importancia de las mutaciones como mecanismos de variabilidad biológica.	<ul style="list-style-type: none"> • Cromosoma • Alelo • Locus • Gen • DNA⁴
Resuelve problemas que involucren la transmisión de caracteres según distintos mecanismos hereditarios.			X		
Reconoce que la transmisión de las características hereditarias permite la continuidad de los sistemas vivos.		X			

1.2. De la *evaluación tradicional a la evaluación formativa-formadora*

Sin lugar a dudas, uno de los aspectos que más preocupa al docente es el desarrollo de estrategias que permitan evaluar la adquisición del conocimiento por parte del alumno. Es importante reconocer que para lograr este objetivo, se debe atender aspectos propios de las exigencias institucionales, así como de los procedimientos de enseñanza-aprendizaje, lo que hace del proceso evaluativo una tarea compleja.

Esta complejidad ha llevado a asignar a la evaluación funciones múltiples, lo que a su vez hace confuso su sentido en la educación, pues si bien es utilizada para calificar y certificar también lo es para formar, retroalimentar, motivar o ejercer autoridad y control sobre los alumnos. Ante la problemática planteada, en este apartado se revisan dos posturas acerca de la evaluación, la visión tradicional y la visión alternativa, con la intención de reflexionar sobre su sentido en la práctica educativa. La postura que se toma frente a este problema es que dicho sentido debe orientarse principalmente hacia la promoción del aprendizaje más que a la

⁴ En los programas de Biología del CCH se emplean ADN y ARN para hacer referencia a las abreviaturas de los dos tipos de ácidos nucleicos, sin embargo considerando que este es un trabajo académico la nomenclatura empleada será la propuesta por la IUPAC-IUB (The International Union of Pure and Applied Chemistry-International Union of Biochemistry) en su edición de 1993.

acción de calificar, posición que puede identificarse en las formas de evaluación alternativas.

Para autores como Marlene Álvarez (2001), Stella Serrano (2002) y Neus Sanmartí (2007) el problema del sentido confuso de la evaluación se deriva del uso irracional e inconsciente de actividades que se emplean para evaluar, situación que hace notar una mezcla de funciones atribuidas al acto de evaluar, mismas que transitan entre la postura tradicional y la postura alternativa de la evaluación.

La visión tradicional y la visión alternativa de la evaluación son dos posturas que se contraponen entre sí pues representan formas diferentes de concebir la evaluación, resultado de las diferentes ideologías que subyacen en ellas: conservadoras en el primer caso y progresistas en el segundo (Álvarez, 2001).

La evaluación tradicional se caracteriza por que la totalidad de las actividades evaluativas se dejan en manos de los profesores y la participación de los alumnos se reduce al máximo pues desempeñan el papel de receptores pasivos que aceptan y acumulan información. Álvarez (2001) identifica a esta forma de evaluación como próxima a la racionalidad técnica, como una visión instrumental para el conocimiento basada casi exclusivamente en la recogida de información de manera cuantitativa, además la sitúa como el modelo preponderante en el campo educativo (Mateo y Martínez, 2008; Sanmartí, 2007).

Desde la racionalidad técnica por lo tanto, la evaluación tradicional se inscribe en un movimiento de medición que se centra en la invención de técnicas para medir el desempeño de los estudiantes. Este movimiento se presta perfectamente para la selección, clasificación y distribución de los alumnos en diferentes niveles o medios educativos, e incluso, para la distribución socio-laboral, con lo que se denota una clara orientación hacia la desigualdad académica. Un ejemplo de esto puede apreciarse en el desarrollo y sobreutilización de los test característicos en la etapa de la psicometría, en donde fueron utilizados como medios legítimos para certificar el coeficiente de inteligencia de los alumnos, práctica totalmente ajena a una concepción democrática de la educación. (Álvarez, 2001; Serrano, 2002).

La condición cuantitativa que define a la evaluación tradicional ha hecho coincidir a diferentes autores (Álvarez, 2001; Serrano, 2002; Sanmartí, 2004 y 2007;

Villardón, 2006) en considerar que esta postura representa uno de los problemas más serios que enfrenta la educación, pues desde esta perspectiva los procedimientos de enseñanza y aprendizaje centran su interés en la obtención de datos sumativos o terminales más que en la promoción del aprendizaje.

Este carácter cuantitativo provoca también que en los procedimientos de evaluación tradicionales sean escasas las oportunidades de regulación, pues los resultados obtenidos son definitivos y sin posibilidades de corrección o mejora. Por otra parte, bajo este carácter cuantitativo la evaluación es considerada como un fin de sí misma pues se limita a la constatación de resultados, lo que lleva a constituir la como un medio adecuado para la certificación (González, 2004; Mateo y Martínez, 2008).

Con relación al proceso de enseñanza-aprendizaje, las actividades para evaluar desde el punto de vista tradicional son planteadas como un elemento independiente a este proceso. De hecho, la instrucción, el aprendizaje y la evaluación ocupan un espacio y dedicación distintos, fijando momentos específicos para el desarrollo de cada uno. El tratamiento aislado de estos procesos da lugar a la desvinculación y falta de coherencia entre ellos, condición que ha sido señalada como un factor que incide desfavorablemente sobre la efectividad del aprendizaje de los alumnos (Pozo, 2008; Villardón, 2006; Álvarez, 2001).

Por otra parte, los procedimientos de evaluación tradicional tienden a apreciarse en términos de gratificaciones o penalizaciones, con lo que su uso se orienta hacia una forma de control. Desde esta perspectiva, la evaluación se centra en las debilidades y errores de los alumnos más que en sus logros, además de que se asume como un medio de inspección y selección (González, 2004; Serrano, 2002). Juan Ignacio Pozo (2008) menciona que mirar a la evaluación en términos de premios o castigos conduce a un aprendizaje poco eficaz pues lo que se aprende no es significativo porque no se percibe como algo de interés, a lo sumo podrá servir para la resolución de un examen.

De esta forma, desde la perspectiva tradicional se pueden identificar dos funciones atribuidas a la evaluación: una función sumativa o cuantitativa y otra controladora que condiciona el aprendizaje a través de la recompensa o

penalización de las tareas realizadas. Estas funciones pueden verse reflejadas en prácticas docentes cotidianas como por ejemplo el empleo de exámenes como único instrumento de evaluación, el diseño y ejecución de estrategias de enseñanza que centran su atención en la memorización así como en el escaso o uso inadecuado de estrategias de aprendizaje por parte de los alumnos.

Aunque resultaría muy aventurado indicar que las prácticas evaluativas planteadas bajo estas funciones tienen consecuencias negativas sobre el aprendizaje en términos de que no es duradero o significativo, lo que sí está documentado es que con tales actividades difícilmente se aprende debido a que “desempeñan un papel básicamente instrumental que se concreta en la medición de desempeños raramente demostrables” (Álvarez, 2001, p. 12).

Lo anterior cuestiona seriamente si el sentido de la evaluación debe tener una orientación cuantitativa y controladora, es decir si debe situarse en las funciones planteadas desde la visión tradicional. Personalmente, no comparto esta posición pues considero que a través de la evaluación los alumnos pueden encontrar una oportunidad para aprender.

En lo que corresponde a los planteamientos de la visión alternativa de la evaluación, en esta postura subyace una concepción socio-constructivista del aprendizaje en la que el contexto juega un papel primordial para su interpretación y por tanto para su evaluación. Bajo esta concepción se reconoce como esencial la participación activa de los alumnos en la construcción de su aprendizaje, de modo que quien aprende participa activamente en la adquisición y en la expresión de su saber, por lo tanto desde esta visión la evaluación adopta carácter cualitativo o también llamado formativo-formador, cuya finalidad que persigue es la de ayudar a los estudiantes en su propio proceso de aprendizaje fomentando en ellos la actividad reflexiva (Sanmartí, 2004; González, 2004; Álvarez, 2001).

Para asegurar este aprendizaje reflexivo los alumnos necesitan explicar, argumentar, preguntar, deliberar, discriminar, defender sus propias ideas y creencias, tienen que autoevaluarse y ser evaluados. Según Sanmartí (2007), la clave para lograr este propósito se ubica en dos aspectos, por un lado en mantener una vinculación y coherencia entre los procedimientos de enseñanza,

aprendizaje y evaluación, y por otro, en la calidad de las experiencias de aprendizaje que está mediada a su vez por la calidad de la interacción que se da en el salón de clases, entre los alumnos y entre los alumnos y el profesor.

Así pues, la evaluación formativa-formadora se relaciona directamente con aspectos de regulación y autorregulación, desde el punto de vista cognitivo este tipo de evaluación se centra en la comprensión del funcionamiento cognitivo de los alumnos frente a las tareas que se le proponen. La información que se busca se refiere a las representaciones mentales de los estudiantes y a las estrategias e instrumentos que utiliza para llegar a un resultado determinado. La finalidad es llegar a comprender por qué un alumno no entiende un concepto o no sabe hacer una determinada tarea. En esta forma de evaluación interesan más los procedimientos utilizados que los resultados, para Neus Sanmartí (1995):

Aprender es un proceso de construcción personal a través del cual el estudiante en función de las nuevas informaciones y de sus propios sistemas de aprendizaje revisa sus razonamientos, las relaciones que establece entre las nuevas informaciones y las que ya conocía, la valoración que otorga a cada conocimiento, el juicio sobre sus actuaciones, etc, es decir regula su propio proceso de aprendizaje (p. 1)

La evaluación como una forma de regulación es una idea que Pozo (2008) también ha desarrollado, pues desde el punto de vista motivacional la ha propuesto como uno de los principios de intervención para promover el aprendizaje:

Es recomendable proporcionar una evaluación del logro de los objetivos propuestos que sea algo más que un premio o un castigo, que una calificación, y proporcione una información relevante sobre las causas de los errores cometidos, de forma que conduzca a los aprendices a atribuciones basadas en factores internos, inestables y controlables. Hay que corregir al aprendiz, no sólo sus exámenes. Así mismo deberá servir para valorar el éxito de la estrategia instruccional seguida por el propio maestro, que de esta forma podrá también atribuir su éxito o fracaso a factores que ayuden a mejorar la instrucción. Se trata de que las actividades de evaluación sean también ocasión de aprendizaje tanto para aprendices como para maestros (p.333).

Ahora bien, la interrogante que surge es ¿cómo debe ser esta evaluación para fomentar el aprendizaje en los alumnos a través de la regulación? La respuesta a esta pregunta se puede encontrar en lo que en la literatura se ha denominado “evaluación alternativa”, y con la que se ha puesto en práctica el carácter formativo-formador de la evaluación. El término ha sido empleado también para nombrar otros procesos relacionados con la evaluación tales como evaluación auténtica, evaluación basada en el desempeño y evaluación por carpetas o portafolios (Sanmartí, 2007; Álvarez, 2009).

En las formas de evaluación alternativas se establece como prioridad la consistencia entre los objetivos de aprendizaje y los objetivos de evaluación, con lo que se pone de manifiesto la importancia de la vinculación entre los procesos de enseñanza, aprendizaje y evaluación, ya sea para establecer coherencia entre estos procesos o para regular los cambios que han de hacerse en ellos (Sanmartí, 2007; Villardón, 2006).

Así pues, la función reguladora o formativa-formadora identificada en la visión alternativa de la evaluación atribuye a este proceso la potencialidad de promover el aprendizaje y para ello se plantea como necesaria la participación conjunta de maestros y alumnos, cuyos roles cambian sustancialmente de los planteados en la visión tradicional.

De esta forma, es importante que los profesores conozcan las dificultades que sus alumnos tienen que superar, así como las estrategias que ponen en marcha para enfrentar dichos obstáculos, paralelamente, el acto de evaluar debe servir también al maestro como un medio para mejorar su práctica docente. Por su parte los alumnos deben alejarse de prácticas pasivas y volverse activos en su proceso de aprendizaje, involucrándose en tareas de autoevaluación, coevaluación y corrección. También es notable el cambio en las intenciones de las actividades, pues desde la función formativa-formadora dichas intenciones deben centrarse en informar a los alumnos sobre su proceso de aprendizaje.

Lo anterior pone de relieve que el éxito que puede llegar a tener la evaluación formativa-formadora en términos de logro de aprendizajes, depende en gran medida de los instrumentos de evaluación utilizados así como de la intención y los momentos en que éstos son aplicados. Por su carácter formativo dichos

instrumentos deben ser claramente diferentes a los utilizados en la evaluación tradicional, deben ser instrumentos alternativos que den cuenta de las evidencias de aprendizaje de los alumnos, considerando los diferentes estilos y situaciones de aprendizaje que se ponen en juego en el aula, y que contemplen tanto los productos finales como los procesos (Cuenca, Castelán y Torices, 2009).

A continuación de manera muy breve se muestran algunos de estos instrumentos que por su función formativa podrían contribuir a la mediación entre la disputa de evaluar para calificar o para aprender.

1. Instrumentos para evaluar contenidos declarativos. Sirven para evaluar conceptos, principios, hechos y datos. Estos contenidos se evalúan a través de pruebas orales, escritas (pregunta cerrada y abierta), objetivas, ensayos, resolución de problemas o mapas didácticos (mentales y conceptuales).
2. Instrumentos para evaluar contenidos procedimentales. La evaluación de este tipo de contenidos se realiza mediante pruebas de lápiz y papel, cuando se trata de dibujos, esquemas, análisis escrito. En el caso de otros procedimientos se puede hacer a través de la observación para lo cual puede ayudar un informe KPSI (Knowledge Student Prior Inventory), una lista de cotejo, una guía de observación, la V heurística de Gowin y la Rúbrica entre otros instrumentos.
3. Instrumentos para evaluar contenidos actitudinales. La evaluación de este tipo de contenidos se basa en la observación y análisis. Los instrumentos más utilizados para evaluar actitudes y valores son las bitácoras, diarios, bitácora COL, historias de vida, biografías, dilemas morales, escalas de actitud.

Es claro que la ejecución de una evaluación de tipo formativa es una tarea complicada, sin embargo si se antepone a esta circunstancia el posible efecto positivo que puede tener sobre el aprendizaje de nuestros alumnos, valdría la pena asumir este enfoque y adoptarlo como el sentido que la evaluación debe tener en la educación.

Bajo esta consideración, la propuesta que se plantea en este trabajo es la de diseñar una secuencia didáctica en las que se incluya a lo largo de todo el proceso de enseñanza-aprendizaje, actividades de evaluación (entendidas como

autoevaluación y coevaluación) acordes y coherentes con este proceso, es decir que se integren en un mismo momento los procedimientos de enseñanza, aprendizaje y evaluación.

En lo que respecta a las actividades de aprendizaje y tomando en cuenta las implicaciones que demanda la evaluación formativa-formadora, se considera que éstas deben:

- Privilegiar el trabajo colaborativo
- Incluir la participación del profesor, la del alumno que se autoevalúa y la de los compañeros que coevalúan.
- Comunicar con antelación los objetivos que persigue
- Fomentar la autorregulación y la regulación

Finalmente, una consideración que se debe tener presente es que la evaluación debe implicar más que la acción de aplicar exámenes o pruebas con los que se pueda dar cumplimiento a las exigencias institucionales y pragmáticas que en términos de cantidades nos demanda la valoración del conocimiento. Es posible encontrar en la evaluación un medio para promover el aprendizaje, siempre y cuando este proceso esté vinculado con los procedimientos de enseñanza y aprendizaje. En este sentido vale la pena que dentro de la práctica docente se dé la oportunidad de explorar las propiedades de la evaluación desde su lado pedagógico, es decir desde su función reguladora y que para evaluar se usen instrumentos diferentes a los exámenes, tales como los mapas didácticos las y rúbricas por mencionar algunos ejemplos. Lo anterior con miras de adoptar esta postura como el sentido que la evaluación tiene en la educación.

CAPÍTULO 2

ELEMENTOS INTEGRADORES PARA EL DISEÑO DIDÁCTICO

7

La exposición de este capítulo se desarrolla en dos partes. En la primera, se presentan los criterios considerados para el diseño didáctico, mismos que corresponden a dos componentes esenciales para el conocimiento didáctico del tema herencia biológica como contenido a bordar: su dimensión epistémica y su dimensión pedagógica. En la segunda parte del documento se describe la propuesta didáctica que se propone para la enseñanza del tópico, misma que fue diseñada a partir de los elementos derivados de ambas dimensiones. Este diseño comprende el establecimiento de la secuencia, amplitud y profundidad del contenido, así como el planteamiento de las actividades de enseñanza, aprendizaje y evaluación.

2.1 Criterios para el diseño didáctico

La determinación de la secuencia, amplitud y profundidad del contenido de enseñanza se plantea a partir del análisis de dos elementos: su reconstrucción histórica y las dificultades conceptuales de los alumnos en torno a éste. El primer elemento corresponde a la dimensión epistémica del contenido, mientras que el segundo da cuenta de su dimensión pedagógica, en lo siguiente se ahonda sobre cada uno de estos aspectos.

2.1.2 Dimensión epistémica: delimitación conceptual del referente de enseñanza

El desarrollo de este aspecto se realiza con la finalidad de tener una vigilancia disciplinaria que de sustento a la delimitación del referente de enseñanza que se emplea en este trabajo con relación al tema de la herencia biológica. Esta delimitación o marco conceptual se lleva a cabo utilizando como herramienta de análisis la historia de la ciencia, de modo que a partir de la reconstrucción histórica se identifican los momentos claves de transformación conceptual para emplearlos como hilos conductores en el diseño didáctico.

26

En el ámbito educativo, especialmente en el concerniente a la enseñanza de las ciencias, la historia ha sido valorada como una herramienta útil para definir los contenidos de enseñanza así como para su secuenciación. Esta delimitación es posible identificando por medio del análisis histórico los obstáculos epistemológicos³ que en un momento dado han impedido el desarrollo científico, así como los conceptos estructurantes⁴ que han llevado a su superación y por tanto al desarrollo de las teorías científicas actuales. Conocer los conceptos estructurantes puede ser una forma de determinar los contenidos de enseñanza (Gagliardi y Giordan, 1986; Gagliardi, 1988; García, 1998).

La noción de obstáculo epistemológico y de concepto estructurante permite apreciar que los conceptos científicos se han construido mediante rectificaciones sucesivas debido al surgimiento de nuevo conocimiento que obliga a modificar una representación determinada. Algunos autores han propuesto extrapolar esta idea al terreno de la enseñanza incorporando en el diseño de las secuencias didácticas los elementos históricos que deben operar para hacer evolucionar el pensamiento de los alumnos (Gagliardi y Giordan, 1986; Astolfi, 2006).

Desde esta consideración, se parte de la reconstrucción histórica del concepto de herencia biológica elaborado por el doctor Carlos López Beltrán (2004) para identificar los posibles obstáculos epistemológicos y conceptos estructurantes que participaron en la construcción del significado actual de éste contenido, la finalidad de contar con esta información es la tener una guía que oriente la estructuración de estrategias didácticas que aproximen a los estudiantes hacia este significado reciente. Para los fines antes mencionados se destaca lo siguiente del análisis historiográfico del autor:

³ La noción de obstáculo epistemológico proviene de los planteamientos de Gastón Bachelard en torno a la comprensión del desarrollo histórico de la ciencia. Se trata de estructuras tanto conceptuales como metodológicas que pudieron tener en el pasado un valor pero que en un momento dado obstaculizaron el desarrollo científico, estos obstáculos pueden reflejar la ideología predominante de una determinada época (García, 1998).

⁴ La idea de conceptos estructurantes fue desarrollada por Raúl Gagliardi en 1986 en relación con las concepciones básicas bachelardianas. Se trata de conceptos, ideas o acontecimientos que permiten la superación de obstáculos epistemológicos, en el terreno educativo han sido identificados como elementos que transforman el sistema cognitivo de los alumnos permitiendo la incorporación de nuevos conocimientos. (Gagliardi y Giordan, 1986; García, 1998).

López Beltrán reconoce dos acontecimientos cruciales: 1) el uso metafórico del término herencia para referirse a las cosas que se transmiten de padres a hijos tales como características físicas, conductas e incluso propiedades y títulos y 2) el cambio de esta noción por una idea de herencia percibida como un mecanismo de transmisión causal más que descriptivo, es decir por un factor concreto, físico, que es constitutivo. El primer acontecimiento hace referencia a una valoración genealógica de la herencia y el segundo a una valoración causal, a continuación se describen las ideas principales de ambas perspectivas:

1. *Valoración genealógica sobre el concepto de herencia biológica.* Esta representación sobre la herencia biológica se originó y fue predominante a mediados del siglo XVIII, con esta visión la noción de herencia se relaciona con la acumulación a lo largo de una línea familiar (genealógica) de un patrimonio hereditario que podía ser tanto físico como moral o material. El fenómeno que dio sustento a esta noción fue la apreciación de la transmisión hereditaria a través de hechos que describían el paso de características o bienes de los padres a los hijos, es decir lo hereditario se entendía como lo que los ascendientes aportaban a los descendientes.

En esta representación, el concepto de herencia es empleado como un adjetivo con el que se describían o calificaban los hechos relacionados con lo heredable, por ejemplo el color de ojos, la textura del cabello y las conductas, además esta noción se extendió de manera análoga a la transmisión de títulos y propiedades. En este acontecimiento no se explicita ningún mecanismo de transmisión específico, sin embargo se infiere que la posible ruta causal se encuentra en los fluidos que se comunican por la reproducción.

En esta etapa puede apreciarse un dominio de hechos con los que se buscaba demostrar lo que era transmitido o heredado. Algunos de los eventos o ideas históricas que conforman estos hechos se mencionan en lo siguiente, siendo oportuno señalar que es posible encontrar rastros de algunas de estas concepciones en la herencia que se enseña en las escuelas.

- Metáfora de la herencia como la mano que copia. Con esta idea se da explicación de la aparición de rasgos de los padres en los hijos aludiendo a que esto era posible porque en los infantes se copiaban los rasgos del padre, siendo estos rasgos el objeto de la herencia. Desde esta perspectiva todas las

características de los descendientes tendrían que ser similares a las de los progenitores, representando un verdadero conflicto la aparición de rasgos diferentes. En cuanto a la naturaleza de las características se plantea una explicación preformista, que bien podría ser la existencia de seres encapsulados en las simiente masculina o femenina, o la presencia de un germen preformado que contenía las características de uno u otro padre, según el caso de quién lo portaba.

- Modelo de reproducción de doble simiente. Esta noción fue propuesta para tratar de explicar la aparición de características diferentes a las de los padres en los descendientes, además también se utilizó para justificar la aparición de rasgos en los hijos no solamente del padre sino también de la madre. Esta postura se relaciona de forma natural con la visión sucesionista sobre la naturaleza de las características, en la que se propone que dichas característica se desarrollan a lo largo de varias generaciones como resultado de la mezcla de las semillas germinales durante la fecundación.

2. *Valoración causal sobre el concepto de herencia biológica.* Esta noción sobre la herencia biológica apareció en occidente a principios del siglo XIX, la idea central de esta perspectiva es la de dar a la herencia un carácter sustantivo, es decir ya no se habla de lo que es heredable sino de un proceso que existe y que es provocado por una estructura física.

Por esta razón las ideas surgidas bajo esta visión dan cuenta de una conciencia cada vez mayor de la existencia de una vía causal a la que se atribuyen las regularidades e irregularidades observadas en la herencia, por lo que centra su interés en el conocimiento de la estructura física que desencadena el proceso, así como en los mecanismos de transmisión.

Se desarrolla entonces un significado de herencia que es más causal que descriptivo y se reconoce como una función biológica que escanea todos los rasgos físicos, morales y conductuales de los progenitores para transportarlos por medio de la fecundación hacia los hijos. Las ideas que brotan de esta concepción son las siguientes:

- Localización de las causas o estructuras que dan lugar a la herencia en los humores y en la sangre. La idea inicial de este pensamiento sitúa a las

estructuras físicas que causan la transmisión de rasgos en el semen, posteriormente se propone que se ubican de manera general en los fluidos que se comunican durante la reproducción y finalmente se postula que es la sangre la que contiene los elementos que causan la herencia.

- Los elementos físicos que dan lugar a la herencia son siempre factores internos o pertenecientes al cuerpo. La propuesta central de este pensamiento es que cualquiera que fuera la causa hereditaria (humores o elementos en la sangre), ésta debía ser siempre una causa interna que actúa desde la concepción misma del individuo, descartando totalmente la posibilidad de una causa externa como el ambiente.
- Existencia de una fuerza natural que distribuye a los factores hereditarios de acuerdo con normas que a su vez cambian. Con esta idea, la herencia ya no se centra en las características que poseen los ascendientes sino en el trámite o mecanismos que controlan el paso de estas características a los descendientes.
- Noción de la genética dura o estricta. A partir del siglo XX la noción de herencia biológica es ocupada por el espacio de representación de la genética. Surgen ideas importantes como la evolución en términos de cambios en las frecuencias de los genes y conceptos como genotipo y fenotipo. Sin embargo aunque esta noción apunta hacia el significado moderno de la herencia biológica es importante mencionar que trae consigo una carga reduccionista y determinista, pues cualquier cuestión relacionada con la herencia se reduce al estudio de los genes, visión fuertemente cuestionada pues en la actualidad no hay una definición única del concepto de gen, aunado a las explicaciones que recientemente han salido a la luz acerca de la influencia del ambiente⁵ en la determinación del fenotipo.

El seguimiento de las ideas antes descritas permite identificar al menos dos cambios de pensamiento importantes en el trayecto hacia el significado moderno del concepto de herencia biológica. En la figura uno se muestra la ubicación de estos cambios en la reconstrucción histórica y en los párrafos siguientes se describen brevemente.

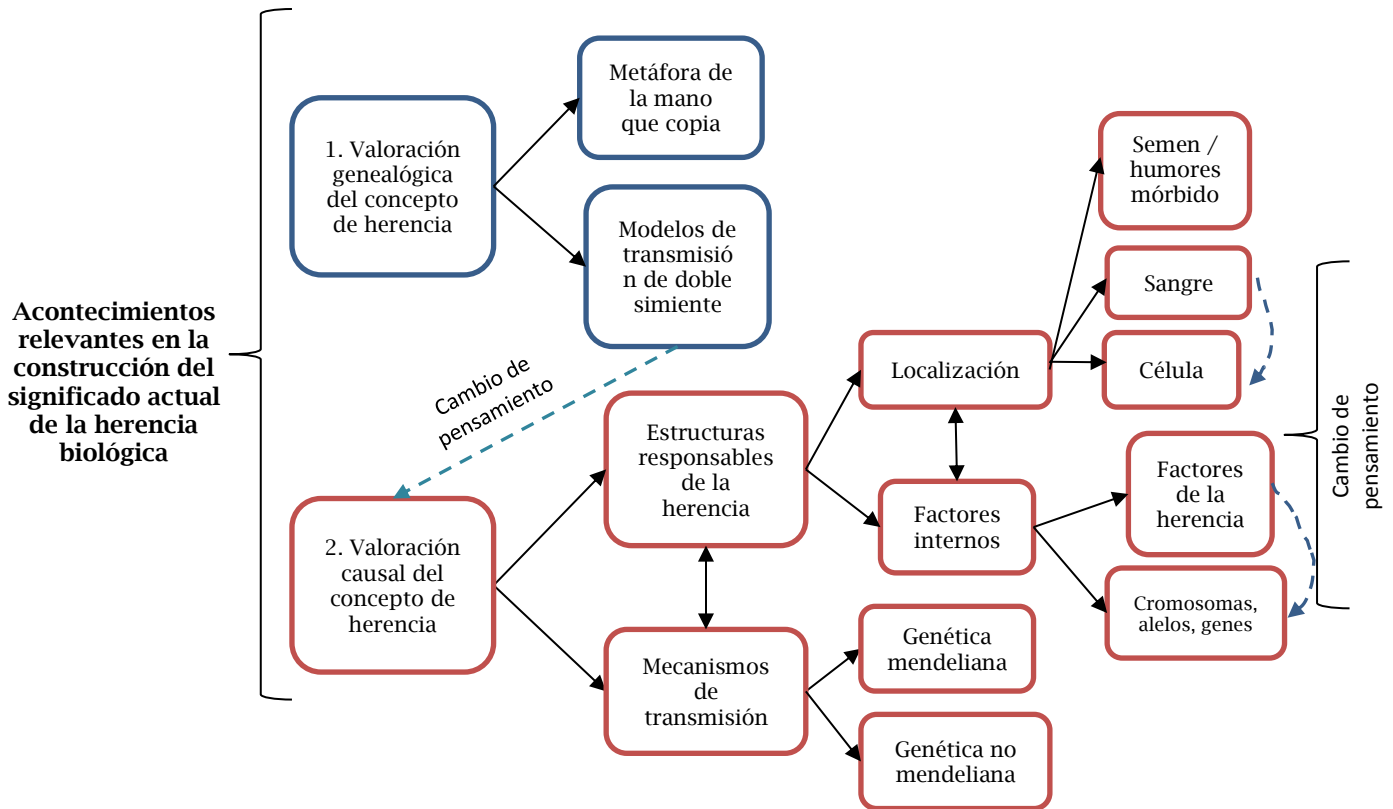


Figura 1. Cambios de pensamiento que influyeron en la construcción actual del significado de herencia biológica. Elaboración propia.

⁵ Esta visión deja a la vista una tradición histórica en cuyo espacio surgieron ideas que permitieron explicar el proceso de herencia biológica desde la perspectiva del pensamiento evolutivo: la tradición Epigenética. Estas concepciones históricas presentes desde Aristóteles y retomadas con fuerza durante los siglos XVII y XVIII, plantearon la posible influencia del ambiente sobre el desarrollo de los fenotipos, explicaciones que posteriormente desencadenaron ideas acerca de la variación y con ello sobre el origen de la diversidad biológica.

Ricardo Noguera y Rosaura Ruíz (2009) proponen que el desarrollo de la noción de herencia biológica visto desde las ideas de evolución de Charles Darwin estuvo influenciado en gran medida por las explicaciones planteadas por el físico francés Prosper Lucas (1805-1885) acerca de la herencia. Esta perspectiva centra su atención en el fenómeno de variación a través del cual se explican las regularidades e irregularidades en la transmisión y expresión de caracteres de una generación a otra, dando paso a una concepción de herencia que se torna dinámica pues si bien hay continuidad a través de la replicación del DNA, también hay variación como es resultado de las contingencias que suceden en este proceso.

Las ideas de Prosper Lucas dan cuenta entonces de dos procesos que comparten una misma causalidad: la variación y la herencia. Esta causalidad que es el material hereditario permite explicar por qué los organismos se parecen pero también por qué cambian, es decir por qué y cómo surgen diferencias individuales entre los organismos. Entre las explicaciones que este autor formulo para exponer cómo se origina la variación en los individuos se encuentran las de naturaleza epigenética o modificaciones directas como propiamente llamó.

El primer cambio se localiza en el primer acontecimiento mencionado en la reconstrucción de López Beltrán y se trata de una visión que dio pie al cuestionamiento sobre la naturaleza y localización de “lo que se hereda” es decir, sobre la conformación física de las características y su ubicación en el cuerpo de los organismos. Este primer cambio de pensamiento abrió paso a la valoración de la herencia como un fenómeno sustantivo o causal más que descriptivo, a partir de él surgieron ideas posteriores que trataron de explicar tanto los elementos como las rutas causales de la herencia.

El segundo cambio tuvo lugar en el segundo acontecimiento y a diferencia del primero este pensamiento no se derivó de cuestiones relacionadas con el conocimiento de la herencia sino con el conocimiento de las estructuras celulares, particularmente del núcleo. Se replantean aquí nociones iniciadas en la etapa anterior en cuanto a la localización y naturaleza de las causas de la herencia y emergen concepciones nuevas respecto a estos elementos así como a las posibles rutas causales.

Sobre la localización, hay una transición de ideas que van de situar estas causas en los fluidos corporales (semen y sangre) hasta ubicarlas en el interior de las células. Paralelamente se desarrollan nociones en torno a su estructura material que van desde el planteamiento de elementos de la sangre o de humores mórbidos de los líquidos seminales como elementos causales de la herencia que actúan “desde fuera” sobre el individuo durante su desarrollo embrionario, hasta la concepción de estructuras internas que actúan “desde dentro” sólo durante la conformación del organismo, perspectiva bajo la cual surgen conceptos como factores de la herencia, genes, alelos y cromosomas que abrieron paso al espacio de representación de la genética estricta.

Por lo que se refiere a las rutas causales de la herencia, la evolución de pensamientos se establece desde la noción de fluidos seminales como medio de transmisión de las características, hasta la postulación de principios y leyes estadísticas que dan explicación a la aparición de rasgos a través de las generaciones. En esta etapa se enmarcan los trabajos de Gregorio Mendel que resaltaron el hecho de que las generaciones descendientes permiten conocer la

carga hereditaria (o los factores de la herencia como propiamente los llamó) que portan los progenitores.

Es relevante mencionar que la transición de pensamientos tanto en lo que se refiere a los elementos como a las rutas causales de la herencia es resultado del avance en el conocimiento citológico sobre la división celular, sin embargo este hallazgo no se relaciona con la herencia biológica sino hasta veinte años más tarde. También es importante indicar que en este segundo cambio emerge la noción actual del concepto de herencia biológica, sin embargo el cambio que le precede jugó un papel determinante debido a que en él emergieron cuestiones esenciales que sirvieron de cimiento para la construcción de este significado reciente.

Teniendo en cuenta esto y sin la intención de ser simplista, se presentan a continuación, a juicio de la autora de este trabajo, los obstáculos epistemológicos y conceptos estructurantes que pudieron haber influido en la construcción de la noción de herencia biológica que empleamos en la actualidad. Es importante resaltar que algunas ideas que se plantean como obstáculos epistemológicos presentan similitud con las ideas previas de los alumnos por lo que la identificación de los conceptos o ideas que dieron lugar a su superación pueden ser una guía para el diseño de estrategias didácticas propuestas para apoyar la superación de las dificultades conceptuales de los estudiantes, en este sentido se emplea la información obtenida.

Los elementos básicos de la noción de herencia biológica actual se construyeron en el seno de una transición de ideas que llevaron de una valoración genealógica de este fenómeno a una valoración causal. En este camino, el primer obstáculo epistemológico que se identifica se ubica en el espacio de representaciones de la valoración genealógica de la herencia. Se trata de una noción que propone que las características de los progenitores se copian fielmente en los descendientes por lo tanto los rasgos siempre deben ser iguales en los padres y en los hijos. Esta idea se refuerza con la explicación preformista que postulaba que desde antes de la fecundación las semillas germinales de los padres contenían ya formados a los individuos o el germen que aportaba a los embriones los rasgos parentales. El

pensamiento que dio lugar a la transición de esta perspectiva hacia una valoración causal de la herencia biológica es el siguiente:

- Modelos de doble simiente. Con el surgimiento de esta propuesta se plantea la existencia de un cuerpo con masa como elemento causal de la herencia que se localiza en las semillas germinales (gametos) paternas y maternas, además se explica con más claridad las irregularidades de lo hereditario, es decir la presencia de rasgos peculiares no compartidos por todos los miembros de una línea genealógica. La doble simiente concuerda de manera natural con la postura sucesionista sobre la naturaleza de las causas de la herencia.

Un segundo obstáculo se identifica en el espacio de representación de la valoración causal de la herencia. Este obstáculo hace referencia a la identificación de los elementos causales de la herencia como elementos de la sangre y de los líquidos seminales, la dificultad radica en postular que estas causas humorales actúan durante el desarrollo embrionario modificando o proporcionando las características a las estructuras corporales aún en formación, esta idea se complementa con el establecimiento de los líquidos seminales como la ruta de transmisión de los elementos de la herencia. Las ideas o conceptos que ayudaron a superar este obstáculo son los siguientes:

- Transmisión de los elementos causales de la herencia, es decir la transferencia de un elemento causal latente a través de las generaciones que actúa no durante la etapa de desarrollo embrionario sino antes de esta, incluso antes de la concepción. Fluye entonces el pensamiento de que las causas de la herencia debían ser elementos que operan desde el interior, en otras palabras que no llegan a modificar una estructura sino que genera el desarrollo de sus características desde su interior. Se desarrolla en este espacio la idea de factor hereditario de Mendel que posteriormente se complementa con los hallazgos citológicos sobre la división celular que llevaron a la apreciación, no sólo en los gametos sino en cualquier tipo celular, de estructuras denominadas primeramente cromatina y más tarde cromosomas.
- Postulación de los diferentes mecanismos hereditarios

En la figura dos se muestran en color amarillo los conceptos o ideas que permitieron la transición de pensamiento hacia lo que ahora reconocemos como herencia biológica y en color azul se marcan los obstáculos epistemológicos identificados en cada uno de los espacios de representación, la propuesta es emplear esta secuencia de hechos como referente de enseñanza con el objetivo de establecer la secuencia, amplitud y profundidad del contenido.

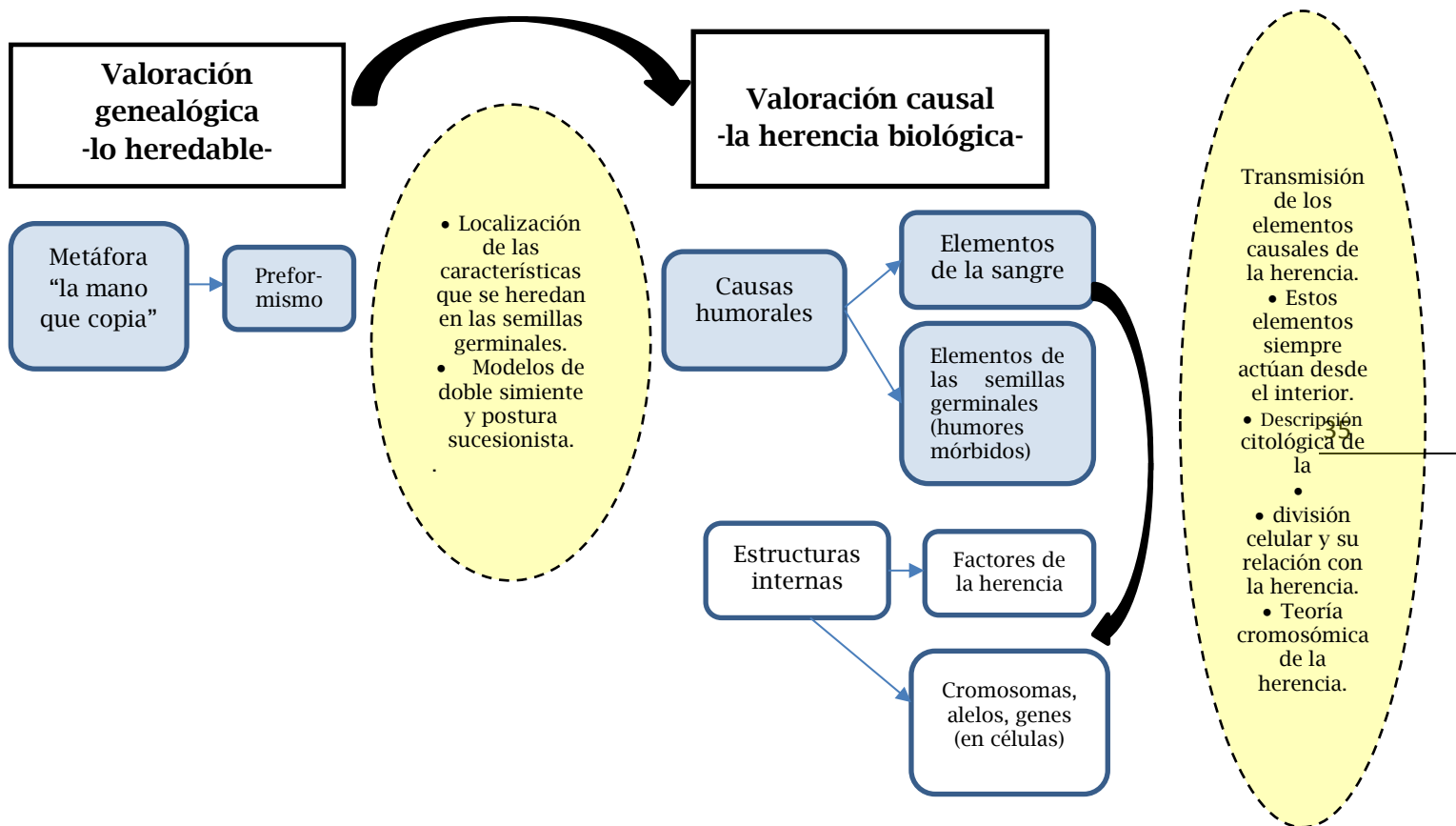


Figura 2. Obstáculos epistemológicos y conceptos estructurantes identificados en la reconstrucción histórica del concepto de herencia biológica.

2.1.3 Dimensión pedagógica: análisis de las dificultades conceptuales de los alumnos de bachillerato en torno a la herencia biológica.

La dimensión psicopedagógica del contenido da cuenta de las condiciones que influyen en la apropiación del conocimiento tales como las concepciones de los alumnos respecto al tópico, sus características e intereses y sus procesos de aprendizaje. A tenor de lo anterior, en este apartado se analizan las ideas previas de los estudiantes respecto a la herencia biológica con el propósito de identificar las dificultades conceptuales que subyacen en ellas y a partir de esta información, como se hizo con los elementos derivados de la dimensión epistémica, determinar la amplitud y profundidad con que será abordado el contenido de enseñanza.

2.1.3.1 Las ideas previas en la didáctica de las ciencias

Desde el punto de vista didáctico la investigación en la enseñanza de las ciencias se ha centrado esencialmente en el llamado enfoque de las ideas previas o concepciones alternativas (Pozo, 1993). Esta visión ha dejado claro que los estudiantes llegan a las clases de ciencias con ideas acerca de los hechos científicos que construyen a través de su experiencia y que influyen de manera notable en su proceso de aprendizaje, poniendo de relieve la necesidad de replantear la concepción de aprendizaje y consecuentemente la reformulación de los métodos de enseñanza, de evaluación y de otros aspectos de índole didáctico. (Driver, 1986).

Actualmente actividades como la estructuración del curriculum, la elaboración de recursos didácticos y el diseño de estrategias de enseñanza, aprendizaje y evaluación se desarrollan tomando como punto de referencia la información emergida de las ideas previas, hecho que resalta la importancia de que los actores involucrados en el acto educativo conozcan y tomen en cuenta las concepciones con que los alumnos enfrentan el aprendizaje de los contenidos científicos.

En la literatura, las ideas previas han sido descritas bajo distintas denominaciones situación que no es menor pues cada una de ellas refleja una postura específica respecto a la forma en que se construye el aprendizaje (Wandersee, Mintzes y Novak, 1994). Así, para hacer referencia a las ideas que los estudiantes tienen sobre los conceptos científicos se han empleado diversos términos (por ejemplo

conceptos falsos, preconcepciones, teorías implícitas, errores conceptuales y ciencia de los niños) dentro de los que destacan por su amplia aceptación el de ideas previas y el de concepciones alternativas debido a que más que advertir sobre posibles errores de los alumnos expresan una estructura conceptual o de conocimiento que no se ha transformado mediante la instrucción. El término ideas previas es el que se utiliza en este trabajo.

A lo largo de más de tres décadas de investigación sobre las ideas previas se han abordado diferentes cuestiones al respecto de ellas. Inicialmente los trabajos realizados se centraron en la identificación de concepciones de los estudiantes en diversas temáticas de física, química y biología, con lo que se conformaron extensos catálogos que daban cuenta de ellas (Pozo, 1993; Pintó, Alibeiras y Gómez, 1996). Otras investigaciones apuntaron sus objetivos hacia la caracterización de las ideas previas, trabajos de los que se desprende que las concepciones de los estudiantes no son nociones aisladas sino verdaderas redes conceptuales complejas, también llamadas esquemas representacionales, con cierto poder explicativo y predictivo (Limón y carretero, 1997); que estas representaciones generalmente no corresponden con las ideas científicamente aceptadas, que son compartidas por personas de edades, culturas, géneros y habilidades diferentes, que son resistentes al cambio incluso después de repetidas intervenciones instruccionales y que pueden presentar similitudes con ideas históricas (Wandersee *et al.*, 1994).

Posterior a los trabajos descriptivos sobre las ideas previas se advirtió acerca de la necesidad de dirigir los estudios hacia el análisis de su transformación y al diseño de procedimientos de enseñanza que promovieran su modificación, lo que se abrió paso a la línea de investigación denominada cambio conceptual (Bello, 2004; García, 2006). Bajo la visión constructivista el cambio conceptual se entiende como la reestructuración de las ideas previas y éste proceso a su vez como una forma de representar el aprendizaje (Pozo, 1999). En estos términos una de las orientaciones recientes de la didáctica de las ciencias apunta hacia el uso de estrategias instruccionales que favorezcan la reestructuración de las concepciones de los alumnos.

A tenor de lo anterior algunos autores han planteado la pertinencia de hacer uso, con sus debidas reservas, del cambio científico o epistemológico como herramienta para facilitar el cambio de las ideas previas (Gagliardi y Giordan, 1986; Pozo, 1999). Esta propuesta se deriva de una de las características que se han atribuido a las ideas previas: su semejanza con ideas formuladas por científicos y filósofos de épocas anteriores, poniendo de relieve que la historia de la ciencia puede ser una herramienta valiosa para la enseñanza de las ciencias (Wandersee *et al.*, 1994).

Según Raúl Gagliardi y André Giordan (1986) a través de la historia de la ciencia es posible definir los momentos de transformación que dieron lugar al desarrollo de las teorías científicas actuales así como las resistencias a dicha transformación. Asumiendo que las ideas previas tienen implícito un problema de construcción conceptual, estos autores consideran pertinente hacer uso del conocimiento derivado de la historia de la ciencia para ayudar a superar las dificultades conceptuales de los alumnos. Desde esta consideración en el apartado siguiente se realiza un análisis breve de ideas previas de estudiantes de bachillerato relacionadas con la herencia biológica con la finalidad de identificar las dificultades conceptuales subyacentes en ellas y establecer posibles similitudes con las ideas históricas descritas en el apartado anterior.

2.1.3.2 *Análisis de ideas previas sobre la herencia biológica*

El siguiente análisis se realiza con la finalidad de conocer las dificultades conceptuales que subyacen en las ideas previas de los alumnos. Las ideas previas utilizadas, todas correspondientes al nivel bachillerato, se tomaron de diversos artículos especializados en el tema así como de la base de datos de ideas previas publicada en la página web <http://ihm.ccadet.unam.mx/ideaspvias>.

Para el análisis se tomó como referencia la propuesta de categorización sugerida en esta base de datos que consiste en la agrupación de las ideas en niveles jerárquicos que van de menor a mayor generalidad con el objetivo de construir categorías de análisis que permitan interpretar el significado de las ideas previas. De esta forma se plantan para el presente análisis tres categorías: el primer nivel corresponde al de *concepción* que agrupa ideas que describen un mismo

fenómeno; el segundo nivel es el de tópico, categoría que incluye concepciones o grupos de concepciones que se refieren a un campo más amplio de explicación y finalmente el subtema, nivel de análisis en el que se integran tópicos de la misma naturaleza para conformar marcos de interpretación más generales.

En la tabla dos se muestra el arreglo de las ideas previas⁶ en las diferentes categorías. De esta organización resultaron doce concepciones que corresponden a ocho tópicos y éstos a su vez a cinco subtemas. Las consideraciones derivadas de esta categorización se exponen en los párrafos que continúan a la tabla.

Tabla 2. Organización de ideas previas sobre la herencia biológica en categorías de análisis

Subtema	Concepción	Tópico
1. Naturaleza de la información hereditaria	C1. Los padres transmiten a los hijos características.	1.1 Información hereditaria como rasgos observables
	C2. Las características de los organismos están determinadas por la información o las instrucciones que están contenidas en el DNA, en los genes o en los cromosomas.	1.2 Caracterización estructural de la información hereditaria
	C3. Los cromosomas están formados por dos cromátidas, cada una de ellas porta información hereditaria diferente o solamente una ellas la contienen.	
	C4. Los cromosomas forman el DNA, éste es como una escalera que se encuentra dentro de las células rodeando o conteniendo a los genes que son secuencias codificadoras que dan lugar a las proteínas.	
2. Localización del material hereditario	C5. La información hereditaria se encuentra únicamente en las células sexuales. Esta información está contenida en genes y cromosomas sexuales que pueden ser hembras y machos, los primeros se localizan en los óvulos mientras que los segundos se ubican en los espermatozoides.	2.1 Ubicación del material hereditario en las células sexuales
	C6. Cada célula contiene sus propios genes, cromosomas e información genética, ya sea porque las células realizan funciones diferentes o porque pertenecen a individuos diferentes. La información genética puede pasar de célula a célula.	2.2 Ubicación del material hereditario en todo tipo de células.
3.	C7. Los gametos portan cromosomas que contienen la información hereditaria. Durante la reproducción	3.1

⁶ El listado de estas ideas se incluye en la sección de los anexos

División celular y herencia	sexual los gametos se unen dando lugar a un cigoto o célula fecundada que al duplicarse reparte la información a cada una de las células.	Meiosis y herencia
4. Mecanismos de la herencia	C8. Los genes dominantes son mejores o más fuertes que los recesivos, por eso tienen poder sobre ellos.	4.1 Herencia mendeliana
	C.9 En la codominancia se mezclan los genes de los progenitores y forman un fenotipo intermedio.	
	C10. Una característica está determinada por más de un gen cuando en los descendientes se manifiesta de manera diferente que en los progenitores.	4.2 Herencia no mendeliana
	C11. Una característica con un rango amplio de fenotipos (característica continua) está determinada por la acción de muchos genes y la interacción epistática entre ellos.	
5. Seres vivos y material hereditario	C12. Sólo algunos seres vivos tienen información hereditaria, el humano es uno de ellos.	5.1 Seres vivos y material hereditario

1. *Naturaleza de la información hereditaria.* En este conjunto se agrupan ideas que hacen referencia a la noción de herencia biológica basándose en la percepción que se tiene sobre el material hereditario. Dicha percepción está orientada hacia dos direcciones diferentes: la información hereditaria entendida como rasgos observables y la información hereditaria caracterizada como una entidad física.

En el primer tópico la información hereditaria se percibe a través de lo que se observa por ejemplo rasgos físicos como el color de ojos, la textura del cabello y el color de la piel, características que se atribuyen a los padres pero sin especificar cómo es su estructura física-si es que la tienen-, su localización precisa y la forma en que se transmiten, en otras palabras hay claridad en que ambos padres transmiten información pero hay confusión acerca de lo que se transmite. En estos términos la herencia se explica a través de hechos observables, por lo que no hay una representación física del material hereditario, esta representación es más bien descriptiva.

En el segundo tópico, la información hereditaria se relaciona con estructuras concretas que portan características en miniatura o la información que las origina. Las concepciones agrupadas aquí hacen alusión a la caracterización estructural

del DNA, los genes y los cromosomas, con lo que la herencia se explica como la transmisión de estas estructuras de los padres a los hijos.

Aunque en este tópico el material hereditario se advierte como un posible factor o estructura física que es responsable de la herencia, no se reconocen en este material grados de compactación de modo que el DNA, los genes y los cromosomas se aprecian en realidad como “lugares” o “sitios” donde se encuentra la información hereditaria que además no guardan ninguna relación entre sí. En cuanto a la estructura de estos elementos existen también imprecisiones, por ejemplo los alumnos tienen un modelo confuso de cromosoma, sobresaliendo el hecho de que en algunos casos se les atribuyen características humanas como la capacidad de decisión.

2. *Localización del material hereditario.* Las ideas reunidas en este subtema dan cuenta de dos formas de pensamiento respecto a la localización del material hereditario: por un lado se le ubica exclusivamente en las células sexuales mientras que por otro se sitúa en todo tipo de célula. Ciertamente las ideas de este subtema tienden a reconocer que los factores causales de la herencia se localizan en las células, sin embargo este reconocimiento presenta imprecisiones de consideración.

En primer lugar puede mencionarse que aunque el material hereditario es reconocido como un elemento físico se piensa que existen diferentes tipos de éste dependiendo del tipo de célula donde se localice, un ejemplo de ello se aprecia en las ideas que señalan que los factores que determinan las características sexuales se encuentran en las células sexuales. Esta noción se extrapola a nivel de individuo de manera que se piensa que los genes de una persona son diferentes a los de otra, incluso se reconoce como diferente el material hereditario de un hombre y el de una mujer.

En segundo lugar, se identifican explicaciones antropocéntricas que otorgan género al material hereditario con lo que se califica a los cromosomas sexuales como hembras o machos dependiendo el género del individuo que los contenga. Esta noción se refuerza con la concepción que indica que el material hereditario se localiza únicamente en los gametos debido a que son las células que se unen posibilitando la mezcla de los factores que portan.

Finalmente puede percibirse una confusión entre los términos células sexuales y cromosomas sexuales ya que ambos son empleados para referirse a material hereditario que determina características sexuales.

3. *División celular y herencia.* Las ideas previas concentradas en este subtema proporcionan información acerca de aspectos relacionados con la división del material hereditario. Aunque en las concepciones es posible distinguir el reconocimiento de las líneas celulares somática y germinal, hay escasa comprensión sobre los procesos citológicos que les dan origen, esto es la mitosis y meiosis, así como de las implicaciones que tienen en la herencia biológica.

Es común que la herencia se relacione con la reproducción sexual, sin embargo las explicaciones en torno a este hecho se centran en el proceso de fecundación, que al parecer de los alumnos conlleva a la unión de los gametos y a la consecuente mezcla de información que portan, dejando de lado casi por completo el evento de división meiótica que precede para la formación de estas células. Lo anterior deja ver que aunque se reconoce que los gametos contienen información hereditaria hay poco o nulo conocimiento acerca de su nivel de ploidía y por lo tanto sobre el proceso de meiosis que lo determina, los productos de esta forma de división celular así como su relación con la herencia biológica. Esta condición repercute especialmente en la resolución de problemas pues frecuentemente al representar a los gametos no se considera la naturaleza probabilística de la meiosis, reduciendo el ejercicio a prácticas rutinarias que consisten en la aplicación de algoritmos (Klinnear, 1993 citado por DeHoff, 2010; Ayuso, Banet y Abellán, 1996).

Para el caso de la línea somática se presenta una situación similar, hay noción de que posterior a la fecundación prosiguen en la célula resultante una serie de divisiones que forman más células y que reparten el material hereditario en cada una de ellas, no obstante tampoco en este caso se distingue el tipo de división celular que las origina y consecuentemente el nivel de ploidía que resulta de este proceso.

Lo descrito anteriormente coincide con dificultades reportadas en la literatura que remarcan por ejemplo la poca distinción que los estudiantes hacen entre mitosis y meiosis, la falta de conexión entre la reproducción sexual en general y la meiosis en particular con los conceptos de la herencia, así como la dificultad para

diferenciar las células somáticas y las células reproductoras (Lewis, Leach y Wood-Robinson, 2000; Ayuso y Banet, 2002 y DeHoff, 2010).

4. *Mecanismos de la herencia.* Al respecto de los mecanismos de transmisión del material hereditario es frecuente atribuir a los factores hereditarios características humanas (inteligencia, poder, capacidad de decisión, fuerza y debilidad) que se plantean para describir el logro de propósitos como ser más abundantes que otros, tener mayor capacidad adaptativa, ejercer fuerza para ocultar o dominar a más débiles, por mencionar algunos. Lo anterior permite apreciar que la dominancia y la recesividad son los mecanismos hereditarios en los que principalmente se centran los estudiantes, sin embargo éstos son explicados bajo significativas imprecisiones por ejemplo, contextualizarlos en el sentido del poder que ejerce un carácter fuerte sobre uno más débil, con lo que surgen nociones como características “poderosas” o “abundantes” que se relacionan con los alelos dominantes o características “ocultas” o “reemplazadas” que se entienden como los caracteres recesivos. Esta última noción lleva a considerar que los alelos recesivos no corresponden a información expresada a través de la transcripción y traducción.

Otra dificultad radica en suponer equivalentes los términos empleados para referirse a los factores que se heredan: genes, cromosomas, características o información, lo que conlleva a no establecer diferencias entre genotipo y fenotipo.

Finalmente aunque es posible percibir en las ideas previas nociones relacionadas con mecanismos de la herencia no mendelianos, la tendencia es describir la transmisión de características discontinuas pues es frecuentemente que se adjudique un rasgo a un solo gen, es decir que un gen es responsable del control completo de un fenotipo exhibido. Así cuando se presenta una característica continua, en otras palabras con un rango amplio de fenotipos como por ejemplo la altura, las explicaciones tienden a suponer la presencia de muchos genes actuando de manera independiente sobre cada uno de los rasgos observados, no obstante este fenómeno es reconocido como poligenia.

5. *Seres vivos y material hereditario.* En este subtema se reúnen ideas que hacen alusión a la presencia de material hereditario en los seres vivos, al respecto la noción que prevalece es que solamente los humanos y algunos animales cuentan

con factores de la herencia. Sobre la estructura, localización y mecanismos de transmisión del material hereditario, las ideas expuestas corresponden a las descritas en los puntos anteriores de forma que aunque se reconocen factores hereditarios en los humanos y otros animales, para hacer referencia a ellos se emplean como sinónimos los términos información, gen, cromosoma, característica y DNA. Es también recurrente que la distinción entre células somáticas y células sexuales se realice considerando su presencia únicamente en el hombre, de tal modo que resulta complicado reconocer que otras especies tienen gametos y por lo tanto que en ellos se lleva a cabo el proceso de división meiótica.

Jenny Lewis, John Leach y Colin Wood-Robinson (2000) señalan que esta falta de reconocimiento se debe en gran parte a la poca o nula comprensión del proceso de síntesis de proteínas, lo que lleva a los estudiantes a no darse cuenta de que todos los organismos vivos requieren información hereditaria.

En la figura tres se presenta un mapa de conceptos que integra la información de los marcos de interpretación anteriormente descritos. En este organizador se intenta mostrar que aunque aparentemente las nociones de los estudiantes se posicionan en una visión causal de la herencia biológica, es decir que el fenómeno se describe como un mecanismo en el que están involucrados factores físicos, al parecer tienen una base más bien descriptiva que se concentra en el establecimiento de atributos a “lo que se hereda” para explicar la aparición de rasgos en los organismos.

Esta consideración se representa en el mapa a través de líneas punteadas que señalan como a pesar de que existe la noción de “material hereditario” el concepto tiende a retornar a la rama descriptiva cuando se hace uso de suposiciones antropocéntricas⁷ y teleológicas⁸ para dar cuenta de su significado, alejando el pensamiento de los estudiantes de una apreciación verdaderamente causal. Ejemplo de ello se presenta en al menos tres aspectos relacionados con este concepto: su representación física, que es a través de estructuras que contienen

⁷ Las explicaciones antropomórficas se basan en el uso de atributos humanos como intención o conciencia a organismos no humanos (Southerland et al, 2001 citado por González, 2011).

⁸ La teleología indica una relación de medio-fin para explicar ciertos fenómenos biológicos por ejemplo, cómo ciertas estructuras se construyen de tal manera que están adaptadas para sus respectivas funciones, o la forma en la que algunas funciones se llevan a cabo (Cheng-Wai, 2009).

en pequeño las características que determinan; su localización, que se ubica en células diseñadas para permitir su unión y mezcla; así como en los mecanismos para su transmisión, que se contextualizan en el sentido de atributos humanos y medios para lograr fines.

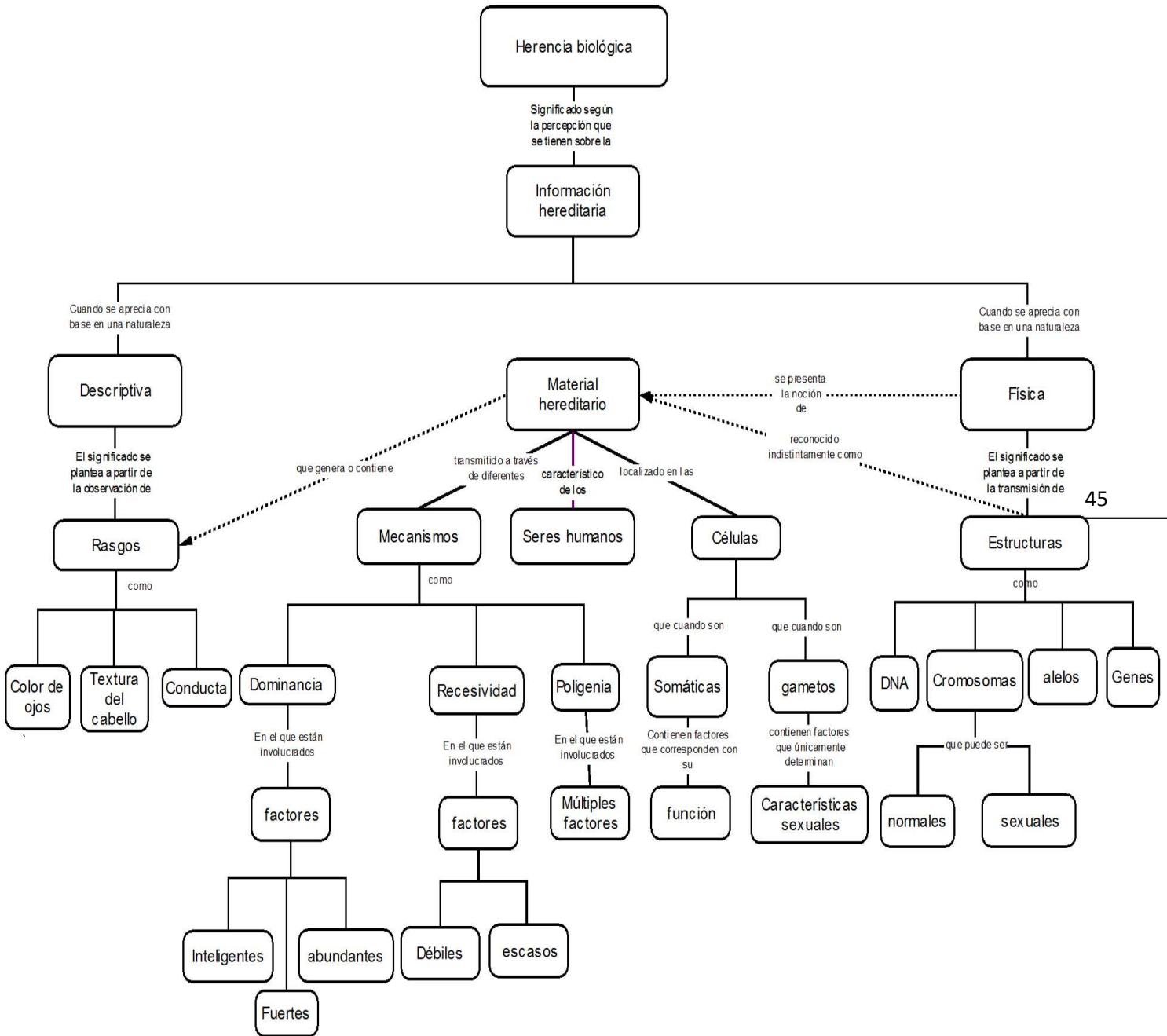


Figura 3. Mapa conceptual: conocimiento de los estudiantes de bachillerato acerca de la herencia biológica. Elaboración propia.

Por otra parte, es posible identificar en la reconstrucción histórica del concepto nociones similares a las de los alumnos, situación que permite subrayar dos hechos importantes para el diseño de la secuencia didáctica, por un lado confirmar la característica atribuida a las ideas previas referida a su paralelismo con algunas ideas históricas y por otro, reconocer el papel central que las explicaciones teleológicas han jugado en la estructuración del concepto de herencia, a tenor de que algunas de las ideas primordiales que dieron lugar a su significado muestran esta naturaleza.

Así, en cuanto al primero de los aspectos arriba remarcados, el establecimiento de los puntos de similitud entre las ideas previas y las nociones históricas permite ubicar el pensamiento de los estudiantes en la estructuración histórica del concepto. Esta comparación muestra que las ideas de los alumnos en torno a la herencia biológica se posicionan en su mayoría en el acontecimiento correspondiente a la valoración genealógica del fenómeno, de forma que el criterio principal en el que se basan sus explicaciones es la observación. En la tabla tres se presentan los puntos de coincidencia entre ambos pensamientos.

Tabla 3. Correspondencia entre las ideas previas de los alumnos y las ideas históricas relacionadas con la herencia biológica.

Concepciones de los alumnos	Acontecimiento histórico
La información hereditaria es apreciada a partir de rasgos observables. La herencia se explica a través de lo que se ve: rasgos, comportamientos, incluso cosas materiales como tierras o dinero.	Valoración genealógica. Metáfora de “la mano que copia” para explicar la presencia de rasgos en los descendientes. Observación de hechos con lo que se trata de explicar lo que es transmitido o heredado.
La naturaleza física de la información hereditaria se relaciona con estructuras diversas que contienen rasgos en miniatura, por ejemplo cromosomas, genes, gametos.	Valoración genealógica. Naturaleza preformista de la información hereditaria: seres encapsulados en las semillas germinales o germen preformado.
	Valoración causal. Estructuras internas que actúan desde “adentro” durante la conformación del organismo.

Localización del material hereditario en gametos debido a que son las células que se unen durante la fecundación posibilitando la mezcla de los factores que portan.	Valoración genealógica. Modelos de transmisión de doble simiente que sitúan los rasgos en las semillas germinales que se mezclan durante la fecundación, de esta manera aparecen a lo largo de varias generaciones.
Relación herencia-fecundación. (meiosis)	
Mecanismos de transmisión de las estructuras hereditarias contextualizados en el sentido de poder-debilidad, mayor capacidad de adaptación, abundante-escaso. Cantidad de información con la que contribuye cada progenitor es variable.	Valoración genealógica. Metáfora de la mano que copia para explicar que los rasgos que se copian son principalmente los del padre. Valoración genealógica. Modelos de transmisión de doble simiente para explicar la presencia de rasgos en los hijos tanto del padre como de la madre o rasgos diferentes.

Por lo que se refiere al segundo aspecto, en la enseñanza de las ciencias, particularmente en la biología, el carácter teleológico de las explicaciones de los alumnos se ha discutido en dos sentidos (González, 2011), por una parte se señala como un rasgo negativo debido a que es considerado un pensamiento opuesto a las explicaciones científicas que se plantean más bien de naturaleza causal y por otra, se destaca su valor heurístico que desde el punto de vista didáctico reside en su utilidad para favorecer la comprensión de los fenómenos biológicos, perspectiva que se deriva de la hipótesis⁹ recientemente formulada en la filosofía de la ciencia que señala al pensamiento teleológico como elemento esencial para la construcción del conocimiento científico.

Esta última postura es en esencia la que toma la visión histórica al proponer que los eventos sucedidos antes de la etapa mendeliana jugaron un papel determinante en la estructuración del concepto de herencia, sucesos que llevaron de la sola observación de hechos que demostraban la transmisión de rasgos

⁹ Con relación a esta tesis, Michael Chase (2011) ha manifestado que “Las objeciones contra la explicación teleológica han variado a través de la historia. Lo que tienen en común es que consideran a tales explicaciones como demasiado metafísicas, con todas las preocupaciones sobre la verificabilidad, la borrosidad, el antropomorfismo que implica este término (...) yo he sugerido que este no es necesariamente el caso, las explicaciones teleológicas podrían revelarse útiles para una concepción del origen de la orden que se opone al creacionismo o al diseño inteligente”.

físicos o conductuales, a la búsqueda de los factores que los causaban, o en palabras de López Beltrán “del paso de la forma adjetival del término al sustantivo que nos resulta hoy habitual”. Asumiendo esta postura y como se mencionó en la parte final del desarrollo de la dimensión epistémica, se emplea como referente de enseñanza el recorrido histórico que dio forma a la estructuración del concepto de herencia, esquema de manera general puede representarse como la transición de la apreciación descriptiva-demostrativa del fenómeno a su reconocimiento como un proceso causal.

Partiendo de este referente de enseñanza así como de la información derivada del análisis de las ideas previas, en el apartado siguiente se presenta el diseño didáctico que se propone para abordar el tema de la herencia biológica en el bachillerato.

2.2. *Diseño didáctico*

El diseño didáctico que se describe a continuación se estructura a partir de la información derivada de la dimensión epistémica y pedagógica del contenido con la finalidad de plantear una propuesta didáctica que aproxime a los estudiantes a un modelo causal de la herencia biológica. Esta propuesta didáctica se basa en los fundamentos de la visión cognitivista¹⁰ de la evaluación formativa-formadora de modo que busca promover la regulación del aprendizaje a través de la autoevaluación y la coevaluación. La idea central de la propuesta es integrar el proceso de evaluación a lo largo de todo el proceso de enseñanza y aprendizaje con la intención de evidenciar las acciones o estrategias que los alumnos realizan frente a las actividades que se les formulan y relacionarlas con el logro de los objetivos de aprendizaje, es decir con su grado de aproximación al referente de enseñanza.

¹⁰ Desde el punto de vista cognitivo la evaluación formativa-formadora se centra en la comprensión del funcionamiento cognitivo del estudiante frente a las tareas que se le proponen. La información que se busca se refiere a las representaciones mentales del alumno y a las estrategias que utiliza para llegar a un resultado determinado, la finalidad es llegar a comprender porque un alumno no entiende un concepto o no sabe hacer una determinada tarea. Esta evaluación tiene pues la finalidad de regular tanto el proceso de enseñanza como de aprendizaje (Sanmartí, 2007).

2.2.1. Sobre el referente de enseñanza

En la actualidad los fenómenos, patrones y entidades que estudian las diversas disciplinas biológicas son explicados como procesos causales (Velázquez, 2009; Martínez, 2013). Desde la década de los cincuenta la causalidad en biología ha sido un tópico de intenso debate e investigación que se ha centrado principalmente en el estudio de las causas que dan lugar a los fenómenos biológicos, así como en el rol causal de los elementos involucrados en éstos tales como las entidades físicas y el ambiente, poniendo con ello de manifiesto que los procesos biológicos son causados por diversos factores o mecanismos de la naturaleza.

Teniendo consciencia de que el modelo de causalidad que figura en las explicaciones biológicas contemporáneas sugiere una *causalidad compleja y multifactorial*¹¹ que relaciona diferentes niveles de organización y diferentes escalas de tiempo, la tradición de las causas próximas y últimas propuesta por Ernest Mayr es la que orienta este trabajo considerando que durante mucho tiempo ha sido el marco conceptual bajo el cual se han establecido los dominios, métodos y objetivos de la biología y hasta hoy sigue siendo ampliamente aceptada. No obstante es importante mencionar que este modelo se adopta tomando en cuenta la observación expresada por algunos autores de que los dos tipos de causas no deben ser vistos como dos alternativas sino como explicaciones complementarias de modo que la biología próxima de los organismos se aprecie también como un aspecto de su biología evolutiva (Laland, Sterelny, Odling-Smee, Hoppitt y Uller, 2011).

Así en este trabajo, al ubicar a la herencia biológica dentro de esta perspectiva de la causalidad, la enseñanza de este tópico se centra en el estudio de las estructuras y mecanismos por los que el fenómeno se produce y se vinculan con su efecto en la evolución, en otras palabras la instrucción se enfoca en las explicaciones funcionales del fenómeno remarcando su complementariedad con

¹¹ Este modelo de causalidad denominado modelo multinivel o de causalidad recíproca se propone como un nuevo marco conceptual que da cabida a los avances que en las últimas décadas se han presentado en las diferentes disciplinas de la biología. Este modelo deja en claro que la causalidad es multifactorial y bidireccional por lo que relaciona diversos niveles de organización y escalas de tiempo, en oposición con el modelo de Mayr que se plantea más bien como lineal y unidireccional. Es importante mencionar que este nuevo modelo de causalidad biológica es aplicado únicamente a casos especiales tales como la selección sexual y la coevolución (Martínez, 2013; Laland, et al, 2011).

las explicaciones evolutivas. El camino que se propone para lograr este propósito es transitar a través de diversas actividades por los distintos momentos de transformación conceptual que se identificaron en la reconstrucción histórica, con ello además de pretender acercar a los estudiantes a la noción de herencia biológica como un proceso causal, se intenta también poner de relieve que la explicación del fenómeno no es un hecho acabado sino que está en constante construcción.

2.2.2. Determinación de la secuencia, amplitud y profundidad del contenido

Retomando la secuencia de hechos históricos que dieron lugar a la valoración causal de la herencia biológica y partiendo de las dificultades conceptuales de los alumnos identificadas en el análisis de las ideas previas, en lo que sigue se presenta la secuencia didáctica que se plantea para acercar a los estudiantes a la noción de herencia biológica como un proceso causal. La propuesta se integra por tres niveles de aproximación que se describen a continuación:

- ***Primer nivel de aproximación: reconocimiento de lo heredable.*** Esta fase de la secuencia didáctica aborda la etapa descriptiva o adjetival de la herencia biológica reconocida tanto en la reconstrucción histórica del concepto como en las ideas previas de los alumnos. El elemento principal del que parte es la observación, medio que se utiliza para mostrar ejemplos que permitan apreciar la transmisión de rasgos con la intención de promover la reflexión acerca de lo que los origina, la finalidad es tener un primer acercamiento a la vinculación entre las características que se observan y los factores físicos que los causan.

Así, en este nivel es importante que los alumnos hagan distinción entre los rasgos y las estructuras que los originan y que comprendan que los rasgos no se heredan directamente sino que lo que se transmite es material hereditario, específicamente genes. Se introducen por tanto aquí los términos de genotipo y fenotipo. De esta forma en esta etapa se promueve uno de los principios esenciales de la genética moderna: la distinción entre genotipo y fenotipo, se busca que los estudiantes comprendan que aunque el fenotipo está influido, al menos en parte por el genotipo, los organismos no le transmiten a su descendencia el fenotipo, sino que lo que se hereda es material concreto: genes.

- ***Segundo nivel de aproximación: Naturaleza de la estructura transmitida.***

Este nivel da atención a la noción de factor hereditario o unidad física de la herencia. En la reconstrucción histórica las diversas ideas trazadas en torno a este término se ubican en el espacio de la valoración causal de la herencia y varias de ellas se corresponden con algunas ideas previas de los estudiantes; en ambos casos las representaciones dan cuenta de las estructuras sugeridas como el material de la herencia así como de su localización.

Actualmente, el gen es reconocido como el factor o unidad fundamental de la herencia (Pierce, 2005; Gallardo 2011,), sin embargo ante esta afirmación es importante tener en consideración dos cosas: por un lado que el significado que se le da a este concepto varía según los distintos aspectos de la herencia que se exploren, lo que hace primordial señalar que la definición que se emplea en este trabajo atañe al contexto de los mecanismos de la herencia o genética de transmisión. Por otro lado que las distintas representaciones que precedieron al concepto de gen fueron esenciales para la construcción de su significado actual, razón por la cual sucesos como la descripción de los cromosomas, la ubicación de los genes en ellos y la comprensión del papel que juega la meiosis en la herencia lideran los saberes que se abordan en este nivel.

Así, el conocimiento que se promueve en este nivel se concentra en la caracterización del material hereditario y para ello se plantea su estudio con base a tres aspectos de este concepto: su constitución, su disposición en la célula y su reparto cuando ésta se divide. Con esta caracterización se da continuidad a la construcción de la idea iniciada en el nivel anterior en relación a que los rasgos son causados por estructuras materiales.

En cuanto a la constitución del material hereditario se puntualiza que los ácidos nucleicos conforman este material. Con ello se toca de manera general información relativa a estas moléculas orgánicas, tal como que hay dos tipos: DNA y RNA, que en ellas se encuentra codificada la información que causa los rasgos, que esta información se organiza en pequeños intervalos denominados genes y que por tanto cada gen es una unidad de información que codifica para una característica o que contribuye junto a otros genes a la determinación de una característica.

Por su parte en cuanto a la organización del material hereditario se revisan sus diferentes niveles de compactación centrandó la atención en la estructura y función de los cromosomas, subrayando el hecho de que en estas estructuras se localizan los genes y de que los genes pueden tener dos o más versiones llamadas alelos que por convención suelen representarse con letras, se introduce además la noción de nivel de ploidía y se tocan los conceptos de haploide, diploide, cromosoma sencillo, cromosoma duplicado, cromosomas homólogos, células somáticas, gametos y locus.

Finalmente acerca del reparto del material hereditario durante la división celular, el punto de atención se concentra en la división meiótica al ser este proceso el responsable de la segregación de los alelos. Se destaca que el movimiento de los cromosomas durante la meiosis causa que los alelos se separen y se dirijan hacia gametos diferentes siendo este proceso la base biológica de los principios de la herencia, se remarca también que el arreglo de los cromosomas homólogos es azaroso y que estos diferentes arreglos o combinaciones provocan que la segregación de los alelos sea diferente, en otras palabras provocan variación genética.

- ***Tercer nivel de aproximación: los mecanismos de la herencia.*** Este último nivel se destina al estudio de las rutas causales o mecanismos hereditarios. Aunque en la reconstrucción histórica la noción de este término se vislumbra desde el espacio de la valoración genealógica de la herencia, las rutas de transmisión se abordan propiamente hasta el espacio de la valoración causal, en concreto a partir de los trabajos de Gregorio Mendel y su posterior reinterpretación en la fase de la genética estricta, etapas en las que se estudiaron bajo la visión experimental y estadística las reglas que controlaban la transmisión del material hereditario de una generación a otra.

Siguiendo el orden cronológico de estos eventos, en la secuencia didáctica se tocan primeramente las rutas de transmisión que involucran caracteres discontinuos o simples y posteriormente de manera somera se ahonda sobre la herencia de caracteres continuos o complejos. La finalidad es que de manera general los estudiantes comprendan que hay características que están determinadas por un solo gen que posee dos o más alelos y que existen otras que

son causadas por la interacción de varios genes en combinación además con el ambiente.

Sobre los genotipos, se pone de relieve que cuando un organismo diploide tiene dos alelos iguales su condición es homocigota, mientras que cuando posee dos alelos diferentes es heterocigota. Al respecto de los mecanismos de transmisión tratados, en lo que toca a la herencia de caracteres discontinuos codificados por un gen con dos alelos se analizan los conceptos de dominancia, recesividad, herencia intermedia y el caso particular de la herencia ligada al sexo, por su parte el término que se revisa al abordar la transmisión de caracteres determinados por un gen pero con varios alelos es de alelos múltiples.

En cuanto a la herencia de caracteres continuos o complejos, debido a que su revisión demanda conocimientos de genética avanzada que difícilmente podrían asimilarse en el nivel bachillerato, su tratamiento se limita al análisis somero de ejemplos pero sin abordar ningún mecanismo en particular.

2.2.3. Planteamiento de actividades

Las actividades planteadas forman parte de tres estrategias de evaluación que corresponden a cada uno de los niveles de aproximación de la secuencia didáctica arriba descrita. Estas estrategias, y las actividades en general, privilegian la participación activa de los alumnos con la finalidad de estimular en ellos la reflexión acerca de su desempeño, así como de las acciones que realizan para aprender. En la literatura, este tipo de estrategias didácticas son denominadas metacognitivas y se caracterizan porque favorecen los procesos de regulación y autorregulación (Paris, 2003; Galli, 2007; Álvarez, 2009).

Característicamente las estrategias que aquí se proponen integran la evaluación a lo largo de todo el proceso de enseñanza-aprendizaje, es decir no precisan un momento específico para la realización de algún tipo de evaluación en particular, de tal manera que las actividades de aprendizaje que se plantean son esencialmente las mismas que se usan para evaluar a los alumnos. A manera de organización, estas estrategias contemplan tres momentos de intervención: apertura, desarrollo y cierre, en cada uno de estos momentos las actividades de evaluación se plantean con finalidades específicas que a continuación se describen brevemente:

Apertura: evaluación inicial. La función básica de las actividades de evaluación en este momento del proceso de enseñanza y aprendizaje es el diagnóstico. Dichas actividades buscan generar conciencia en los alumnos respecto a sus ideas previas, conductas, procedimientos y hábitos de trabajo al iniciar una tarea, así como el establecimiento de metas u objetivos personales en relación al tema de estudio.

Desarrollo: evaluación durante el proceso de enseñanza y aprendizaje. Estas actividades se enfocan en que los alumnos detecten las acciones realizadas durante la ejecución de las tareas y que reflexionen sobre ellas respecto a su condición facilitadora u obstaculizadora para el cumplimiento de sus metas. En términos de resultados de aprendizaje, esta evaluación se considera la más importante (Sanmartí, 2007) pues con ella los alumnos pueden tomar conciencia de los obstáculos que dificultan su aprendizaje, comprenderlos y regularlos.

Cierre: evaluación final. La finalidad de estas actividades es que los alumnos identifiquen lo que aprendieron en función del cumplimiento de sus metas, que tomen conciencia de las diferencias entre su conocimiento al iniciar la tarea y al finalizarla, así como para que identifiquen las acciones que los llevaron a tales diferencias. Estas actividades se sugieren también para plantear propuestas de mejora.

En cuanto a los recursos y medios empleados en las estrategias, se optó por el trabajo colaborativo, la comunicación oral y escrita, el análisis de datos, mapas didácticos y bitácoras de reflexión. En lo siguiente se presenta para cada estrategia didáctica su carta descriptiva en la que se anota el título que le asignó, su propósito general, que corresponde al propósito del nivel de aproximación al que pertenece, los contenidos abordados que son distinguidos entre conceptuales, procedimentales y actitudinales, las actividades organizadas en tres momentos, los recursos empleados, la interacción que se plantea tanto entre pares como con el instructor y la sistematización en el trabajo de los alumnos y del instructor que se propone alcanzar. En los anexos se incluye el documento en extenso en el que se describen los detalles de las actividades.

ESTRATEGIA: Un inventario de mis características				
PROPÓSITO: Explorar la parte aparente o macroscópica de la herencia y vincularla con los factores internos que la causan.				
CONTENIDO	ACTIVIDADES	RECURSOS	INTERACCIÓN	SISTEMATIZACIÓN
Conceptual: <ul style="list-style-type: none"> • Genotipo y fenotipo • Concepto de gen 	Inicio. Exploración de conocimientos previos y establecimiento de expectativas - Informe KPSI Desarrollo. Elaboración de un inventario de rasgos personales. - Encuesta para determinar la frecuencia de los rasgos revisados - Elaboración de gráficas para representar frecuencia - Discusión y análisis de resultados Cierre: Organización de la información empleando mapa conceptual o mental, autoevaluación y coevaluación .	Cuadro para registrar inventario de rasgos. Informe KPSI Mapa didáctico Gráficas Preguntas generadoras Observación	Trabajo en pares y en equipos para: <ul style="list-style-type: none"> • Realizar encuestas • Elaborar gráficas de situaciones • Análisis de y análisis de datos. • Discusión y coevaluación 	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensión del plano microscópico al macroscópico. • Registro de información
Procedimental: <ul style="list-style-type: none"> • Recolección y registro de información. • Elaboración de gráficas. • Elaboración de organizador gráfico 				
Actitudinales <ul style="list-style-type: none"> • Emisión y recepción de ideas y pensamientos • Disposición para el trabajo en pares, trabajo en equipo 				
EVALUACIÓN Inicial: Exploración de ideas previas, registro en informe KPSI Durante el proceso: Identificación de errores al registrar información o reelaborar gráficas. Cierre: lista de cotejo para evaluar desempeño de actividades.				

ESTRATEGIA: Los cromosomas				
PROPÓSITO: Ubicar el material genético en las dimensiones gen, alelo y cromosoma, reconocer la importancia del proceso de meiosis en la herencia biológica				
CONTENIDO	ACTIVIDADES	RECURSOS	INTERACCIÓN	SISTEMATIZACIÓN
Conceptual: <ul style="list-style-type: none"> • Teoría cromosómica de la herencia • Meiosis 	Inicio. Exploración de ideas previas <ul style="list-style-type: none"> - Lectura de situación - Cuadro CQA Desarrollo. Establecimiento de la analogía <ul style="list-style-type: none"> - Relación y comparación de cada uno de los elementos de la analogía con el modelo de una célula en interfase. - Modelo de cromosoma - Representación de cromosoma duplicado - Representación de cromosomas homólogos - Representación de alelos y ubicación de diferentes loci. - Representación de meiosis Cierre: Organización de la información. <ul style="list-style-type: none"> - Elaboración de mapa mental - Cuadro CQA - Retroalimentación - Reflexión final 	Analogía: Los cromosomas Cuadro CQA Mapa mental Bitácora COL	Trabajo en pares y en equipos para: <ul style="list-style-type: none"> • Responder cuestionamientos • Elaborar representaciones • Análisis de situaciones • Retroalimentación grupal • Coevaluación 	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensión del plano microscópico al macroscópico. • Actividades para el inicio, desarrollo y cierre
Procedimental: <ul style="list-style-type: none"> • Manipulación de material concreto • Elaboración de organizador gráfico y cuadro CQA • Seguimiento de instrucciones 				
Actitudinales <ul style="list-style-type: none"> • Emisión y recepción de ideas y pensamientos • Disposición para el trabajo en pares, trabajo en equipo 				
EVALUACIÓN				
Inicial: Exploración de ideas previas Durante el proceso: autoevaluación, coevaluación (trabajo en pares o en equipo para discutir situaciones, resolver preguntas, elaborar representaciones: lista de cotejo) Cierre: mapa mental, bitácora de reflexión.				

ESTRATEGIA: Algunos mecanismos de la herencia				
PROPÓSITO: Que los alumnos identifiquen algunos mecanismos hereditarios a través de la observación de cruces de <i>Drosophila melanogaster</i> y de la realización de problemas de cruce genético.				
CONTENIDO	ACTIVIDADES	RECURSOS	INTERACCIÓN	SISTEMATIZACIÓN
Conceptual: <ul style="list-style-type: none"> • Herencia mendeliana • Herencia no mendeliana 	Inicio. Búsqueda de información y exploración de ideas previas a) Búsqueda de información sobre características morfológicas de <i>Drosophila melanogaster</i> . b) Informe KPSI	Analogía: Los cromocalcetines Cuadro CQA Mapa mental Bitácora COL	Trabajo en equipo para: <ul style="list-style-type: none"> • Realizar actividad demostrativa • Análisis de situaciones • Retroalimentación grupal • Coevaluación 	<ul style="list-style-type: none"> • Enfoque en el trabajo mecanisista • Actividades para el inicio, desarrollo y cierre
Procedimental: <ul style="list-style-type: none"> • Manipulación de material biológico • Manejo de microscopio estereoscópico • Resolución de problemas de cruce genético 	Desarrollo. <ul style="list-style-type: none"> - Actividad práctica. Trabajo con paquetes didácticos donados por el banco de moscas de la Facultad de Ciencias para la observación de ejemplares silvestres y mutantes de <i>Drosophila melanogaster</i>, así como de diversas cruces. - Análisis del caso de la coloración en los claveles. - Realización de cruces de corte genético. 			
Actitudinales <ul style="list-style-type: none"> • Emisión y recepción de ideas y pensamientos • Disposición para el trabajo en equipo. 	Cierre. Lista de cotejo para evaluar el trabajo de la práctica y la discusión.			
EVALUACIÓN				
Inicial: Exploración de ideas previas, cuadro KPSI Durante el proceso: Monitoreo del trabajo realizado, intercambio de opiniones entre pares o con el profesor, identificación de errores en la resolución de problemas. Cierre: lista de cotejo para autoevaluar el trabajo realizado, bitácora de reflexión.				

CAPÍTULO 3

LA INVESTIGACIÓN CUALITATIVA COMO ENFOQUE METODOLOGICO DEL TRABAJO

En este capítulo se define el enfoque metodológico bajo el cual se desarrolló el trabajo, la metodología particular que orientó la selección de los métodos para la recolección y análisis de datos, así como la descripción de los instrumentos y procesos llevados a cabo para estos fines; aspectos que guardan relación con el marco teórico que guió al estudio.

3.1 Naturaleza del enfoque cualitativo

Según Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado y María del Pilar Baptista (2010), el enfoque metodológico se refiere a las diferentes formas de aproximarse hacia la búsqueda del conocimiento, formas que dan la pauta para determinar los métodos de recolección y análisis de datos.

En un trabajo de investigación, la selección del enfoque metodológico depende de la naturaleza del fenómeno a estudiar, es decir de las características que lo definen. En este sentido y con la intención de delimitar la naturaleza del fenómeno que se aborda en este trabajo, es importante precisar dos aspectos importantes: en primer lugar que la evaluación en su función pedagógica al igual que la enseñanza y el aprendizaje son objetos de estudio que se enmarcan en el área de las ciencias sociales y en segundo lugar, que han sido caracterizados como procesos complejos y subjetivos debido a que presentan una dificultad epistemológica mayor que reside en la interacción de múltiples variables, condición que demanda una metodología que respete esta naturaleza (Pérez, 1992).

En este sentido, desde hace ya algún tiempo el enfoque cualitativo o también llamado interpretativo se ha venido posicionando como uno de los enfoques más pertinentes para la investigación en educación (Pérez, 1992; Ruíz, 1996; Rodríguez, Gil y García, 1999) pues sus diferentes técnicas y procedimientos

permiten indagar sobre los fenómenos educativos directamente en el contexto donde se producen por lo que se le atribuye una mayor proximidad a la realidad, además con esta perspectiva metodológica es posible recolectar información de diversa índole como por ejemplo psicológica, pedagógica y didáctica.

Por consiguiente, dado que la problemática que se aborda en este trabajo presenta esta naturaleza social, el enfoque metodológico que se adopta es el cualitativo con la intención de emplear metodología propia de esta perspectiva para comprender aspectos del proceso de aprendizaje de los alumnos como lo es la regulación.

De la misma manera que otras perspectivas de la investigación, el enfoque cualitativo es concebido como una metodología que cumple con toda la rigurosidad científica: es sistemática, empírica y crítica, pero a su vez se caracteriza por ser flexible y no tan controlada como la perspectiva cuantitativa. (Hernández *et al.*, 2010).

Desde el punto de vista epistemológico, la metodología cualitativa se enmarca dentro de la lógica inductiva y el paradigma hermenéutico (Ruíz, 1996; Hernández *et al.*, 2010), supuestos que definen su concepción de ciencia y por tanto los procedimientos para la recolección y el análisis de datos.

Por su orientación inductivista, el enfoque cualitativo adopta una estrategia de investigación que va de lo particular a lo general, considerando como premisa primordial el principio de la lógica inductiva que se refiere al conocimiento científico como “resultado de la observación de la naturaleza por lo que su fiabilidad se atribuye directamente al uso de los sentidos, en particular a la observación” (Chalmers, 1988)

Al asumir una vía inductiva en un trabajo de investigación se comienza con la exploración y descripción del entorno social para posteriormente generar explicaciones teóricas, es decir se parte de los datos que aporta la realidad para después interpretarla. Lo anterior justifica el hecho de que en la metodología cualitativa todos los datos y acontecimientos emergidos del campo son considerados información útil, pues en ellos puede subyacer información relevante para comprender el fenómeno que se está estudiando (Rodríguez *et al.*, 1999; Hernández *et al.*, 2010).

Así pues, al adoptar el método lógico inductivo la estrategia de investigación del enfoque cualitativo radica en la observación profunda del contexto con el objetivo de identificar directamente del ambiente los factores involucrados en el problema de estudio, indagar sobre ellos, describirlos y compararlos para dar sentido a los significados de las personas implicadas en el fenómeno de estudio y con ello tratar de comprenderlo.

Por otra parte, desde la perspectiva hermenéutica el enfoque cualitativo adopta una postura interpretativa con la cual los problemas que se estudian intentan ser comprendidos a partir de las ideas y pensamientos de los que participan en él, de modo que el investigador es el responsable de interpretar cada dato para obtener conclusiones que lo lleven a una explicación general, esta característica la ha hecho notar Ruíz (1996) cuando menciona que:

En la metodología cualitativa, el hermeneuta interpreta todos los sucesos inmediatos a la luz de experiencias anteriores, de sucesos anteriores y de cualquier elemento que pueda ayudarle a entender mejor la situación estudiada (p. 13).

De esta forma, bajo la visión hermenéutica se plantea que el enfoque cualitativo:

- Es un tipo de investigación en el que se producen datos descriptivos como por ejemplo: pensamientos de las personas -hablados o escritos-, conductas, creencias, actos y procesos (Taylor y Bogdan, 1986 citado en Rodríguez *et al.*, 1999)
- Acentúa la interpretación y comprensión de éstos datos a partir del significado que los estudiantes dan al fenómeno educativo estudiado, enfatiza que tales datos no son susceptibles de experimentación (Del Rincón, Arnal, Latorre y Sans, 1995; Ruíz, 1996)
- Tiene una orientación holística ya que trata de captar del contexto todo el contenido posible de experiencias y significados de los participantes con la finalidad de comprender e interpretar el problema de estudio (Hernández *et al.*, 2010; Ruíz, 1996)
- Se centra en la descripción de lo que es único y particular del sujeto más que en lo que es generalizable (Del Rincón *et al.*, 1995)

- Todos los escenarios y personas son dignos de estudio (Rodríguez *et al.*, 1999)

Finalmente en lo que respecta al carácter interpretativo de la metodología cualitativa, es importante resaltar que el común denominador de los principios anotados anteriormente reside en los datos que se usan para interpretar el fenómeno estudiado, con lo que se pone de relieve que la perspectiva hermenéutica tiene una influencia directa sobre los procedimientos y técnicas empleados para la recolección y el análisis de información. En los siguientes apartados se ahondará entonces sobre la Teoría Fundamentada, metodología particular de la investigación cualitativa en la que se enmarcan los métodos empleados para la recolección y tratamiento de los datos.

3.1.1 La Teoría Fundamentada: guía para el diseño de la investigación.

El término *diseño* al que se hace alusión en este trabajo se refiere a la metodología particular del enfoque cualitativo que orienta las actividades concernientes a la recolección, análisis e interpretación de datos, algunos autores lo llaman también marco interpretativo.

En el enfoque cualitativo de la investigación se enmarcan diversas modalidades o metodologías de indagación que plantean procedimientos y técnicas específicas para la recogida y tratamiento de los datos. De estas metodologías, una que ha sido ampliamente utilizada en el terreno educativo y reconocida como pertinente para abordar sus fenómenos de estudio es la Teoría Fundamentada pues los procedimientos y técnicas que propone permiten formular una teoría o explicación acerca de ellos directamente de los datos recolectados. Esta metodología es reconocida por su pertinencia para abordar situaciones relacionadas con el desarrollo de procesos como son la evolución de los modelos que emplean los estudiantes para explicar un fenómeno, el seguimiento de la efectividad de una intervención educativa o el estudio del comportamiento de los alumnos en el aula, por mencionar algunos ejemplos (Rodríguez *et al.*, 1999; Santilli y Martín, 2006; Martínez, 2007).

Por lo anterior, se optó por la Teoría Fundamentada como la orientación metodológica para la recolección y análisis de los datos con la intención de

comprender de qué manera la autoevaluación y la coevaluación influyen en el aprendizaje de los conceptos relacionados con la herencia biológica.

3.1.1.1 *Generalidades de la Teoría Fundamentada*

La teoría fundamentada fue propuesta en 1967 por Barney B. Glaser y Anselm Strauss en su libro *The discovery of Grounded Theory*. Su base teórica se encuentra en el interaccionismo simbólico, corriente del pensamiento que sugiere que los humanos interactúan con símbolos para construir significados (Rodríguez *et al.*, 1999; Hernández *et al.*, 2010).

En su idea original Glaser y Strauss establecen los procedimientos a seguir para la generación de una teoría conceptual, dichos procedimientos consisten en la comparación constante de los datos, el muestreo teórico y la codificación de la información.

La comparación constante consiste en realizar de manera paralela la codificación y el análisis de los datos para desarrollar las explicaciones. Se trata de revisar y comparar todos los datos para generar categorías con propiedades específicas que se deben incorporar al proceso de análisis con el fin de contribuir a la explicación del fenómeno de estudio (Rodríguez *et al.*, 1999; Hernández *et al.*, 2010).

La codificación se refiere a la organización de los datos, dicho arreglo puede ser abierto o axial. La codificación abierta, que es el proceso que se usa en este trabajo para organizar los datos, consiste en generar categorías iniciales de significado que servirán de evidencia para generar categorías más abstractas, las categorías son temas de información que se derivan de los datos recolectados. (Hernández *et al.*, 2010).

El muestreo teórico se refiere a la selección de los casos a estudiar según su potencial para ayudar a refinar o expandir los conceptos y las teorías ya desarrollados. Lo importante no es el número de casos, sino la potencialidad de cada uno para apoyar al investigador a desarrollar una mayor comprensión teórica sobre el área que se está estudiando. La selección de la muestra se guía por tres factores importantes: 1) la capacidad operativa para la recolección y el análisis de datos, 2) el entendimiento del fenómeno o saturación de categorías y

3) la naturaleza del fenómeno bajo análisis, aunque no hay parámetros determinados para definir el tamaño de la muestra, se sugiere que para un estudio con diseño de Teoría Fundamentada la muestra oscile entre 30 y 50 casos, que son aproximadamente los que cubren las condiciones de los factores antes citados (Martens, 2005 citado por Hernández *et al.*, 2010; Rodríguez *et al.*, 1999).

En la teoría Fundamentada se consideran dos diseños diferentes para el análisis de datos, cada uno de los cuales presenta métodos y técnicas propias: el emergente y el sistemático (Hernández *et al.*, 2010). El diseño sistemático, que es el que se adopta en esta investigación, se privilegia el empleo metódico de pasos para llegar al desarrollo de una teoría a partir de los datos, el valor de esta propuesta reside en el hecho de que a través de las técnicas es posible vislumbrar las teorías subyacentes en los datos, además de que se pueden emplear categorías presupuestas para generar la explicación.

Finalmente en lo que se refiere a la recolección de datos, en la Teoría Fundamentada se emplean como fuentes para obtener información métodos como las entrevistas, encuestas, observaciones de campo y documentos de todo tipo como diarios, cartas, autobiografías, esquemas, materiales audiovisuales y grabaciones, el objetivo de estos instrumentos es recabar información acerca de los significados e intenciones de las personas, de sus rutinas, creencias y actuares (Ruíz, 1996; Pérez, 2002).

3.2 Metodología de trabajo

En este apartado se describen los aspectos metodológicos del trabajo que incluyen los criterios para la selección de la muestra, los procedimientos empleados para la recolección de los datos, así como la aproximación para el análisis de los mismos, métodos que están determinados tanto por el enfoque del trabajo como por la metodología particular empleada. En la figura cuatro se esquematiza de manera general la metodología seguida y en los párrafos que continúan se describe a detalle cada uno de los aspectos representados en él.

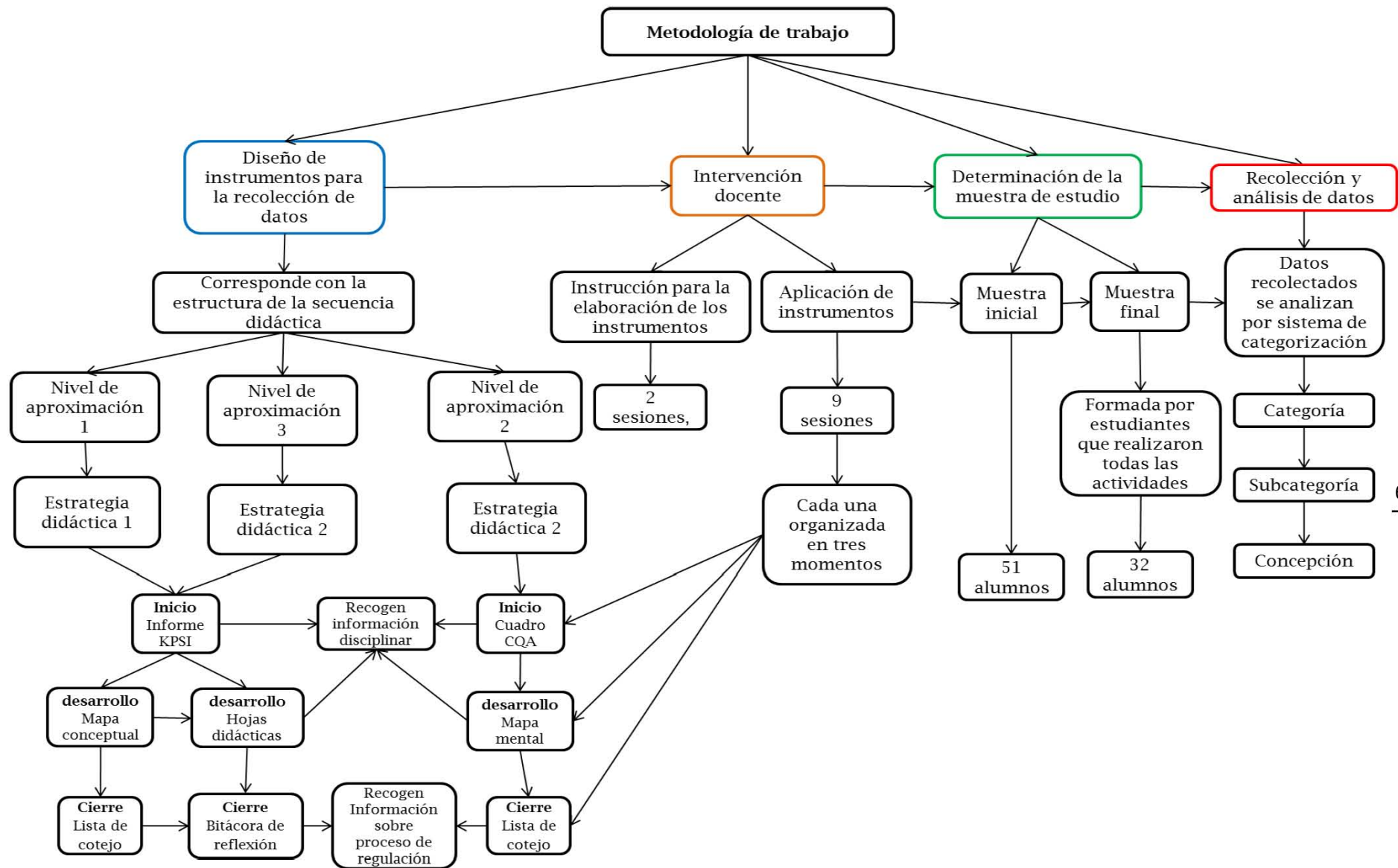


Figura 4. Metodología de trabajo. Definición de la muestra de estudio, diseño, aplicación y análisis de los instrumentos empleados para la recolección de datos.

3.2.1 Muestra

El estudio se realizó con alumnos del Colegio de Ciencias y Humanidades plantel Naucalpan de dos grupos diferentes de Biología I, materia que se cursa en el tercer semestre de este sistema de bachillerato a la cual se destinan cinco horas por semana que se distribuyen en dos sesiones de dos horas y una sesión de una hora. Para acceder a estos grupos se pidió consentimiento tanto de los profesores titulares como de los alumnos, a quienes se les comunicó que las actividades a desarrollar no formarían parte de su evaluación final.

La muestra inicial fue de 51 alumnos, 27 de los cuales pertenecían al grupo 325-a y 24 al grupo 403-b, ambos del turno matutino. Para la definición de la muestra final se consideraron únicamente los alumnos que realizaron el total de las actividades planteadas en la secuencia didáctica, de manera que ésta quedo constituida por 32 alumnos. Los estudiantes que no entraron en esta muestra fueron los que abandonaron por completo la clase y los que realizaron parcialmente las actividades. En la tabla cuatro se muestran las cifras correspondientes a lo antes descrito.

Tabla 4. Muestra inicial y muestra final

Grupo	# de alumnos de la muestra inicial	# de alumnos que abandonaron las actividades	#de alumnos que realizaron las actividades parcialmente	# de alumnos de la muestra final
325-A	27	1	12	14
403-B	24	1	5	18
Total	51	2	17	32

La población de la muestra final se compuso por estudiantes de entre 16 y 18 años de edad, 56% de sexo femenino y 44% del sexo masculino. Todos eran alumnos regulares del tercer semestre del bachillerato, es decir que cursaban por primera vez la materia de Biología I.

3.2.2 *Métodos para la recolección de datos*

En la investigación cualitativa el método más frecuente para la recolección de datos es la entrevista, sin embargo en este enfoque metodológico se utilizan también otras fuentes de información tales como documentos de diferentes tipos (diarios, cartas, textos), materiales audiovisuales (fotografías, esquemas gráficos o imágenes) y artefactos diversos (ropa, mobiliario, juguetes), herramientas que ayudan a recabar información de los participantes concerniente a situaciones familiares o problemáticas, acontecimientos rutinarios, experiencias y vivencias; así como también del contexto (Ruíz, 1996; Rodríguez *et al.*, 1999; Hernández *et al.*, 2010).

Recientemente en el campo educativo, la investigación desarrollada bajo la perspectiva cualitativa ha adoptado para la recolección de datos instrumentos que buscan captar información relativa al proceso de comprensión de los sujetos, sentido en el que los mapas didácticos y en general los organizadores gráficos son las herramientas más utilizadas para ello (Daley, 2004; Aguilar, 2010). Lo anterior pone de manifiesto que en la investigación cualitativa se ha dado paso al uso de técnicas para la recolección de información no sólo de índole afectiva sino también relativa a la construcción del conocimiento.

Teniendo en cuenta esto, los métodos seleccionados para la recolección de datos son instrumentos que se emplean ampliamente en la evaluación cualitativa y corresponden en esencia a registros escritos. Estos instrumentos se caracterizan por proporcionar información integral de los estudiantes pues permiten recoger datos de índole declarativa, procedimental y actitudinal, además de que su uso está asociado con la promoción de la regulación del aprendizaje en los alumnos (Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], 2011).

La información recolectada fue tanto de naturaleza disciplinar como actitudinal, la primera dio cuenta de los significados que los alumnos otorgan a los conceptos relacionados con la herencia biológica y la segunda expuso las acciones que llevan a cabo para lograr -o no- los objetivos planteados, en otras palabras sobre la regulación del aprendizaje.

Así, para la recolección de datos de naturaleza disciplinar los instrumentos empleados fueron mapas didácticos (mentales y conceptuales), hojas didácticas,

informe KPSI y cuadro CQA, que se plantearon en correspondencia con el análisis histórico que se hizo del contenido de enseñanza, esto es sobre el tema de herencia biológica.

Los mapas didácticos son considerados recursos efectivos para la representación de la estructura cognitiva de los sujetos, información que permite tener conocimiento de sus significados, de su forma de razonamiento y de su toma de decisiones, además estas herramientas favorecen la expresión de las ideas y promueven el entendimiento inconsciente (Daley, 2004; Aguilar, 2010). Por su parte, las hojas didácticas, a través de los diferentes ejercicios que integran, permiten visualizar la estructura de las ideas que formulan los alumnos a partir de la observación, notas tomadas y resultados obtenidos, con esta herramienta es posible verificar la aplicación que los estudiantes dan a los conceptos revisados en la teoría.

El informe KPSI (Knowledge and Prior Study Inventory o informe personal, es un instrumento que permite identificar la percepción que tienen los alumnos sobre sus ideas previas, fue ideado por Tamir y Luneta en 1978 (San martí y Alimentí, 2004). El cuadro CQA (KWL por sus siglas en inglés), es una técnica diseñada por Donna M. Ogle en 1986. Este organizador gráfico es una estrategia que fomenta la activación del conocimiento previo de los estudiantes y ayuda a fijar objetivos propios frente a textos expositivos y discursos, requiere que los alumnos focalicen su atención en tres preguntas: dos antes de leer o escuchar las exposiciones y una después de hacerlo: ¿Qué sé sobre este tema? (C), ¿Qué quiero aprender? (Q) y ¿Qué he aprendido? (A) (Díaz y Hernández, 2010).

Para la recolección de información relacionada con el proceso de regulación del aprendizaje los instrumentos utilizados fueron la lista de cotejo y la bitácora de reflexión. El planteamiento de estas herramientas se enmarcó dentro de los principios de la evaluación formativa-formadora, es decir que se orientaron hacia la generación de situaciones que se plantean para conducir a los estudiantes a la reflexión de las acciones que llevan a cabo durante la ejecución de sus tareas y cómo éstas pueden facilitar o dificultar su aprendizaje.

La lista de cotejo permite registrar de manera sistemática el desempeño de los alumnos durante el desarrollo de una tarea, evidenciando el grado de dominio de

las habilidades que los llevaron a realizarla. La bitácora de reflexión o también llamado diario reflexivo es una herramienta evaluativa apropiada para el desarrollo de habilidades metacognitivas, su uso permite reflexionar y escribir sobre el propio proceso de aprendizaje siendo posible incluir aspectos conceptuales, procedimentales o actitudinales, este instrumento puede plantearse de forma totalmente libre o enmarcada por cuestiones orientadoras (Bordas, 2001; Cuenca, Castelán y Torices, 2009).

Para seguir de manera continúa el proceso de aprendizaje de los alumnos los instrumentos antes citados se integraron en la secuencia didáctica en forma de actividades de evaluación. La finalidad fue plantear actividades de evaluación con orientación formativa-formadora que permitiera a los estudiantes detectar fortalezas y debilidades respecto a su trabajo en el aula y vincularlas con su desempeño académico. Es importante mencionar que en esta orientación un elemento de vital importancia para lograr la regulación es la retroalimentación por lo que las actividades realizadas por los alumnos se retomaron y discutieron continuamente durante el desarrollo de la intervención docente.

La secuencia didáctica se estructuró en tres niveles de aproximación para cada uno de los cuales se diseñó una estrategia didáctica. Estas estrategias se organizaron a su vez en tres momentos diferentes: apertura, desarrollo y cierre, en los que se integraron los instrumentos de evaluación que se utilizaron para la recolección de datos. Los instrumentos de los dos primeros momentos recogieron información concerniente a la temática de estudio, mientras que el momento de cierre se destinó para recolectar datos sobre el proceso de regulación. En la tabla cinco se muestran los diferentes instrumentos empleados, así como el nivel de aproximación y la estrategia didáctica a la que corresponden.

Tabla 5. Instrumentos de evaluación cualitativa utilizados para la recolección de datos

Nivel de aproximación de la secuencia didáctica	Estrategia didáctica	Instrumento de evaluación alternativa empleado para la recolección de datos		
		Inicio	Desarrollo	Cierre
1. Reconocimiento de lo heredable	Un inventario de mis características	Informe KPSI	Mapa conceptual	Lista de cotejo
2. Naturaleza de la estructura transmitida	Los cromosomas	Cuadro CQA	Mapa mental	Bitácora de reflexión
3. Mecanismos de la herencia	Algunos mecanismos de la herencia	Informe KPSI	Hojas didácticas	Lista de cotejo

3.2.3 Aproximación instruccional

El trabajo frente a grupo se dividió en dos partes. La primera estuvo conformada por dos sesiones introductorias de dos horas cada una que se emplearon para instruir sobre la elaboración y finalidades de los instrumentos utilizados para la recolección de datos, así como para exponer las generalidades del estudio. La segunda parte de la intervención docente comprendió nueve sesiones (seis de dos horas y tres de una hora) en las que se aplicaron las estrategias didácticas diseñadas correspondientes a cada uno de los niveles de aproximación de la secuencia didáctica. Todas las sesiones de la instrucción docente se realizaron de manera paralela en los dos grupos de la muestra, cuidando en todo momento que las condiciones de trabajo fueran similares en aspectos como: tiempo de tolerancia para la entrada a clase, motivación para la permanencia en las sesiones y el fomento al no ausentismo, tiempo otorgado para la entrega de tareas y realización de actividades, disposición para la resolución de dudas, por mencionar algunos ejemplos.

De las nueve sesiones que se destinaron para la aplicación de las estrategias didácticas, tres correspondieron a la instrucción de la primera estrategia, tres sesiones para la segunda y tres sesiones para la última, es decir para cada estrategia didáctica se destinaron un total de cinco horas. Las actividades

planteadas en cada estrategia, así como el contenido abordado en cada una de ellas se muestran en el anexo dos, en donde se describen a detalle.

Los instrumentos utilizados al inicio de cada una de las estrategias didácticas se plantearon en esencia con una función diagnóstica y con dos propósitos principales: buscar la reflexión de los estudiantes en relación con su conocimiento sobre la herencia biológica, así como darles a conocer lo que se pretendía que aprendieran.

Por su naturaleza, los instrumentos empleados para este fin fueron el informe KPSI y el cuadro CQA¹². El informe KPSI se utilizó en las estrategias didácticas de los niveles de aproximación 1 y 3, mientras que el cuadro CQA fue el instrumento diagnóstico del nivel de aproximación 2. En todos los casos los instrumentos se retomaron al menos en una ocasión con la intención de que los alumnos compararán sus ideas iniciales con las estructuradas hacia el final de las estrategias. Ambos instrumentos se respondieron de manera individual y se discutieron posteriormente ya sea en parejas o en equipos, estas herramientas permitieron recabar información disciplinar de tipo declarativo.

Por su parte las actividades de evaluación implementadas en la fase de desarrollo de cada una de las estrategias didácticas se plantearon con la finalidad de recoger información sobre las representaciones de los estudiantes acerca del material hereditario, los instrumentos utilizados en este caso fueron mapas didácticos¹³ (conceptuales y mentales) así como hojas didácticas¹⁴.

El mapa conceptual se empleó como instrumento de recolección de datos en la estrategia uno, diseñada para abordar el reconocimiento de lo heredable. Los alumnos elaboraron individualmente dos versiones de este instrumento, la primera se realizó antes de introducir la información y la segunda se efectuó posteriormente como resultado del replanteamiento y/o corrección de la primera versión. Con lo que respecta al mapa mental esta herramienta se usó en la estrategia didáctica del segundo nivel de aproximación para organizar

¹² Ambos instrumentos utilizados se muestran en el anexo 2 en el momento de inicio de cada una de las tres estrategias didácticas.

¹³ En las figuras cinco y siete se muestra ejemplo de mapa mental elaborado por los estudiantes.

¹⁴ Estas hojas se muestran en el anexo 2, en el desarrollo en extenso de la estrategia didáctica 3 titulada "Algunos mecanismos de la herencia".

información relativa a la estructura del cromosoma. De este instrumento se realizó solamente una versión de manera individual que después se discutió con profundidad en plenaria cuando se habló del proceso de segregación de los alelos.

Con relación a las hojas didácticas, esta herramienta se utilizó en la tercera estrategia didáctica para que los alumnos desarrollaran cruza relacionadas con algunos atributos físicos de la mosca del vinagre *Drosophila melanogaster* observados en la actividad práctica que se realizó con este organismo como parte de las actividades de la estrategia.

En lo que respecta a las actividades de cierre, con ellas se buscó que los alumnos evaluaran su desempeño y el de sus compañeros con relación al cumplimiento de distintas tareas planteadas. El objetivo fue que tomaran consciencia de sus habilidades y las relacionaran con el logro de objetivos, las técnicas utilizadas en este caso fueron la lista de cotejo y la bitácora de reflexión¹⁵.

La lista de cotejo se utilizó para el cierre de las estrategias del nivel de aproximación 1 y 3, en ambas situaciones los instrumentos se resolvieron en equipo y se retroalimentaron en plenaria. La bitácora de reflexión se usó como herramienta de cierre para la estrategia del segundo nivel y para el cierre general de la secuencia didáctica, en el primer caso su elaboración fue entre pares y en el segundo individual.

Finalmente cabe mencionar que los datos recopilados con los instrumentos de evaluación cualitativa son particularmente importantes porque pueden ayudar a comprender, interpretar y complementar información recogida con otros métodos enriqueciendo el conocimiento sobre el proceso estudiado, en la investigación cualitativa a este hecho se le denomina triangulación de datos (Aravena, Kimelman, Micheli, Torrealba y Zúñiga, 2006; Hernández *et al.*, 2010).

¹⁵ Ambos instrumentos se muestran en el anexo 2, en las actividades de cierre de las tres estrategias didácticas.

3.2.4 *Métodos para el análisis de datos*

Los datos recolectados a través de los diversos instrumentos se transcribieron para su posterior codificación. En cuanto al aspecto disciplinario, las unidades de análisis se establecieron por medio de un proceso de categorización que consistió en la clasificación de las ideas de los alumnos (escritas y gráficas) en grupos organizados con base a la naturaleza de su contenido y ordenados de mayor a menor generalidad, de esta forma las unidades de análisis establecidas fueron las categorías, subcategorías y concepciones que resultaron de este ejercicio de clasificación. En términos de análisis, la intención de la categorización fue identificar referentes comunes que permitieran vislumbrar la estructura conceptual de los estudiantes en cada uno de los niveles de aproximación de la secuencia didáctica, con la finalidad de obtener elementos que ayudaran a comprender y describir cómo llevan a cabo su proceso de aprendizaje.

Respecto a la regulación del aprendizaje, las unidades de análisis fueron las categorías formadas a partir de las respuestas de los alumnos en torno a la autoevaluación y reflexión que hicieron de sus trabajos, mismas que se registraron ya sea en forma de respuestas abiertas o seleccionando categorías previamente establecidas.

La categorización es un método que se ha utilizado en muchos trabajos (por ejemplo Knippels, 2005; Kibuka, 2007; Dauer *et al.*, 2013) en los que recolectan respuestas de preguntas abiertas o se extraen ideas de esquemas u organizadores gráficos. Estas ideas se analizan organizándolas en grupos de naturaleza similar, se trata de una tarea de discusión y reconsideración en el que todos los tipos de ideas pueden ser consideradas. En este proceso de análisis el interés principal son las ideas y creencias de los alumnos más que la frecuencia con la que contestan de manera correcta las preguntas, aunque análisis estadísticos básicos no están descartados.

CAPÍTULO 4

SOBRE LA APLICACIÓN DE LA PROPUESTA DE ENSEÑANZA Y EL ANÁLISIS DE DATOS

Se describen en este capítulo los resultados obtenidos de la aplicación de las tres estrategias que estructuraron la secuencia didáctica diseñada, así como el análisis de los mismos. Los datos recolectados dieron cuenta tanto de aspectos del contenido como de la regulación del aprendizaje y en ambos fueron transcritos con la finalidad de codificarlos y definir las unidades de análisis.

En cuanto al contenido, las unidades de análisis se establecieron por medio de un proceso de categorización que consistió en la clasificación de las ideas de los alumnos (escritas y gráficas) en grupos organizados con base a la naturaleza de su contenido y ordenados de mayor a menor generalidad. De esta forma las unidades de análisis establecidas fueron las categorías, subcategorías y concepciones que resultaron de este ejercicio de clasificación. En términos de análisis, la intención de la categorización fue identificar referentes comunes que permitieran vislumbrar la estructura conceptual de los estudiantes en cada uno de los niveles de aproximación de la secuencia didáctica, con la finalidad de obtener elementos que ayuden a comprender y describir cómo llevan a cabo su proceso de aprendizaje.

Respecto a la regulación del aprendizaje, las unidades de análisis fueron las categorías formadas a partir de las respuestas de los alumnos en torno a la autoevaluación y reflexión que hicieron de sus trabajos, mismas que se registraron ya sea en forma de respuestas abiertas o seleccionando categorías previamente establecidas. A continuación se describe para cada nivel de aproximación la codificación y análisis detallado de la información recogida en el transcurso de la intervención didáctica.

4.1 Resultados y análisis de resultados del primer nivel de aproximación de la secuencia didáctica: reconocimiento de lo heredable.

La estrategia didáctica con la que se abordó este nivel de aproximación incluyó tres instrumentos de evaluación que se aplicaron en cada uno de los momentos de la estrategia. En lo que sigue se describe la forma en que se codificaron los datos de estos instrumentos, así como la información obtenida de ellos.

4.1.1. Evaluación al inicio de la estrategia

La evaluación realizada en la apertura de esta estrategia tuvo por finalidad el diagnóstico de los estudiantes con relación al conocimiento que tienen sobre lo que se hereda de padres a hijos y de la función de la herencia biológica. Estos aspectos se evaluaron empleando como instrumento de recolección de datos un informe KPSI con el que se presentó a los alumnos una serie de afirmaciones que tenían que valorar según el nivel de dominio que consideraban tener sobre ellas (“no lo sé”, “lo sé más o menos”, “lo sé muy bien” y “lo sé y lo podría explicar a otros”).

Estas afirmaciones se formularon considerando ideas previas de la literatura que hacen referencia a la naturaleza de la información hereditaria, a la forma en que ésta se transmite y a la función de la herencia biológica en términos de continuidad de la vida. Los datos de la aplicación de este instrumento se registraron en la siguiente tabla:

Tabla 6. Informe KPSI: afirmaciones incluidas en el instrumento y número de alumnos que seleccionaron cada opción.

Afirmaciones enlistadas en el informe KPSI	Número de alumnos que seleccionaron cada opción			
	No lo sé	Lo sé más o menos	Lo sé muy bien	Lo sé y lo podría explicar
Los rasgos de un individuo son características observables que se transmiten de padres a hijos.	-	2	23	7
Los rasgos que observamos en un individuo son características causadas por estructuras llamadas genes que se transmiten de padres a hijos.	29	3	-	-
En una población (toma como ejemplo el salón de clases) algunos rasgos son más comunes que otros.	3	6	16	7
Algunos rasgos son dominantes y otros recesivos.	3	9	14	6
La transmisión de los rasgos y los genes permite la continuidad de los seres vivos.	2	1	6	23

Para codificar la información, al instrumento de cada estudiante se le asignó un número y según la opción seleccionada para cada afirmación sus respuestas se organizaron en grupos cuyo significado era similar, por ejemplo los alumnos que seleccionaron que sabían más o menos, sabían muy bien o sabían y podían explicar que los rasgos de un individuo son características observables que se transmiten de padres a hijos, se integraron en el grupo “El fenotipo es el que se transmite”. En la tabla siguiente se muestra esta organización:

Tabla 7. Organización de respuestas según la opción del informe KPSI seleccionada.

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
<p>1</p> <p>El fenotipo es el que se transmite</p> <p>1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32</p>	<p>1.1. Posible reconocimiento de un mecanismo hereditario asociado a la transmisión</p> <p>2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32</p>	<p>1.1.1 Dominancia-recesividad como posible mecanismo hereditario responsable de la transmisión</p> <p>2, 3, 4, 8, 9, 10, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32</p>	<p>1.1.1.1 Relación entre herencia biológica y continuidad de la vida</p> <p>2, 3, 8, 9, 15, 16, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 31, 32</p>
		<p>1.1.2 Sin especificar ningún mecanismo hereditario responsable de la transmisión</p> <p>5, 11</p>	<p>1.1.1.2 Herencia biológica y continuidad de la vida sin vinculación</p> <p>4, 10, 17, 21</p>
		<p>1.1.3 Relación entre herencia biológica y continuidad de la vida</p> <p>5, 11</p>	
	<p>1.2 Ningún mecanismo hereditario asociado a la transmisión</p> <p>1, 6, 7, 12, 13, 14</p>	<p>1.1.1.4 Relación entre herencia biológica y continuidad de la vida</p> <p>1, 6, 12, 13, 14</p>	
		<p>1.1.1.5 Herencia biológica y continuidad de la vida sin vinculación</p> <p>7</p>	

Los grupos resultantes llevaron al establecimiento de cinco categorías que se formaron como resultado de la ramificación de algunos grupos que se dio dada la diferente naturaleza que se advirtió en ellos. A continuación se describen las categorías resultantes y en la tabla ocho se muestra el porcentaje de alumnos cuyas respuestas se ubicaron dentro de cada una de ellas.

Categoría 1.1.1.1. Transmisión del fenotipo - dominancia / recesividad como mecanismo causal - continuidad de la vida. Las ideas previas de esta categoría dan cuenta de la noción de transmisión del fenotipo, señalan a la dominancia /recesividad como el posible mecanismo hereditario involucrado y reconocen que dicha transmisión permite la continuidad de la vida.

Categoría 1.1.1.2. Transmisión del fenotipo - dominancia /recesividad como mecanismo causal - no continuidad de la vida. Se integran en esta categoría ideas previas en las que subyacen las nociones de transmisión del fenotipo y dominancia/recesividad como posible mecanismo causal, sin embargo dichas ideas no se reconocen como el fenómeno que permite la continuidad de la vida.

Categoría 1.1.1.3. Transmisión del fenotipo - mecanismo hereditario causal sin especificar- continuidad de la vida. Al igual que en las otras categorías, las ideas previas de este grupo reconocen que las características observables son las que se transmiten de una generación a otra y aunque existe en ellas la noción de un posible mecanismo hereditario causal no especifican uno en particular. Por otra parte, relacionan la presencia de este mecanismo hereditario con la continuidad de la vida.

Categoría 1.1.1.4. Transmisión del fenotipo - no mecanismo hereditario - continuidad de la vida. Las concepciones englobadas en esta categoría hacen referencia a que lo que se transmite de padres a hijos son los rasgos observables, sin vincular éstos a alguna estructura o mecanismo causal, no obstante señalan que dicha transmisión de rasgos permite la continuidad de la vida.

Categoría 1.1.1.5. Transmisión del fenotipo - no mecanismo hereditario - no continuidad de la vida. A esta categoría pertenece una única concepción que manifiesta que es el fenotipo el que se transmite de padres a hijos sin reconocer algún mecanismo hereditario que cause dicha transmisión ni relacionar este fenómeno con la noción de continuidad de la vida.

Tabla 8. Porcentaje de alumnos para cada una de las categorías resultantes del análisis del informe KPSI.

Categoría	Porcentaje de alumnos
Transmisión del fenotipo - no mecanismo hereditario - continuidad de la vida	15.5 %
Transmisión del fenotipo - dominancia / recesividad como mecanismo causal - continuidad de la vida.	62.5 %
Transmisión del fenotipo - no mecanismo hereditario - no continuidad de la vida.	3.2%
Transmisión del fenotipo - dominancia /recesividad como mecanismo causal - no continuidad de la vida	12.5%
Transmisión del fenotipo - mecanismo hereditario causal sin especificar- continuidad de la vida.	6.3%

Como se aprecia, la percepción de los estudiantes acerca de lo que se hereda se orienta hacia la concepción de que lo que se transmite de padres a hijos son los rasgos, es decir el fenotipo. Esta orientación deja por completo de lado la noción gen-rasgo o genes-rasgo y aunque ésta estuvo presente en algunas afirmaciones del instrumento, el grueso de los estudiantes las valoraron como desconocida para ellos por lo que no emergió ninguna categoría que hiciera referencia a ello

Por otra parte, aunque el instrumento y la estrategia como tal, no estuvieron enfocados en la identificación de los diferentes mecanismos hereditarios, la selección de las opciones “lo sé más o menos, “lo sé muy bien” y “lo sé y lo podría explicar” para la afirmación que incluyó los conceptos de dominancia y recesividad, puede sugerir el reconocimiento de un mecanismo de la herencia implicado en la transmisión de las características, no obstante es difícil afirmar que la dominancia-recesividad sea un mecanismo de la herencia del que los alumnos tengan amplio y claro conocimiento.

4.1.2. Evaluación durante la estrategia

El instrumento de evaluación utilizado en este momento de la estrategia fue un organizador gráfico que los alumnos elaboraron a su libre elección con el único requisito de que anotaran con claridad las ideas desarrolladas en él para facilitar su posterior codificación. Se elaboraron dos versiones de este instrumento con la intención de obtener datos que permitieran comparar las ideas de los alumnos

acerca de la herencia biológica antes de iniciar las actividades de aprendizaje y después de concluir las.

La codificación de la información se realizó extrayendo de cada organizador las ideas de los estudiantes en forma de enunciados que se construyeron con base en las palabras, dibujos y textos que anotaron en sus esquemas, un ejemplo de esta construcción se muestra en la figura cinco donde se presenta el organizador gráfico elaborado por una de las alumnas de la muestra, en este caso un mapa mental. Cada una de las ramas del mapa dio lugar a un enunciado o idea. En el listado de ideas que se extrajeron de esta primera versión del organizador gráfico la idea señalada en el ejemplo se registró como “En la herencia genética se heredan rasgos diferentes como la altura o el color de la piel”, en este listado se registraron un total de treinta dos enunciados.

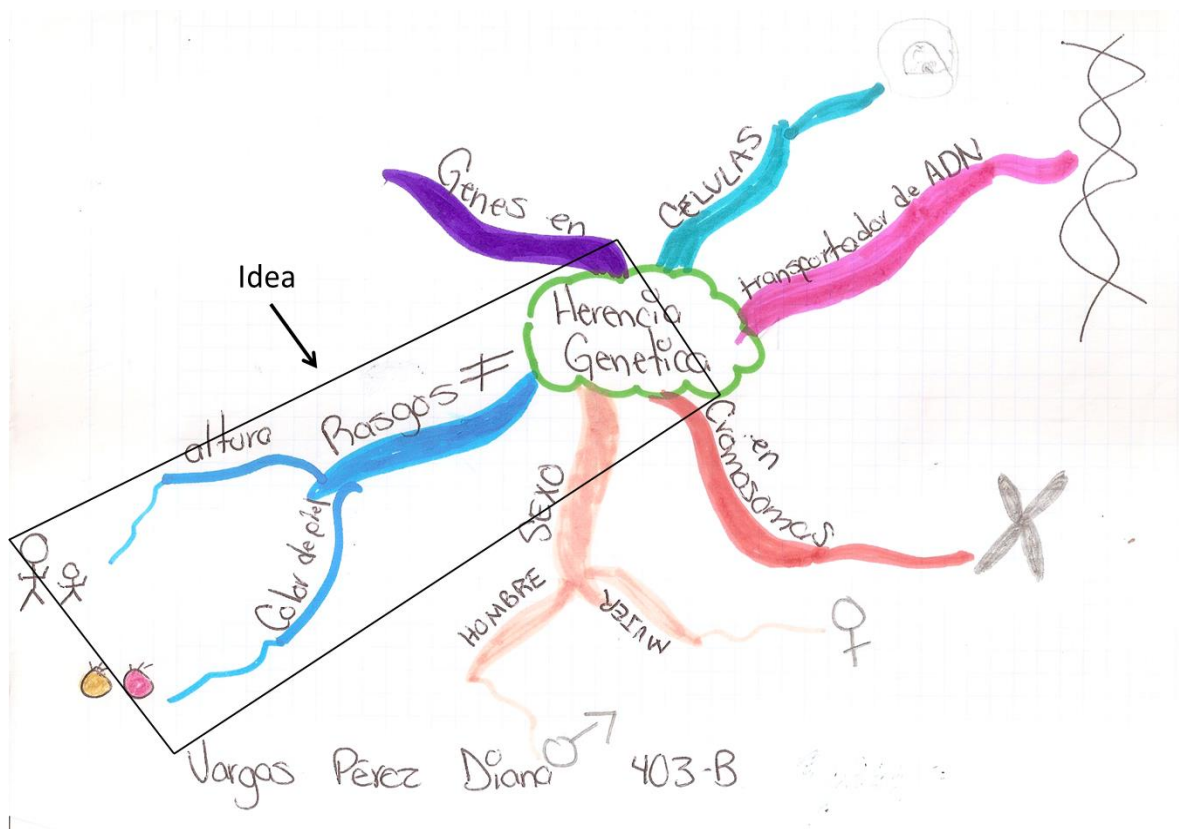


Figura 5. Modelo de organizador gráfico elaborado por los alumnos. Ejemplo de la construcción de enunciados a partir de los registros de los alumnos.

El análisis de los enunciados extraídos de los organizadores, se llevó a cabo mediante una categorización que consistió en su clasificación en grupos de diferente nivel de generalidad con la intención de encontrar referentes en común en las interpretaciones de los estudiantes. De mayor a menor generalidad los grupos que se establecieron fueron el de categoría, subcategoría y concepción. Así pues, a continuación se describe la categorización de los enunciados obtenidos de las dos versiones del organizador gráfico elaborados durante el desarrollo de la estrategia.

4.1.2.1 Categorización de ideas de la primera versión del organizador gráfico

La clasificación de las ideas que emergieron de la primera versión del organizador gráfico permitió el establecimiento de tres categorías que a continuación se describen:

Categoría 1: Transmisión. Se reúnen aquí ideas que hablan acerca de lo que se transmite de un individuo a otro. Dependiendo de lo que se expresó en las ideas con relación a la naturaleza de lo que se transmite, estas ideas se agruparon a su vez en tres subcategorías que se enlistan a continuación junto con las concepciones que subyacen en ellas.

- *Subcategoría 1. Transmisión de rasgos.* Las ideas de este conjunto se orientaron hacia la concepción de que en la herencia se transmiten rasgos físicos que pueden ser características como el color de pelo, el color de ojos o enfermedades.

Subcategoría 2. Transmisión de estructuras materiales. Las ideas de este conjunto se orientaron hacia la concepción de que en la herencia transmite material hereditario y que este material está compuesto por DNA, genes y cromosomas.

- *Subcategoría 3. Transmisión de estructuras materiales que son causantes de los rasgos.* Las ideas de este conjunto se orientaron hacia la concepción de que en la herencia se transmiten características físicas que están en los cromosomas y el ADN.

Categoría 2. Caracterización del material hereditario. Se incluyen en este grupo ideas que hacen referencia a algunas características del material hereditario, por ejemplo el grupo de biomolécula al que pertenece, su localización y su

empaquetamiento. De acuerdo a las características señaladas, las ideas de los estudiantes se agruparon en las siguientes subcategorías:

- *Subcategoría 1. DNA como molécula que porta la información hereditaria.* Las ideas agrupadas en esta categoría comparten la concepción de que el DNA contiene la información hereditaria que resulta en rasgos físicos.
- *Subcategoría 2. Función y estructura de los cromosomas.* La concepción hacia la que se orientan las ideas integradas en este grupo refiere que el DNA se encuentra en los cromosomas y que estas contienen las características del nuevo ser por eso pueden ser fuertes o débiles.
- *Subcategoría 3. Localización del material hereditario.* Las ideas agrupadas aquí dan cuenta de una sola concepción que establece que el material genético está contenido en el núcleo de las células eucariontes.

Categoría 3. Reproducción sexual como mecanismo de la herencia. La tendencia de las ideas que conforman esta categoría es la de considerar a la reproducción sexual como un mecanismo o el mecanismo por el cual se reparten y transmiten los rasgos o las estructuras que los causan, es posible que esta situación radique en la dificultad de distinguir entre el fenómeno de fecundación o fusión de los núcleos haploides y los diferentes mecanismos de transmisión de los genes.

Las diferentes agrupaciones que se formaron como resultado de esta primera clasificación permiten considerar que aunque en el pensamiento de los estudiantes subyace la concepción de que lo que se transmite en la herencia es el fenotipo, es posible encontrar nociones que apuntan hacia el reconocimiento de una estructura causal de la que se derivan los rasgos. No obstante, esta primera exploración de las ideas de los alumnos deja claro que dicha estructura no es clara para ellos pues se vislumbra confusión entre si lo que se transmite y contiene la información hereditaria que causa los rasgos es la cadena doble de DNA o los cromosomas. Un punto de conflicto se sitúa particularmente en estas últimas estructuras pues a pesar de que se identifican como los elementos físicos que se transmiten de un individuo a otro, se tiene la idea de que existen cromosomas débiles y fuertes, de la misma manera en como se presentan los rasgos que se observan: dominantes cuando son fuertes y recesivos cuando son débiles. En cuanto a la localización del material, las ideas de los estudiantes se

orientan hacia su ubicación en el núcleo de las células, sin embargo no especifican si en todas y cualquier tipo de célula o sólo en algunas. En la figura 6 se representa a manera de promedio la posible organización conceptual de los estudiantes de la muestra que se infiere a partir de la información antes descrita.

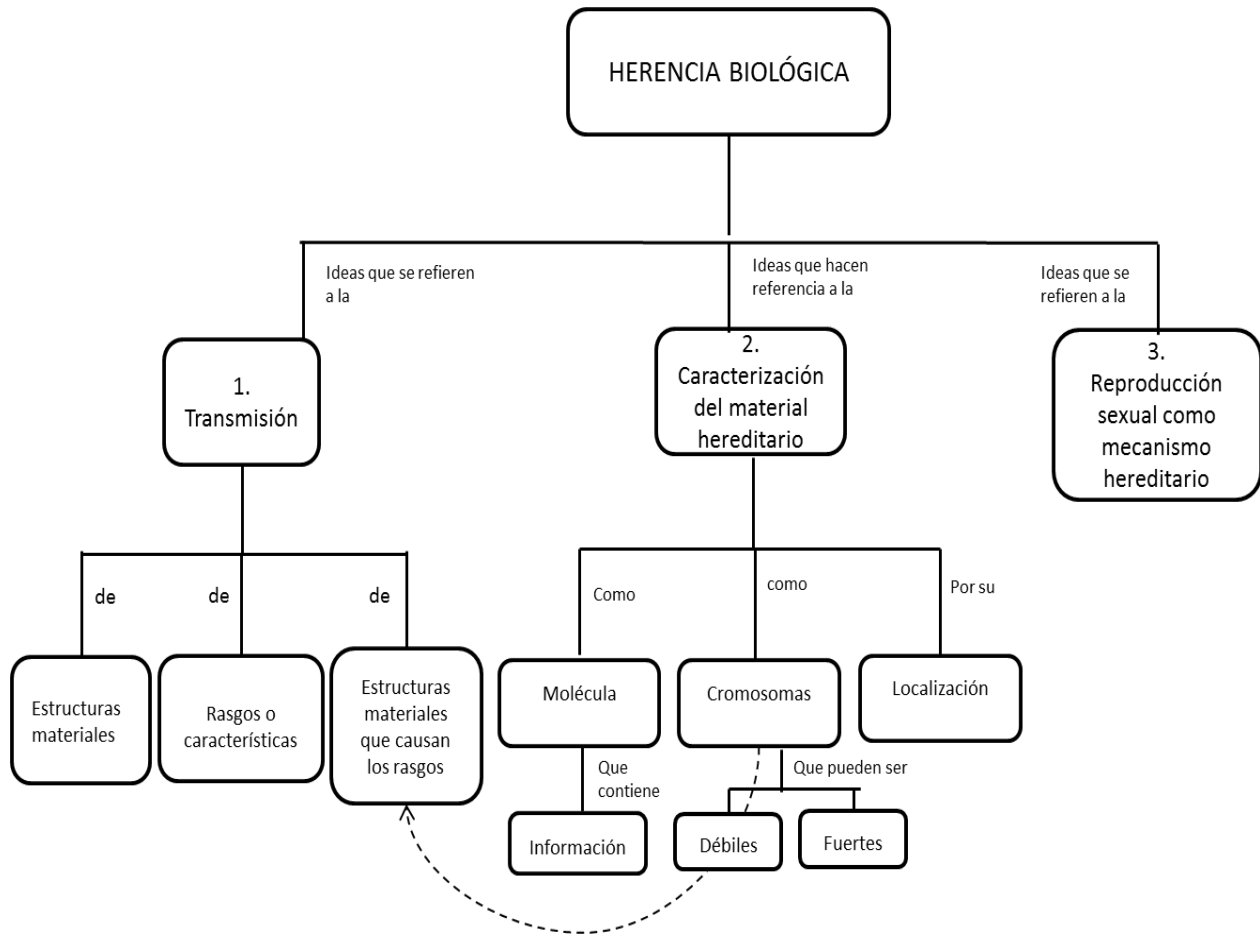


Figura 6. Estructura conceptual promedio. Organización de las ideas de los estudiantes a partir de la categorización de enunciados de la primera versión del organizador gráfico.

4.1.2.2. Categorización de ideas de la primera versión del organizador gráfico

La segunda versión del organizador gráfico se realizó inmediatamente después de la intervención docente. Los enunciados que conformaron el listado de ideas de este organizador gráfico fueron 112, lo que puede denotar en primera instancia un número de conceptos más alto. En la figura siguiente se muestra la segunda

versión del organizador gráfico elaborado por la misma alumna que se tomó de modelo para el ejemplo presentado en la categorización de la primera versión del instrumento. Puede apreciarse aquí que no obstante a que hay un número menor de ramas, los conceptos empleados son más diversos y numerosos.

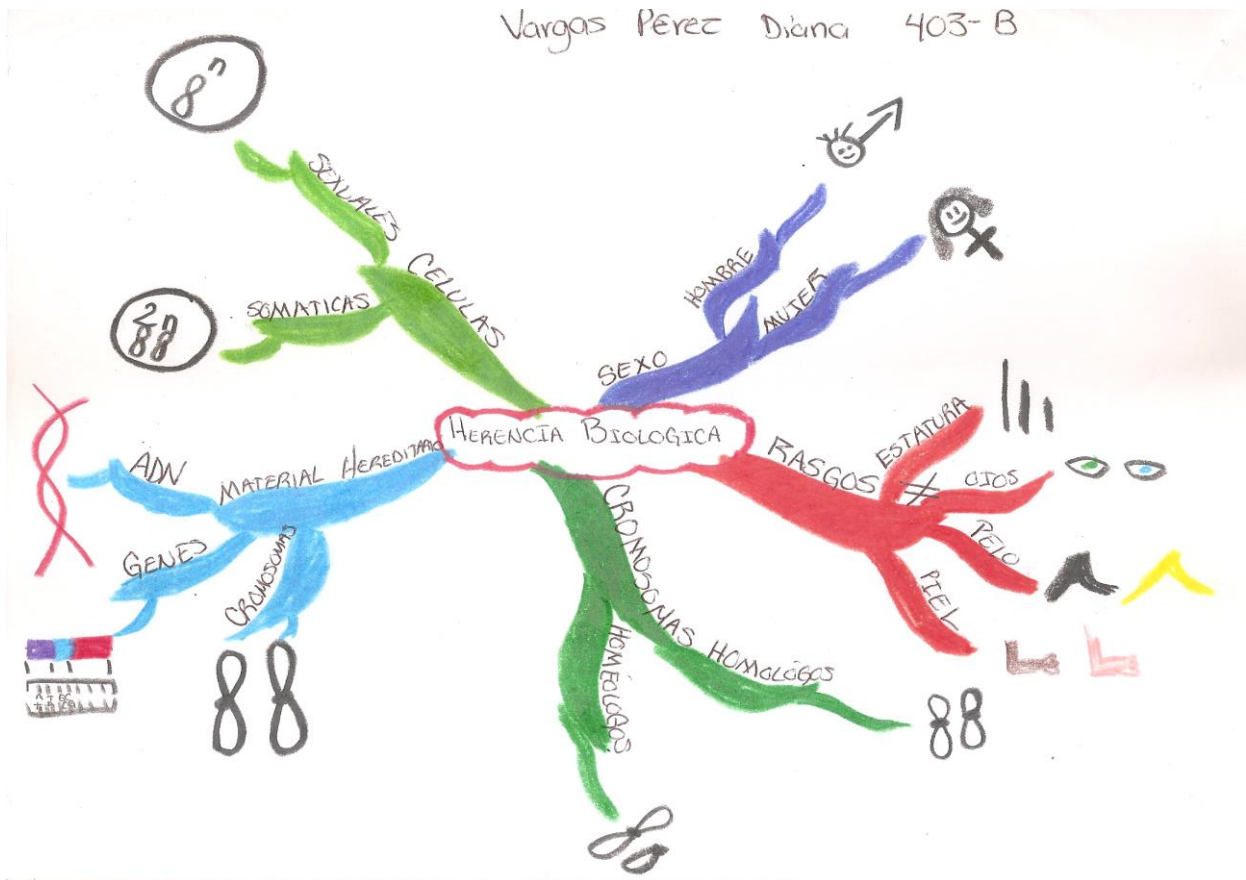


Figura 7. Modelo de organizador gráfico segunda versión

La clasificación de los 112 enunciados llevó a la conservación de las tres categorías de la versión anterior y al establecimiento de tres categorías más. La primera de las categorías que se conservaron no tuvo ninguna modificación pues no se agregaron ni desaparecieron ideas, las otras dos en cambio sí fueron modificadas, pues tras la realización de las actividades de aprendizaje emanaron ideas que llevaron a su reestructuración. A continuación se describen los cambios que se presentaron en dichas categorías, así como el contenido de las nuevas que surgieron.

Categoría 1. Transmisión. Esta categoría se mantuvo prácticamente igual a la categoría uno de la versión anterior. Las ideas de los estudiantes que dieron cuenta de la naturaleza de lo que se transmite se clasificaron en tres subcategorías:

- *Subcategoría 1. Transmisión de rasgos.* La concepción que comparten las ideas reunidas aquí alude al hecho de que en la herencia se transmiten rasgos físicos que pueden ser características físicas, enfermedades y habilidades.
- *Subcategoría 2. Transmisión de estructuras materiales.* La concepción que comparten las ideas reunidas aquí alude al hecho de que en la herencia se transmiten a los descendientes genes a través del DNA y los cromosomas.
- *Subcategoría 3. Transmisión de estructuras materiales que son causantes de los rasgos.* La concepción que comparten las ideas de este grupo refiere que los rasgos físicos que se transmiten en la herencia se encuentran en los genes y los cromosomas.

Categoría 2. Caracterización del material hereditario. Aunque esta categoría se presenta también en la versión uno, los elementos que los alumnos emplearon en esta versión para caracterizar al material hereditario presentan al parecer un mayor grado de complejidad. Las ideas que se agruparon en esta categoría se clasificaron a su vez en cuatro subcategorías que se detallan abajo.

- *Subcategoría 1. El DNA como la molécula de la herencia.* La concepción que subyace en las ideas reunidas en esta categoría es que el DNA es una molécula orgánica que contiene la información hereditaria que causa los rasgos.
- *Subcategoría 2. Genes.* Las ideas de este grupo comparten la concepción de que el ADN contiene genes y que a través de estas estructuras se transmite la información que causa los rasgos.
- *Subcategoría 3. Cromosomas.* La concepción que integra a las ideas de este conjunto hace referencia a los cromosomas como las estructuras en las que se arreglan o disponen los genes y por tanto como los causantes de los rasgos en los individuos.
- *Subcategoría 4. Localización del material hereditario.* Las ideas enmarcadas en este conjunto comparten la noción de que el material hereditario se localiza en el núcleo de las células, sin embargo de este pensamiento se derivan dos concepciones diferentes: por un lado se considera que todas las células contienen

información para generar rasgos y por otro, esta información se confiere únicamente a las células sexuales.

Categoría 3. Reproducción sexual y división celular como mecanismos de transmisión de rasgos. En esta categoría se agruparon las ideas que en las que subyace la concepción de que la reproducción sexual, así como la mitosis y meiosis son los mecanismos por los que se transmiten las estructuras de la herencia o los rasgos.

Categoría 4. Relación rasgos-genes. Este conjunto de ideas presentan una clara noción de que los rasgos de los individuos son causados por los genes. La concepción que se deriva de estas ideas identifica a los genes como datos específicos que causan características físicas, psicológicas y de la salud, y se complementa con la idea de que cada gen determina un rasgo

Categoría 5. Genotipo y fenotipo. De las ideas que se integran en esta categoría se derivan dos concepciones diferentes con las cuales se establece una clara distinción entre el concepto de fenotipo y genotipo. Para el primer término la concepción que surge es que el fenotipo son los genes en el exterior, es decir las características que se ven a simple vista por ejemplo rasgos físicos como la altura, la textura del cabello o el color de ojos; el género o sexo, actitudes, formas de pensar y deficiencias. Por su parte la concepción que se refiere al genotipo habla de las estructuras genéticas, del genotipo como el conjunto de genes.

Categoría 6. Mecanismos de la herencia. Las ideas que conformaron esta categoría dieron cuenta del conocimiento que los estudiantes tienen sobre los mecanismos de la herencia. La concepción que emerge de estas ideas señala que el mecanismo por el cual se transmiten las estructuras que causan los rasgos está definido por las características de dichas estructuras, por tanto como el material hereditario tiene estructuras dominantes y recesivas, ya sean cromosomas o genes, el mecanismo hereditario que se presenta es el de la dominancia puesto que las estructuras dominantes causan características más fuertes o abundantes, mientras que las recesivas dan lugar a características poco vistas o poco abundantes.

La categorización antes descrita advierte diferencias relevantes respecto a la estructura conceptual promedio que concentró las ideas de la primera versión del organizador gráfico.

Para comenzar puede mencionarse lo apreciado en la primera categoría de ambas versiones, que a pesar de tener prácticamente la misma organización presentó una diferencia importante en las concepciones de la subcategoría dos referida a la naturaleza de las estructuras transmitidas. En la concepción de la primera versión no es posible distinguir un reconocimiento claro de las estructuras que se transmiten, pues bien pueden ser genes, cromosomas o DNA. En la segunda versión en cambio la concepción se orienta hacia el reconocimiento de los genes como los elementos físicos involucrados en la herencia, no obstante es importante señalar que dichos elementos se aprecian más como estructuras “pegadas” al DNA que como segmentos de esta molécula.

A pesar de que es posible notar en el pensamiento de los alumnos la noción de que en la herencia se transmiten genes, cuando establecen la relación estructura material-rasgos presentan nuevamente confusión debido a que señalan tanto a los genes como a los cromosomas como las posibles estructuras que causan los rasgos, lo que puede indicar dificultades en la comprensión del proceso de empaquetamiento del DNA. En esta línea cabe resaltar la presencia de ideas que ubican a los genes en los cromosomas, además del hecho de que en esta segunda versión no se presenta la concepción de que existen cromosomas débiles y cromosomas fuertes. En lo que respecta a la localización del material hereditario resalta el hecho que emerge la idea de que sólo los gametos lo contienen, pensamiento que probablemente se derive de que este tipo de células se relacionan directamente con el proceso de reproducción sexual que los alumnos identifican como un mecanismo hereditario, esta idea se suma a la ya presente en la versión anterior del mapa que se refiere a la presencia de material hereditario en el núcleo de todas las células.

No obstante las dificultades conceptuales que se aprecian en lo arriba descrito, es posible apreciar en las ideas de esta segunda versión que los alumnos distinguen entre el concepto de genotipo y fenotipo, aunque es evidente que en sus

definiciones hay deficiencias, en este sentido llaman la atención nociones como “el fenotipo son los genes en el exterior” o “cada gen causa un fenotipo”.

Finalmente, se presentan también en esta segunda versión concepciones que hablan sobre los mecanismos de la herencia, siendo en este momento de la secuencia didáctica la dominancia-recesividad el único mecanismo que identifican los estudiantes, sin embargo también con deficiencias en su definición. En la línea de ideas concernientes a los mecanismos de la herencia cabe destacar aquellas que señalan a la reproducción sexual como el mecanismo de transmisión de los rasgos o los genes, lo que denota algunas de las deficiencias a las que se hace referencia. En la figura ocho se organiza a manera de promedio la información antes descrita con la intención de representar la posible estructura conceptual de los alumnos de la muestra que resulta de la categorización de ideas de la segunda versión del organizador gráfico.

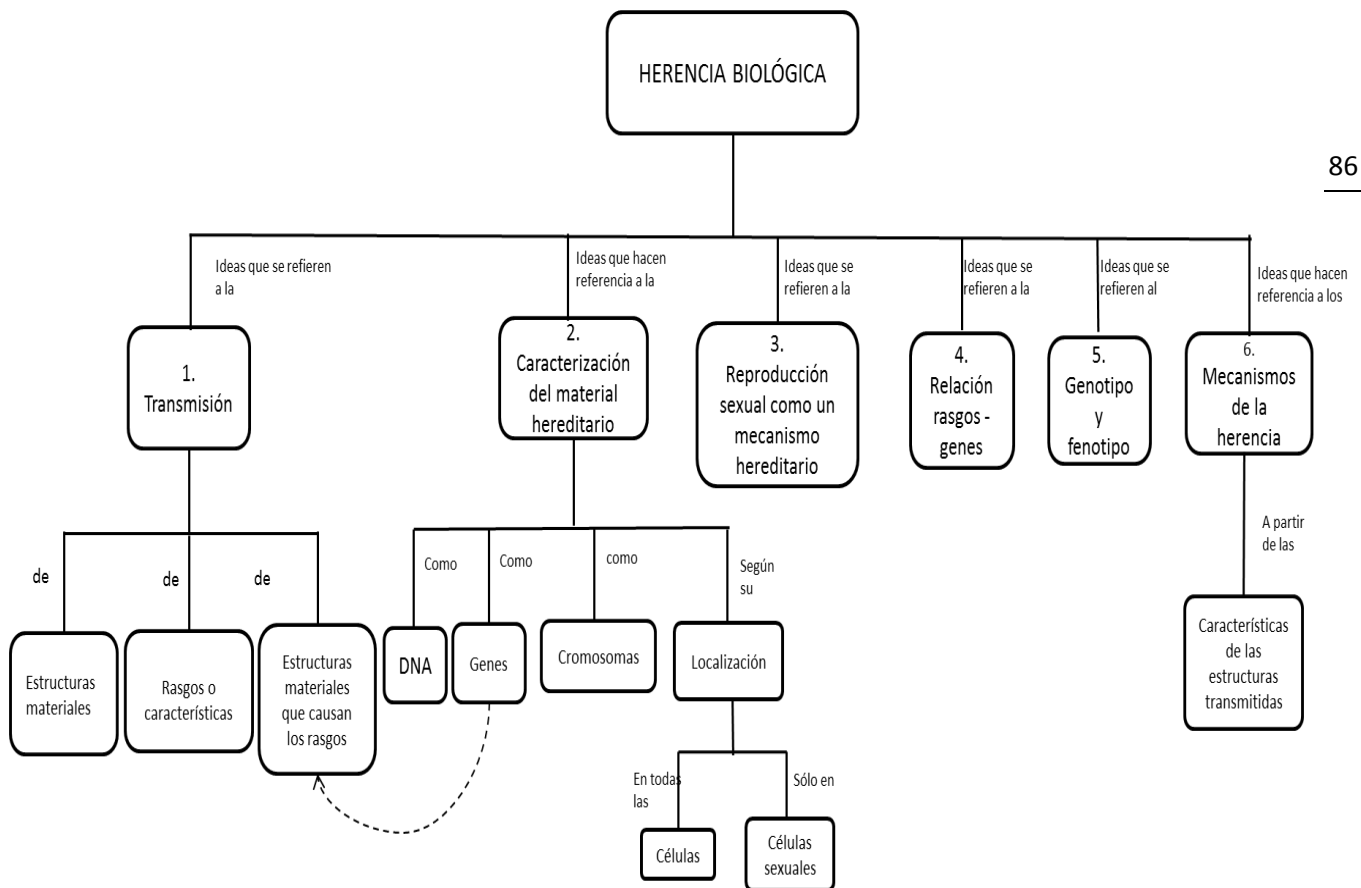


Figura 8. Estructura conceptual promedio. Organización de las ideas de los estudiantes a partir de la categorización de enunciados de la segunda versión del organizador gráfico.

4.1.3. Evaluación al Final de la estrategia

El instrumento de evaluación empleado en el cierre de la estrategia fue la lista de cotejo, herramienta que permitió recoger información sobre la evaluación y reflexión que los alumnos hicieron de su trabajo. En el instrumento se presentó a los estudiantes una lista de acciones para las que tenían que indicar si las habían llevado a cabo o no, dichas acciones corresponden a las actividades de aprendizaje que integraron la estrategia como por ejemplo el planteamiento de metas personales, la discusión entre pares, organización de la información, por mencionar algunas; además se incluyeron tres preguntas abiertas que se plantearon con la intención de ahondar sobre las dificultades a las que se enfrentaron los alumnos para realizar las tareas solicitadas, así como las propuestas para mejorar su trabajo.

La codificación de la información se realizó contando para cada acción el número de alumnos que la llevaron a cabo y obteniendo el porcentaje correspondiente, esta información se muestra en la tabla nueve, por su parte el análisis se hizo contrastando los datos numéricos con las respuestas de las preguntas abiertas.

Tabla 9. Porcentaje de alumnos que realizaron las actividades de aprendizaje propuestas

Acciones	% de alumnos que la realizaron
1. Participar en discusiones grupales, en equipo o en pareja	98 %
2. Usar organizadores de ideas (organizadores gráficos)	83 %
3. Establecer objetivos	87 %
4. Realizar las actividades planteados por el instructor	78 %
5. Recolectar y analizar datos	52 %
6. Plantear conclusiones	84 %

Las acciones enlistadas en la tabla dan cuenta de las estrategias de aprendizaje que se plantearon para estudiar la naturaleza de lo que se transmite en la herencia, los porcentajes obtenidos muestran cuáles de estas estrategias fueron efectuadas por los alumnos. La intención de este ejercicio fue que los estudiantes identificaran y reflexionaran sobre aquellas actividades que les permitieron, a su parecer, tener un buen desempeño ante el aprendizaje, así como aquellas con las

que no obtuvieron resultados que los haya satisfecho, lo anterior con miras a que en las estrategias posteriores sean ellos mismos los que planifiquen sus actividades. Las opiniones de los alumnos en torno a la ejecución de estas estrategias se mencionan a continuación:

- En cuanto a la participación en discusiones grupales, en equipo o en pareja, las respuestas de los estudiantes muestran consenso al considerar que esta actividad permite lograr resultados buenos pues si no se comprende algún aspecto de lo revisado en clase, los compañeros de equipo pueden explicarlo.
- La elaboración de organizadores gráficos por su parte se registró como una de las actividades que más costó trabajo realizar, no obstante varios de los comentarios de los alumnos señalan que su corrección o complementación ayudó a replantear lo revisado en las clases.
- En lo que respecta al planteamiento de objetivos, las opiniones se dirigieron en dos direcciones: por un lado señalaban de manera general que plantear objetivos personales permitía concentrarse en aspectos concretos y por otro, que daba la oportunidad de investigar cosas del interés de los alumnos y no sólo lo que solicitaba el instructor. Las respuestas de los alumnos que no plantearon objetivos apuntaban entre otras cosas a que era una actividad propia del instructor o a que no se les ocurría nada que les interesara conocer.
- En lo que toca a la realización de actividades solicitadas por el instructor, cabe señalar que la mayoría de estas tareas se llevaron a cabo en equipo pero se pidió explícitamente que se hicieran registros individuales de ellas. La mayoría de los estudiantes elaboraron estos registros, sin embargo se presentaron casos en los que prácticamente no se hizo ningún trabajo. Las respuestas de los alumnos que actuaron de esta manera se inclinaban a depositar la responsabilidad de la realización del trabajo en sus compañeros de equipo y no en ellos.
- La recolección y análisis de datos se posicionó como la actividad menos realizada, los comentarios sobre esta tarea giran en torno a la dificultad de elaborar gráficas y hacer interpretaciones de ellas. Algunos alumnos indicaron que el conflicto se presentó desde el momento en que se hizo la recolección de datos pues tenían información incompleta o errónea.
- Por último en relación al planteamiento de conclusiones, aunque el porcentaje obtenido indica que la mayoría de los alumnos llevaron a cabo esta actividad, las

opiniones expresadas indican que al igual que los organizadores gráficos esta tarea resulta complicada, siendo el punto de conflicto la dificultad para redactar textos escritos.

Para concluir con esta parte se enlistan a continuación las actividades que los alumnos propusieron para mejorar su desempeño. Después de la reflexión y autoevaluación que hicieron sobre su trabajo es posible considerar que estas actividades aluden a la toma de conciencia de las acciones que son necesarias para lograr su meta de aprendizaje.

- Investigar sobre el tema de manera extra clase
- Poner atención a las explicaciones
- Aclarar dudas, preguntar cuando no se entiende algo
- Ninguna para el trabajo propio, la responsabilidad la deja en el instructor
- Ser más participativos
- Repasar apuntes
- Poner más interés y compromiso en el trabajo en equipo
- Organizar la información y corregir y/o complementar los organizadores elaborados
- Tener mejor organización en el equipo distribuyendo las tareas equitativamente
- Corregir gráficas y analizar nuevamente los datos recolectados

4.2. Resultados y análisis de resultados del segundo nivel de aproximación de la secuencia didáctica: naturaleza de la estructura transmitida

El segundo nivel de aproximación de la secuencia didáctica se abordó con una estrategia que se concentró en el estudio de la caracterización del material hereditario con la intención de que los alumnos se familiarizaran con los conceptos básicos de la genética. Al igual que la estrategia anterior esta intervención se organizó en tres momentos diferentes, en cada uno de los cuales se integraron instrumentos de evaluación cuyos resultados se describen a continuación.

4.2.1. *Evaluación al inicio de la estrategia*

El instrumento empleado en esta etapa de la estrategia fue un cuadro CQA (Ogle, 1990). Las ideas en las que se concentró el análisis fueron las escritas en la primera columna de este cuadro en la que los alumnos anotaron lo que conocían del tema a estudiar. Para la codificación, las ideas escritas por los alumnos se transcribieron y enlistaron, en total se registraron ochenta y siete ideas. El análisis al igual que con algunos instrumentos anteriores, se realizó a través de una categorización que se llevó a cabo siguiendo el procedimiento descrito en el nivel de aproximación previo. Las ideas de la primera columna de este instrumento se organizaron en cuatro categorías que se describen a continuación.

Categoría 1. Caracterización del material hereditario

- *Subcategoría 1. Naturaleza de los genes.* Los genes son reconocidos como características que se disponen en el DNA, además se identifican como dominantes y recesivos con base en la observación de la manifestación de los rasgos en términos de abundancia, es decir los genes dominantes son las características más abundantes y los recesivos las características menos abundantes. Esta noción se vincula a la idea de que los genes dominantes son aquellos de los cuales se obtienen características y los genes recesivos son aquellos en los que las características no se presentan pues pueden ser “guardadas” por varias generaciones para después ser obtenidas.
- *Subcategoría 2. Organización del material hereditario.* La concepción central de las ideas que se reúnen en este grupo sugiere que el DNA pasa por diferentes procesos antes de ser transmitido, de manera que en esta molécula quedan contenidos los genes y estos a su vez en los cromosomas.
- *Subcategoría 3. Localización de las estructuras transmitidas.* Las ideas de esa categoría dieron lugar a dos concepciones diferentes. Por un lado se tiene que las estructuras que se transmiten en la herencia están presentes en todas las células de los seres vivos y que su cantidad tienen que ser la misma en cada una de ellas, por otro lado se piensa que los elementos materiales se encuentran únicamente en células sexuales como óvulos, espermatozoides y polen.

Categoría 2. Reproducción sexual reconocida como un mecanismo hereditario. La concepción que encierra esta categoría se presenta desde el nivel de aproximación

anterior, en el que se reconoce a la reproducción sexual como el mecanismo por el cual se transmiten los elementos de la herencia, en este caso los genes.

Categoría 3. Relación gen-rasgo. Esta categoría que surge desde el nivel de aproximación anterior integra ideas que comparten la concepción de que los genes son los causantes de los rasgos en los individuos. La relación gen-rasgo se reconoce para la asignación de características físicas, que se nombran como “características exteriores”, así como para la determinación de características “internas” que se relacionan con enfermedades y con la formación de proteínas, también se establece esta relación en el reconocimiento de actitudes y comportamientos como la nobleza, violencia, hiperactividad, por mencionar algunos ejemplos.

Categoría 4. Herencia y continuidad de la vida. La concepción común de las ideas reunidas en este grupo establece que la transmisión de genes de un individuo a otro durante muchas generaciones permite que continúe la existencia de las diferentes especies.

Las categorías y subcategorías que resultaron de esta organización permiten sugerir que en el pensamiento de los alumnos está presente la noción de que los rasgos son causados por estructuras materiales y en esta línea se identifica al gen como dicho elemento físico, lo anterior puede ser un indicio de que los estudiantes reconocen que los genes son las unidades que se transmiten en la herencia.

En torno a la caracterización de la estructura transmitida, las concepciones surgidas aluden a aspectos como su naturaleza, localización y disposición dentro de la célula. Respecto al primero de estos aspectos, los genes se definen como características, en cuanto a su disposición se hace referencia a un proceso que coloca a los genes en los cromosomas y en relación a su localización, dispuestos en los cromosomas, los genes se ubican en el interior del núcleo de las células y en particular de los gametos.

Se vislumbran también nociones que abordan aspectos relacionados con los mecanismos de transmisión, no obstante la concepción que prevalece es que la reproducción sexual es un mecanismo hereditario. Finalmente, la transmisión de

los genes y los rasgos que causan se vinculan con la noción de continuidad de las especies, depositando en estas estructuras materiales la causa de este fenómeno. En la figura siguiente se representa a manera de promedio la posible organización conceptual de los estudiantes que revela la categorización antes descrita.

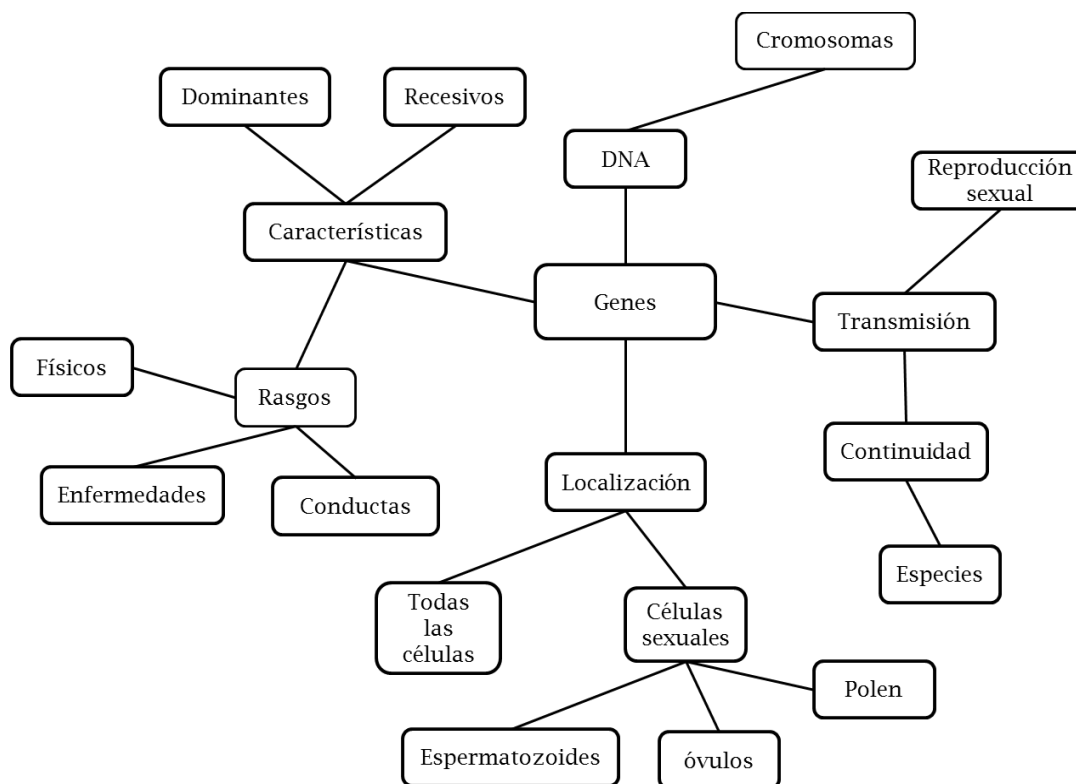


Figura 9. Estructura conceptual promedio. Organización de las ideas de los estudiantes a partir de la categorización de las anotaciones de la primera columna del cuadro CQA.

4.2.2. Evaluación durante la estrategia

Para el análisis de las ideas que los alumnos expresaron en este momento de la estrategia se reunió la información de dos instrumentos que recogieron información concerniente a las características de la estructura transmitida en la herencia. El primero de estos instrumentos corresponde a la tercera columna del cuadro CQA que recolectó datos relativos a lo que los alumnos aprendieron del tema, mientras que el segundo fue un mapa mental. La codificación e datos del primer instrumento se realizaron transcribiendo y enlistando a manera de enunciados lo que los alumnos anotaron en la tercera columna. Por su parte la

codificación de datos del mapa mental se realizó de la misma manera en que se procedió con los organizadores gráficos empleados en la estrategia del segundo nivel de aproximación: se construyeron enunciados a partir de los dibujos, explicaciones y términos que los alumnos registraron en sus mapas mentales. En la figura diez se presenta como modelo un mapa mental elaborado por uno de los alumnos de la muestra.

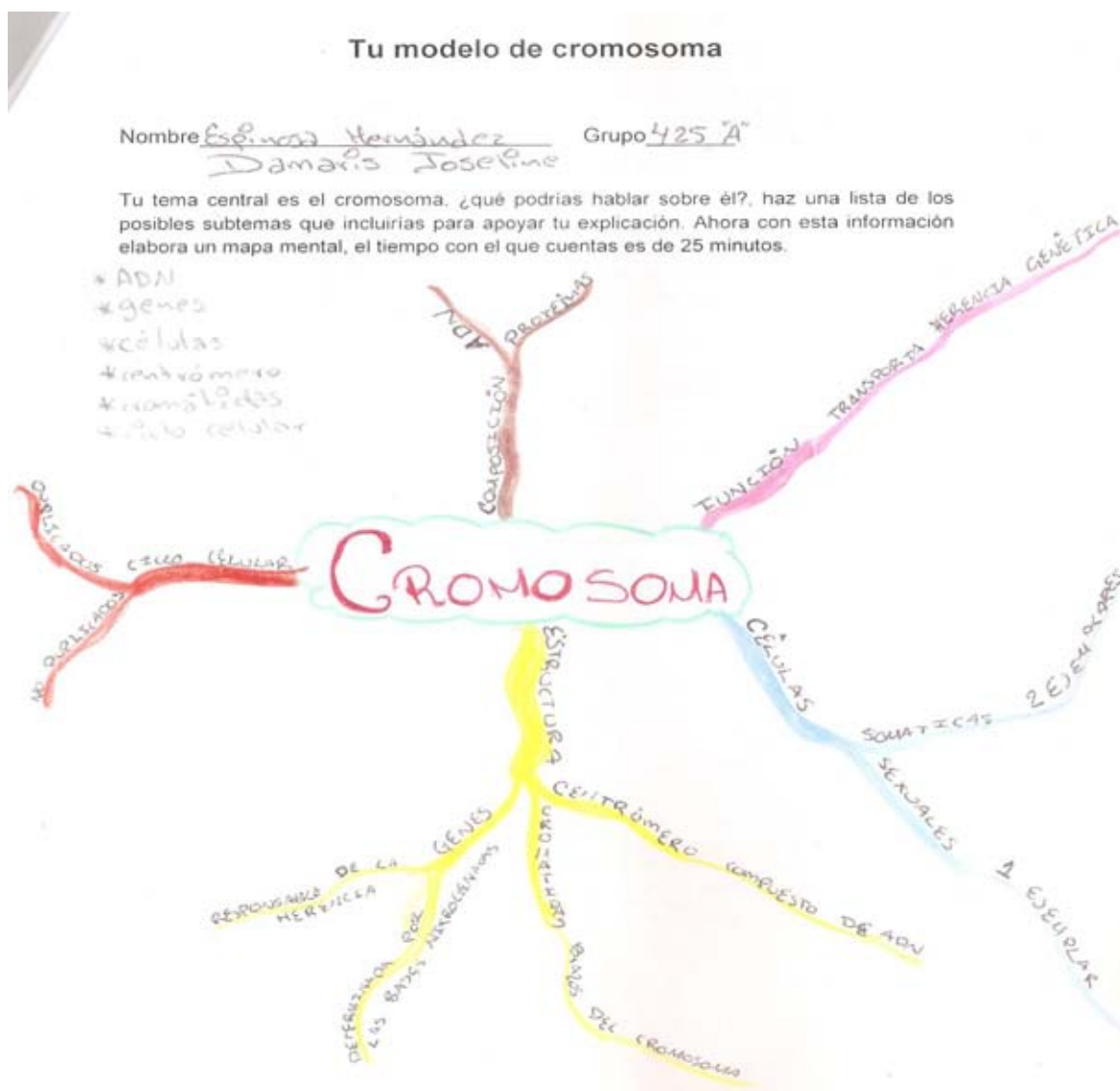


Figura 10. Modelo de mapa mental

El análisis de la información obtenida con estos instrumentos se realizó organizando las ideas en categorías, procedimiento que se llevó a cabo de la misma forma en que se categorizaron las ideas de algunos instrumentos anteriores. La organización de ideas que resultó de esta categorización condujo al establecimiento de las siguientes seis categorías:

Categoría 1. El gen como la unidad de transmisión de la herencia. Se reúnen aquí ideas que identifican a los genes como estructuras físicas que se transmiten en la herencia. Estas ideas se organizaron en subcategorías formadas a partir de las concepciones subyacentes a ellas y que hacen referencia a la naturaleza de los genes.

- *Subcategoría 1. Genes como portadores de características.* La concepción de esta categoría reconoce a los genes como portadores de características que están dispuestas a lo largo del ADN y que hacen únicos a los seres vivos.
- *Subcategoría 2. Genes como segmentos de información.* Se reconoce a los genes como las unidades de transmisión que contienen información que determina las características de un ser vivo. Esta información es una secuencia de bases nitrogenadas del ADN.
- *Subcategoría 3. Alelos.* La concepción que comparten las ideas de este grupo señala la presencia de dos formas diferentes para un gen llamadas alelos. Los alelos se reconocen entonces como las diferentes alternativas de un gen y cada uno de estos alelos se relaciona con un rasgo diferente, además sobresale la noción de que estos alelos pueden ser dominantes o recesivos.

Categoría 2. Caracterización de la estructura transmitida. Se reúnen en esta categoría ideas que aluden a las características del material hereditario, de acuerdo a la característica señalada estas ideas se organizaron en las subcategorías siguientes:

- *Subcategoría 1. Niveles de empaquetamiento del ADN.* El material hereditario que es el ADN pasa por un proceso de compactación que sucede cuando se enrolla en proteínas histonas, de esta manera la información que contiene el ADN se arregla en genes y estos a su vez se encuentran en los nucleosomas, solenoides y cromosomas que es el nivel máximo de compactación del ADN.

- *Subcategoría 2. Características de los cromosomas.* En torno a la caracterización de los cromosomas se presentaron las siguientes concepciones:

- *Concepción 1.* Los cromosomas son ADN compactado, pueden ser sencillos o duplicados dependiendo de la etapa en la que se encuentre la célula, cada cromosoma contiene sus propios genes que pueden ser dominantes o recesivos, cada gen ocupa un lugar específico llamado locus. Cada cromosoma es una molécula de ADN.

- *Concepción 2.* Estructuralmente los cromosomas están formados por telómeros y un centrómero. Dependiendo de la posición del centrómero los cromosomas pueden ser metacéntricos, submetacéntricos y telocéntricos.

- *Concepción 3.* Los cromosomas se encuentran en pares, cuando los pares son iguales en tamaño se llaman homólogos y cuando son diferentes son cromosomas sexuales. Los cromosomas homólogos contienen genes que causan las características del cuerpo como el color de ojos, el color del cabello. Los cromosomas sexuales contienen los genes que determinan el sexo, estos cromosomas pueden ser X o Y.

- *Subcategoría 3. Localización de la estructura transmitida.* La concepción que engloba a las ideas reunidas aquí reconoce la presencia de material hereditario (cromosomas y los genes que se disponen en ellos) en el núcleo de todas las células de los seres vivos, no obstante estas estructuras se encuentran en cantidad diferente según el tipo de célula que se trate. En las células somáticas por ejemplo, hay dos juegos de este material, mientras que en las sexuales sólo hay uno.

Categoría 3. Nivel de ploidía. Este grupo de ideas hacen referencia a la cantidad de material hereditario, en términos de juegos de cromosomas, que hay en las células. Se reconoce el nivel diploide como la condición conformada por dos juegos de cromosomas que se arreglan en pares homólogos, como sucede en las células somáticas; mientras que el nivel haploide se describe como el conformado por un solo juego, condición que se presenta en los gametos. Esta noción conduce en algunos casos a la concepción de que los cromosomas que se encuentran en los gametos son haploides y los que se encuentran en las células somáticas son diploides y es aplicada también por algunos alumnos al concepto de gen.

Categoría 4. Mecanismos de la herencia. Se concentran aquí ideas que aluden a las formas en que se transmiten las estructuras de la herencia. Se identifican, aunque sin definirse, mecanismos como la dominancia-recesividad, alelos múltiples, ligados al sexo y la herencia intermedia. En lo que respecta a los alelos múltiples, se reconoce que un gen puede tener más de dos alelos, en lo que toca a la dominancia y recesividad los alumnos presentan la concepción de que las estructuras dominantes sobresalen por encima de las recesivas porque son más abundantes y que por esta razón son las que se manifiestan en todas las generaciones sin excepción alguna y en relación a la herencia intermedia se tiene la noción de que este mecanismo se presenta cuando los individuos son heterocigotos. En algunos casos la reproducción sexual se identifica también como un mecanismo hereditario.

Categoría 5. División celular. Se reúnen en esta categoría ideas que abordan aspectos del reparto del material hereditario cuando las células se dividen. La concepción de los alumnos respecto a este proceso es que el reparto del material hereditario debe ser equitativo de manera que en las células que se forman debe haber los mismos genes que en la célula que les dio origen, se reconoce que los gametos se forman por meiosis y las células somáticas por mitosis. La meiosis se vincula con la noción de segregación de alelos.

Categoría 6. Genotipo homocigoto y heterocigoto. Las ideas que conforman este grupo hacen referencia a la condición genotípica de un individuo respecto a un gen en particular. La concepción que comparten estas ideas señala que en la condición heterocigota los cromosomas homólogos tienen dos alelos diferentes, en la condición homocigota tienen dos alelos iguales dominantes y en la condición homocigota recesiva tienen dos alelos recesivos iguales. Algunas ideas de los alumnos atribuyen la condición genotípica a los cromosomas.

En figura once se presenta a manera de promedio la posible estructura conceptual de los alumnos que revela la categorización de ideas obtenidas de la tercera columna del cuadro CQA y del mapa mental sobre la estructura del cromosoma. Las categorías y subcategorías que resultaron de esta organización sugieren cambios relevantes respecto a concepciones descritas anteriormente, tanto en esta estrategia como en la del primer nivel de aproximación.

El primero de estos cambios se reconoce en la noción de los estudiantes acerca de la naturaleza del gen, que en este momento de la estrategia aunque continua la concepción de que los genes son características, se suma la noción de que los genes son segmentos de información codificada en una secuencia específica de pares de bases, en ambas visiones se identifica al gen como la estructura de la herencia que causa los rasgos. En esta línea emerge la noción de alelo y con ella concepciones concernientes a la condición homocigota o heterocigota de los individuos.

Otro cambio relevante se vislumbra en lo relativo a la caracterización de la estructura transmitida pues las explicaciones de los estudiantes integraron nociones que hacen más amplia y compleja esta caracterización, incluyen por ejemplo aspectos sobre el empaquetamiento del DNA lo que los lleva a ubicar a los genes y a sus diferentes alelos en los cromosomas, así como a reconocer elementos que pueden apoyar la comprensión de procesos como la segregación de alelos y la determinación del sexo.

Otro ejemplo es el relacionado con la localización del material hereditario que en las primeras concepciones se limitó a las células sexuales. En este nivel de aproximación, los alumnos reconocen que el material hereditario está presente en el núcleo de todas las células y que dependiendo del tipo de éstas se encuentra en cantidades diferentes, pensamiento que abre paso a otras nociones como nivel de ploidía y división celular. Finalmente se tocan aspectos relacionados con los mecanismos de transmisión, no obstante las definiciones que hacen de ellos presentan notables limitaciones conceptuales, sobre todo en relación al significado que se le otorga al concepto de dominancia.

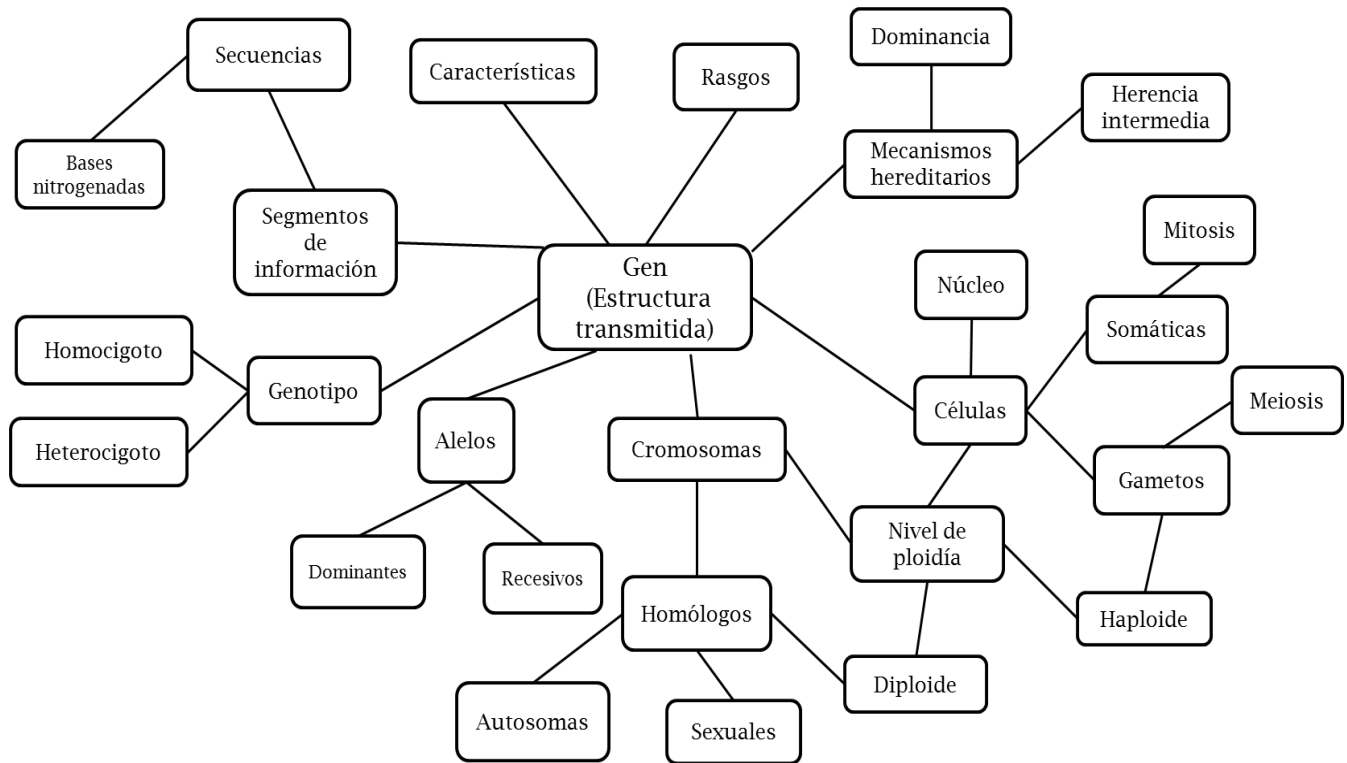


Figura 11. Estructura conceptual promedio. Organización de ideas de los estudiantes a partir de la categorización de las anotaciones del cuadro CQA y de los enunciados derivados del mapa mental

4.2.3. Evaluación al final de la estrategia

El instrumento empleado para recolectar los datos del cierre de esta segunda intervención fue una bitácora de reflexión, instrumento que recogió información alusiva a la autoevaluación y reflexión que los alumnos hicieron de su trabajo.

En la bitácora se incluyeron aspectos relacionados con el trabajo realizado que los alumnos se autoevaluaron y en torno a los cuales reflexionaron acerca de sus ventajas y desventajas. En lo que sigue se anotan primeramente dichos aspectos y posteriormente se describe lo que los alumnos opinaron de cada una de ellos.

Aspectos que los alumnos se autoevaluaron:

- Dosificación del tiempo
- Estrategias empleadas para realizar las tareas
- Retroalimentación entre pares
- Actividades solicitadas
- Desempeño personal

Sobre la dosificación del tiempo. Los comentarios de los alumnos en torno a este aspecto tuvieron dos diferentes orientaciones: por un lado se encuentra la idea de que la dosificación del tiempo es responsabilidad de cada alumno, de manera que a partir del tiempo asignado consideran esencial repartirlo equitativamente según las tareas solicitadas, algunas opiniones expresan incluso que es recomendable hacer una lista de estas actividades, analizar su complejidad y con base en esto organizar el tiempo que se tiene, de esta forma las tareas se pueden realizar sin presión alguna. Se encuentra por otro lado la idea de que la dosificación del tiempo la hace el instructor y siempre y cuando se realicen las actividades al ritmo que él establece podrán llevarse a término, se remarca en este sentido que si durante el tiempo asignado no hay organización de las tareas a realizar el tiempo puede no ser suficiente para concluir las.

Sobre las estrategias empleadas para realizar las tareas. Varias de las estrategias que mencionaron los alumnos corresponden a las actividades de aprendizaje propuestas en la estrategia anterior, entre estas se encuentran expresar ideas, plantear objetivos personales, trabajar en equipo y elaborar organizadores gráficos, además se mencionan actividades que también habían sido propuestas con anterioridad pero por los alumnos como son investigar sobre el tema estudiado, hacer y repasar apuntes y poner atención a las explicaciones. A estas actividades se suman nuevas sugerencias que se plantean como relevantes para aprender: hacer una lista de tareas a realizar, manipular material concreto, recordar y analizar lo que ya se sabía del tema y organizar el trabajo y el tiempo. Sobre estas estrategias los alumnos señalan que ofrecen ventajas para su aprendizaje pues hacen que el trabajo sea entretenido y motivador, didáctico, algunas veces divertido y sobre todo enriquecedor, haciendo referencia principalmente al diálogo con sus pares y al reparto equitativo de tareas entre los integrantes del equipo.

Sobre la retroalimentación entre pares. Con esta actividad actividad, los estudiantes señalan sobre todo ventajas, como por ejemplo traer beneficios para ellos debido a que al intercambiar diferentes puntos de vista el conocimiento se compara, se comparte, se complementa y se modifica cuando está mal. Es posible

también identificar errores, aclarar y resolver dudas, así como reforzar o rectificar los conceptos aprendidos.

Sobre las actividades solicitadas. En lo que toca a este punto llaman la atención comentarios de los alumnos que señalan las desventajas que trae dejar de hacer las actividades solicitadas tanto por el instructor como por los pares, por ejemplo no cumplir o hacer parcialmente la tarea asignada por el equipo como traer algún material, expresar ideas y opiniones, llegar a tiempo para presentar resultados y hacer tareas. Las desventajas se expresan en términos de sentirse ajeno al contexto de la clase, tener confusión y poca comprensión acerca de los temas estudiados, temor obtener una malas notas.

Sobre el desempeño personal. Este rubro fue autoevaluado por los alumnos con base en la satisfacción que les dejó el trabajo realizado, sentir que vincularon directamente con lo aprendido del contenido. Este aprendizaje se sugiere por ejemplo como resultado de situaciones como sentirse a gusto en clase, tener la confianza de preguntar tanto a los pares como al instructor para aclarar dudas, ver disposición en los compañeros de equipo para trabajar, hacer apuntes entre todos, discutir y analizar los resultados de los ejercicios, poder explicar a otros lo aprendido, estar entretenidos durante toda la sesión e incluso sentirse feliz.

4.3. *Resultados y análisis de resultados del tercer nivel de aproximación de la secuencia didáctica: mecanismos de la herencia*

La estrategia didáctica con la que se abordó el último nivel de aproximación de la secuencia trató el contenido de los mecanismos de la herencia. De la misma manera que las estrategias didácticas de los niveles de aproximación anteriores, esta intervención se organizó en tres momentos diferentes: inicio, desarrollo y cierre, y en cada uno de ellos se integraron instrumentos de evaluación que se emplearon a su vez para la recolección de datos. Los resultados del análisis de esta información se describen a continuación.

4.3.1. Evaluación al inicio de la estrategia

El instrumento empelado en el primer momento de esta estrategia fue el informe KPSI que como actividad de diagnóstico permitió conocer la percepción que los estudiantes tienen sobre su grado de conocimiento con relación a una serie de conceptos relacionados con los mecanismos de la herencia. Para este fin, el instrumento se organizó en dos partes; con la primera se obtuvo información sobre si los alumnos habían estudiado con anterioridad los conceptos, mientras que con la segunda se indagó acerca del grado de dominio que mencionaban tener de ellos.

4.3.1.1. Acerca del estudio previo de los conceptos

Para codificar la información de esta parte del instrumento, se contaron para cada concepto, veinte en total, el número de alumnos que señalaban si lo habían estudiado con anterioridad. Este conteo llevó a la identificación de tres grupos de conceptos: el primero, reunió términos que la mayoría de los alumnos (88 % en promedio) indicaron haber estudiado previamente; el segundo integró términos que fueron señalados por un poco más de la mitad de los estudiantes (60 % en promedio) como abordados con anterioridad, y el tercero reunió aquellos conceptos que fueron revisados previamente por un número bajo de alumnos (18 % en promedio).

Como puede apreciarse en la tabla diez que muestra los datos arriba descritos, el estudio previo de los alumnos se concentró en su mayoría en once de los conceptos que integraron el instrumento, le siguieron seis conceptos y tres se señalaron como los menos revisados con antelación. Cabe resaltar que la totalidad de los conceptos del grupo uno fueron abordados en los dos niveles de aproximación anteriores, lo que hace muy probable que los alumnos hayan considerado esta revisión como el estudio previo por el que se les cuestionaba en el instrumento.

Tabla 10. Conceptos estudiados previamente por los estudiantes

Grupo 1 Conceptos estudiados previamente por la mayoría de los estudiantes	Grupo 2 Conceptos estudiados previamente por al menos la mitad de los estudiantes	Grupo 3 Conceptos estudiados previamente por un número bajo de estudiantes
<ul style="list-style-type: none"> • Homocigoto • Heterocigoto • Haploide • Diploide • Alelo • Alelos múltiples 	<ul style="list-style-type: none"> • Gametos • Locus • Loci • Gen • Cromosoma 	<ul style="list-style-type: none"> • Progenitor • Cuadro de Punnett • Dominancia • Recesividad • Herencia Intermedia • Mecanismo hereditario
		<ul style="list-style-type: none"> • Generación filial • Proporción • Segregación

4.3.1.2. Acerca del grado de dominio de los conceptos

La codificación de datos de esta parte del instrumento se realizó obteniendo el porcentaje de alumnos que seleccionaron para cada concepto del informe KPSI uno de cinco niveles de dominio planteados, estos porcentajes se muestran en la tabla 11 donde las celdas sombreadas señalan los conceptos que presentaron mayor porcentaje en cada nivel de dominio. Los resultados para cada nivel de dominio se detallan a continuación:

- *Nivel de dominio 1: No comprendo el término.* Este nivel fue seleccionado en promedio por el 33% de los alumnos para el concepto de generación filial a pesar de haber sido estudiado previamente al menos por la mitad de los estudiantes.
- *Nivel de dominio 2: Es posible que conozca el término.* Once de los veinte conceptos del instrumento tuvieron representación en esta categoría, sin embargo ninguno de los porcentajes obtenidos lleva a considerar que estos conceptos sean poco conocidos y poco comprendidos por los alumnos, pues en realidad la orientación es hacia las categorías siguientes (conocimiento del término, comprensión y dominio).
- *Nivel de dominio 3: Conozco el término.* Homocigoto, heterocigoto, dominancia intermedia, alelo, alelos múltiples y mecanismo hereditario fueron los conceptos que obtuvieron un porcentaje mayor de alumnos para esta categoría, sin embargo es importante hacer notar que dicho porcentaje en la mayoría de estos conceptos no presenta una diferencia alta respecto a la categoría siguiente que se refiere a la comprensión del significado del término. Esto lleva a considerar que es posible

que los alumnos se encuentren preparados para abordar el estudio de los diferentes mecanismos hereditarios, pues los prerrequisitos que demanda esta temática son al menos conocidos por la mayoría de los estudiantes y en un porcentaje descendente tienden a la comprensión de su significado. Un caso particular se presenta para los conceptos de *proporción* y *segregación* pues aunque la mayoría de los alumnos seleccionaron para cada uno de ellos esta categoría, su comportamiento es contrario al anterior, es decir tienden hacia ser poco conocidos y por tanto poco comprendidos.

- *Nivel de dominio 4. Comprendo claramente el término.* Los conceptos que para esta categoría obtuvieron el porcentaje mayor de alumnos fueron haploide, diploide, progenitor, gametos, cuadro de punnett y gen, que además en porcentaje descendente tendieron hacia la categoría de dominio del término. Como se había mencionado anteriormente, con esta tendencia es posible considerar que los alumnos cuentan con el conocimiento necesario para comenzar el estudio de los mecanismos de la herencia, pues en este caso además de conocer los conceptos la mayoría de los estudiantes mencionan que comprenden su significado.

- *Nivel de dominio 5. Domino el término y puedo explicarlo.* Los conceptos que según la perspectiva de los alumnos tuvieron mayor nivel de dominio son los de dominancia, recesividad, locus, loci y cromosoma. Para el estudio de los mecanismos de la herencia este conocimiento es importante pues entre otras cosas puede facilitar que los alumnos distingan entre los mecanismos en los que interviene un solo gen y los mecanismos en los que participan más de dos genes. De esta manera, al igual que en las categorías anteriores, es posible considerar que los estudiantes cuentan con los conceptos básicos necesarios para dar inicio con el estudio de los diferentes mecanismos hereditarios.

Tabla 11. Porcentaje de alumnos para cada categoría de cada uno de los conceptos del informe KPSI

Concepto	No comprendo el término	Es posible que comprenda el término	Conozco el término	Comprendo claramente el término	Domino el término y puedo explicarlo
Homocigoto	-	18%	33%	27%	21 %
Heterocigoto	-	18%	33%	27%	21 %
Haploide	3%	6%	15%	61%	15%
Diploide	3%	-	9%	73%	15%
Progenitor	6%	15%	15%	39%	24%
Generación filial	33%	21%	21%	21%	
Dominancia	-	-	9%	33%	58%
Recesividad	-	-	9%	33%	58%
Dominancia intermedia	-	6%	39%	33%	21%
Alelo	-	-	45%	33%	21%
Alelos múltiples	-	-	44%	39%	16
Mecanismo hereditario	-	-	45%	33%	21%
Gametos	-	6%	33%	39%	21%
Locus	-	12%	15%	33%	39%
Loci	-	-	20%	35%	45%
Proporción	-	27%	42%	15%	-
Segregación	15%	33%	33%	12%	-
Cuadro de punnett	-	20%	19%	33%	27%
Gen	-	-	15%	52%	33%
Cromosoma	-	-	21%	33%	45%

104

4.3.2. Evaluación durante la estrategia

La información recolectada en este momento de la estrategia aludió al tema de los mecanismos de la herencia. Los datos se recogieron por medio de dos hojas didácticas en la que los alumnos realizaron algunas cruza solicitadas y escribieron ideas acerca del posible mecanismo hereditario implicado. Se consideraron también las respuestas que los alumnos dieron a una pregunta abierta que se formuló en la bitácora que elaboraron al final de la estrategia. La codificación y análisis de la información de estos instrumentos se realizó al igual que con la información de otros instrumentos por medio de una categorización de ideas, la organización que resultó llevó al establecimiento de las siguientes categorías, subcategorías y concepciones.

Categoría 1. Identificación de algunos mecanismos hereditarios. La concepción que emerge de las ideas agrupadas en esta categoría señala que los mecanismos de la herencia son las diferentes formas por las que se transmiten los genes de una generación a otra y que esta transmisión depende de la forma en que se

encuentren los genes, es decir si son dominantes o recesivos. Se identifican además diferentes mecanismos considerando el número de genes que están involucrados, así la dominancia, recesividad, ligado al sexo y alelos múltiples se identifican como mecanismos en los que participa un solo gen, mientras que la herencia intermedia se reconoce como un mecanismo en el que están involucrados dos genes.

Categoría 2. Conceptualización de los mecanismos hereditarios. Se integran en esta categoría ideas que dan explicaciones sobre en qué consisten los mecanismos hereditarios identificados. De acuerdo al mecanismo descrito se tienen las siguientes subcategorías:

- *Subcategoría 1. Dominancia-recesividad.* Con relación a este mecanismo surgieron tres concepciones distintas de acuerdo al significado que los alumnos otorgan a este proceso:
 - *Concepción 1.* La dominancia-recesividad se presenta cuando un rasgo, y el gen que lo causa, es más abundante que otros, en este mismo sentido entonces un gen recesivo es aquel que se encuentra presente en los cromosomas pero el rasgo que causa no se muestran sino hasta las generaciones siguientes.
 - *Concepción 2.* La dominancia-recesividad se presenta cuando en la primera generación todos los individuos son heterocigotos y comparten un mismo fenotipo, y cuando en la segunda generación aparecen tanto individuos heterocigotos como homocigotos y una proporción fenotípica 3:1.
 - *Concepción 3.* La dominancia-recesividad se presenta cuando en los individuos es posible apreciar rasgos que son más comunes que otros. Los rasgos más comunes son causados por los genes dominantes, mientras que los menos comunes son causados por los genes recesivos.
- *Subcategoría 3. Herencia ligada al sexo.* La concepción que integra las ideas de este grupo supone la posibilidad de que algunos rasgos sean causados por genes que están dispuestos en los cromosomas sexuales, de manera que dicho rasgo se vincula con el género del individuo, como por ejemplo el color de ojos en *Drosophila melanogaster*.

- *Subcategoría 4. Alelos múltiples.* La concepción que subyace en las ideas de este grupo reconoce que un gen puede tener más de dos alternativas diferentes o alelos y que estos alelos son dominantes o recesivos unos respecto de otros.
- *Subcategoría 5. Herencia intermedia.* Respecto a este mecanismo hereditario, la concepción que surge supone que en la herencia intermedia hay dos genes involucrados y que ambos son dominantes de manera que el fenotipo resultante presenta los rasgos causados por los dos genes.

En la figura doce se presenta a manera de promedio la posible estructura conceptual de los alumnos que se deriva de la categorización de ideas expresadas tanto en las hojas didácticas como en la bitácora de reflexión.

El contenido de las diferentes agrupaciones que resultaron de la categorización permite vislumbrar cierta comprensión acerca de los mecanismos de la herencia, los alumnos identificaron diferentes formas de transmisión que relacionaron con el número de genes involucrados en los procesos. Identificaron como mecanismos de un solo gen a la dominancia-recesividad, alelos múltiples y ligados al sexo y como mecanismo en el que están involucrados dos genes a la herencia intermedia, esta última noción denoto por supuesto un claro error conceptual.

Respecto a las concepciones sobre la dominancia y recesividad, en este nivel se aprecia una orientación que tiende hacia la idea de rasgos y genes “frecuentes” o “menos comunes”, así como la noción de considerar las proporciones fenotípicas para determinar qué genes son dominantes y qué genes son recesivos. Estas concepciones se suman a las ya presentes en los niveles de aproximación anteriores en las que la dominancia y recesividad se definen en términos de la abundancia de rasgos observados en algún grupo de seres vivos.

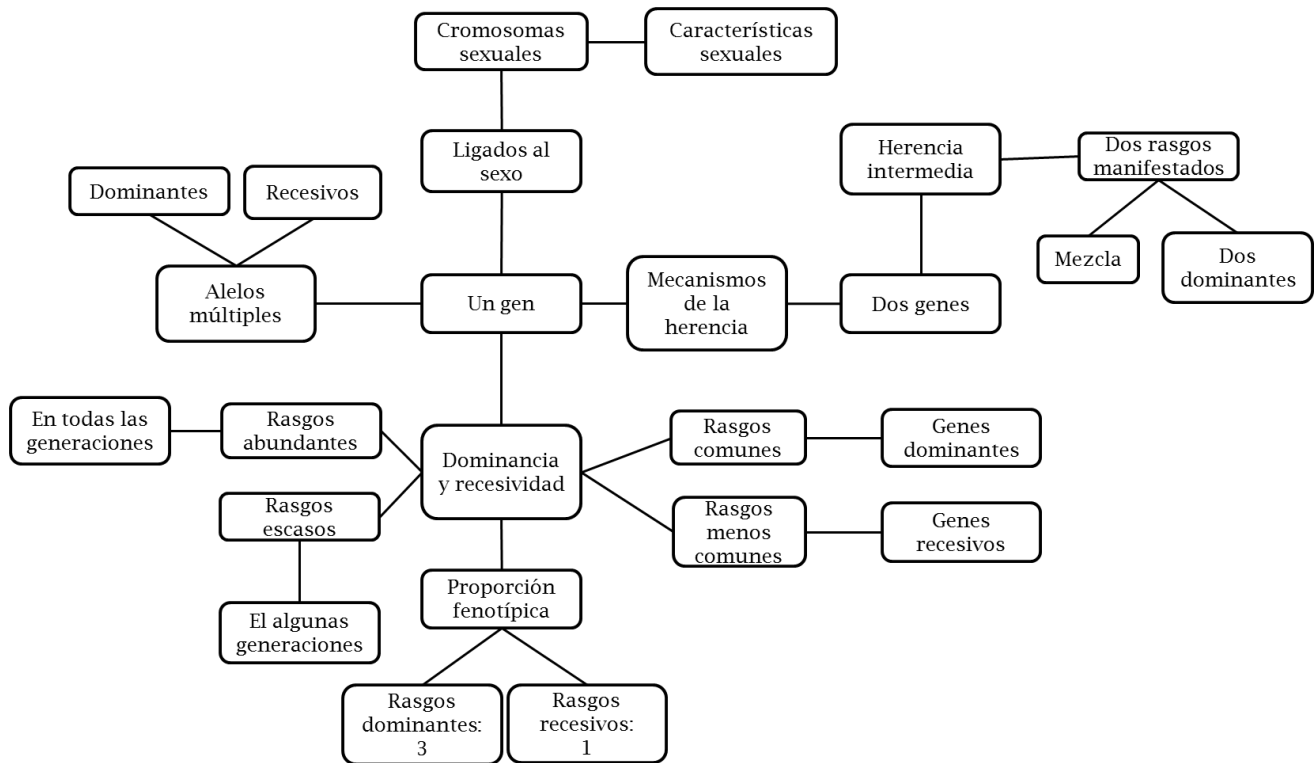


Figura 12. Estructura conceptual promedio. Organización de ideas de los estudiantes a partir de la categorización de las anotaciones de las hojas didácticas y de la bitácora de reflexión.

4.3.3. Evaluación al final de la estrategia

El instrumento empleado en este momento de la estrategia fue la lista de cotejo y al igual que en el primer nivel de aproximación, este instrumento se empleó para obtener información concerniente a la autoevaluación que los alumnos hicieron de su trabajo. La lista de cotejo que se presentó a los estudiantes incluyó diez acciones que se autoevaluaron de acuerdo a su realización y ventajas que les proporcionó, estas acciones corresponden a las actividades de aprendizaje que les fueron planteadas durante esta estrategia; se agregó además una pregunta abierta que indagó acerca de las propuestas que planteaban los alumnos para mejorar su trabajo. La codificación de la información se realizó contando para cada acción el número de alumnos que la realizaron y para el análisis se compararon los datos numéricos con las respuestas de la pregunta abierta. En la siguiente tabla se muestran los porcentajes de los alumnos que llevaron a cabo las actividades planteadas y en lo posterior se describe lo que los alumnos opinaron de cada una.

Tabla 12. Porcentaje de alumnos que realizaron las actividades de aprendizaje planteadas

Acción	% de alumnos que la realizaron
1. Asistir y llegar puntual a clases	75%
2. Cumplir con el material solicitado	83%
3. Investigar sobre el tema	95%
4. Expresar ideas	83%
5. Organizar en equipo la forma de trabajo	96%
6. Cumplir con la tarea asignada por el equipo	98%
7. Dosificar el tiempo	96%
8. Estar atento a las explicaciones	90%
9. Trabajar en equipo	92%
10. Redactar conclusiones	71%

Asistir y llegar temprano a clases, así como redactar conclusiones fueron las acciones que se perfilaron como las menos realizadas por los alumnos. En cuanto a la primera, las opiniones de los alumnos señalan que estar presente en clases es una de las condiciones necesarias para aprender y cuando por alguna razón hay ausencias expresan sentimientos de incertidumbre, confusión y desfase, situaciones que relacionan con la dificultad para comprender el contenido que se está abordando. Aunque la mayoría de los estudiantes depositan en sí mismos la responsabilidad de llevar a cabo esta actividad, es frecuente que planteen justificaciones cuando esta ejecución no les satisface. Respecto a la redacción de conclusiones, a pesar de que un porcentaje significativo de alumnos realizó la actividad consideran que es una tarea complicada debido a la dificultad que tienen para construir tanto textos escritos como orales, no obstante algunos estudiantes aprecian ventajas en esta tarea pues cuando comparan sus redacciones finales entre pares pueden percatarse de posibles errores en la información y modificarlos.

Buscar información sobre el tema estudiado es una de las actividades que puntúan las estrategias realizadas por los alumnos para lograr sus metas de aprendizaje. Esta tarea se vincula directamente con el planteamiento de objetivos personales, pues más allá de buscar información solicitada por el instructor los

alumnos se concentran en lo que les interesa conocer y frecuentemente cuando comparten en plenaria lo investigado, la información expuesta complementa y enriquece lo revisado en las sesiones.

En lo que toca al trabajo en equipo esta actividad, de acuerdo a la opinión de los alumnos, se posiciona como una de las estrategias con mayor incidencia en su aprendizaje. Es posible vislumbrar indicios de autorregulación en varias de las acciones que se realizan en torno a esta actividad, por ejemplo la organización y distribución del trabajo entre los integrantes del equipo y en base en esto la dosificación del tiempo, la autoevaluación sobre el cumplimiento de las tareas asignadas y el reconocimiento de la importancia de compartir e intercambiar opiniones con los pares.

Finalmente, se enlistan actividades realizadas por los alumnos pero que no se incluyeron en la lista de cotejo y que bajo su perspectiva incidieron positivamente en el aprendizaje de los conceptos revisados en este nivel de aproximación.

- Plantearse metas personales
- Hacer apuntes
- Manipular cosas, trabajar con material concreto
- Hacer prácticas de laboratorio
- Escuchar atentamente las explicaciones e indicaciones
- Tener buena actitud para aprender
- Saber utilizar el equipo de laboratorio, como los microscopios

Las estructuras conceptuales promedio que revelaron las categorías, subcategorías y concepciones de cada una de las estrategias de los niveles de aproximación, así como la información derivada de la autoevaluación y reflexión que los alumnos hicieron sobre su desempeño, vislumbran posibles cambios tanto en el manejo que los alumnos tienen del contenido como en las acciones (o estrategias) que les llevaron construir ese conocimiento, en el capítulo siguiente se discute en torno a esta apreciación.

CAPITULO 5

SOBRE LA INCIDENCIA DE LA EVALUACIÓN FORMATIVA- FORMADORA EN EL CAMBIO DE LAS NOCIONES DE LOS ALUMNOS

Se presenta en este capítulo la interpretación de los resultados y su discusión. El contenido se expone en dos apartados diferentes, en el primero de ellos se discute sobre los cambios presentados en las estructuras conceptuales promedio de los estudiantes respecto a la comprensión del fenómeno de herencia biológica como un proceso causal, en el segundo apartado se argumenta sobre la incidencia que las actividades de autoevaluación y coevaluación tuvieron sobre la aproximación de los estudiantes a esta noción.

5.1. Identificación de posibles cambios en las nociones de los estudiantes acerca de la herencia biológica

En la literatura se define a las estructuras conceptuales como marcos de referencia o conceptualizaciones compartidas en las que se definen los términos y las relaciones básicas para la representación de un contenido, se reconocen como formas de representación del conocimiento orientado al análisis del significado de los conceptos y por tanto a la comprensión de proceso de aprendizaje de los alumnos, suele llamárseles también dominios, ontologías y esquemas mentales (Hojas, Simón y de la Iglesia, 2014; Ifenthaler, 2010; Angulo, 2007).

Se ha documentado que el conocimiento recuperado de los organizadores gráficos (mapas mentales, conceptuales, cuadros sinópticos, diagramas de árbol, en general) constituye información valiosa y confiable sobre la estructura del conocimiento de los estudiantes, de aquí que su uso esté justificado como medio pertinente para poner de manifiesto su estructura conceptual. En este sentido está documentado también acerca de las metodologías y mecanismos de análisis que se han propuesto para fundamentar teóricamente la captura de dicha información, algunas de estas apuntan hacia el uso de tecnologías computacionales, mientras que otras optan por el análisis cualitativo. Para ambas

posturas se plantean ventajas y desventajas. (Ifenthaler, 2010; Dauer *et al.*, 2013; Hojas *et al.*, 2014; López, Sanjosé y Solaz, 2014).

Dentro de esta última postura se sitúa el análisis de datos descrito en el capítulo anterior y del cual se derivaron estructuras conceptuales promedio de los alumnos que conformaron la muestra de estudio. Estas estructuras promedio pueden ser usadas para evidenciar posibles cambios en el pensamiento en los estudiantes relacionados con la herencia biológica dado que representan el conocimiento que los alumnos expresaron en cada uno de los niveles de aproximación de la secuencia didáctica a través de los diversos instrumentos de evaluación aplicados. De esta forma, se tienen conceptualizaciones generales que dan cuenta de lo que se hereda (rasgos o genes), de las características de la estructura transmitida y de los mecanismos de la herencia.

Para evidenciar los cambios que pudieron haberse dado en estas estructuras conceptuales promedio se parte tanto de las estructuras promedio preexistentes descritas también en el capítulo anterior, así como de la información derivada del análisis de las ideas previas expuesto en el capítulo dos. Se consideran además algunos aspectos de la propuesta de análisis cualitativo desarrollado por Joseph Dauer *et al.* (2013) en su investigación sobre el cambio en los modelos de los estudiantes sobre la relación gen-evolución, en la que se establecen con base en las relaciones sintácticas y semánticas de los conceptos tres tipos de cambio: 1) acreción, cuando se adicionan a las estructuras conceptuales nuevos conceptos, 2) sintonización, cuando se identifican conexiones entre los conceptos que dan lugar a modificaciones menores o mayores y 3) reorganización, cuando se identifican reestructuraciones totales.

Así, para dar comienzo con la identificación de los posibles patrones de cambio en las estructuras conceptuales promedio de los estudiantes, se muestran en la tabla trece para cada nivel de aproximación las nociones emergidas antes y después de la intervención didáctica (mismas con las que se construyeron tanto las estructuras conceptuales preexistentes como las de posterior a la intervención), así como las concepciones derivadas de las ideas previas de la literatura que se relacionan con ellas.

Tabla 13. Ideas previas reportadas en la literatura y nociones de los estudiantes antes y después de la intervención docente

Nivel de aproximación	Ideas previas	Nociones de los alumnos antes de la intervención	Nociones de los alumnos después de la intervención
1. Reconocimiento de lo heredable	<ul style="list-style-type: none"> - Los padres transmiten a los hijos características. - Los cromosomas, genes y DNA contienen información - Localización del material hereditario en gametos y células somáticas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Transmisión del fenotipo - Transmisión de estructuras materiales (cromosomas, DNA) que contienen características. - Presencia de cromosomas débiles y fuertes. - Material hereditario presente en el núcleo de las células. 	<ul style="list-style-type: none"> - Transmisión de rasgos - Transmisión de estructuras materiales que causan los rasgos (pueden ser genes, ADN, cromosomas). - Cromosomas como portadores de genes. - Material hereditario presente sólo en gametos. - Genotipo - Fenotipo - Reproducción sexual, dominancia y recesividad como mecanismos hereditarios.
2. Caracterización de la estructura transmitida.	<ul style="list-style-type: none"> - Los genes dominantes son mejores o más fuertes que los recesivos, por eso tienen poder sobre ellos. - Los genes son secuencias codificadoras que dan lugar a las proteínas. - Los cromosomas forman el DNA, éste es como una escalera que se encuentra dentro de las células rodeando o conteniendo a los genes 	<ul style="list-style-type: none"> - Genes como características que se encuentran en el DNA. - Empaquetamiento del DNA - Localización del material hereditario en células somáticas. - Localización del material hereditario sólo en gametos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Genes como características - Genes como segmentos de información - Alelos como las alternativas de un gen - Presencia de genes dominantes y recesivos - Ubicación de los genes en los cromosomas. - El DNA pasa por diferentes niveles de compactación. - Los alelos son iguales en los cromosomas duplicados. - Los alelos pueden ser diferentes o iguales en los cromosomas homólogos. - Heterocigotos tienen dos alelos diferentes. - Homocigotos tienen dos alelos iguales - Material hereditario presente en el núcleo de todas las células. - Nivel de ploidía - Segregación de alelos - Mecanismos de la herencia: reproducción sexual, meiosis, dominancia, recesividad, alelos múltiples.
3. Mecanismos de la herencia	<ul style="list-style-type: none"> - Los cromosomas están formados por dos cromátides, cada una de ellas porta información hereditaria diferente o 	<ul style="list-style-type: none"> - Gen como segmentos de información. - Alelos como las diferentes alternativas de un gen - Cromosoma 	<ul style="list-style-type: none"> - Gen como secuencia de bases nitrogenadas que tienen información codificada. - Cromosoma duplicado dos alelos iguales

	<p>solamente una ellas la contienen.</p> <ul style="list-style-type: none"> - En la codominancia se mezclan los genes de los progenitores y forman un fenotipo intermedio. - Rasgos pueden ser causados por más de dos genes. - Una característica con un rango amplio de fenotipos (característica continua) está determinada por la acción de muchos genes y la interacción epistática entre ellos. 	<p>Homocigoto</p> <ul style="list-style-type: none"> - Heterocigoto - Nivel de ploidía - Gametos - Mecanismo hereditarios, dominancia, recesividad, herencia intermedia 	<ul style="list-style-type: none"> - Cromosomas homólogos tienen alelos iguales o diferentes. - Diploide dos juegos de cromosomas, haploide un juego de cromosomas - Proporción - Mecanismos de uno y dos genes - Rasgos dominantes son más abundantes - Proporción fenotípica - Dominancia causa rasgos más comunes o frecuentes - Genes que causan características somáticas ubicados en cromosomas sexuales - Dos genes dominantes para un rasgo - Herencia intermedia con dos genes dominantes.
--	--	---	---

A partir de esta información se identificaron en las estructuras conceptuales promedio de los alumnos los siguientes aspectos sobre la herencia biológica en los que se apreciaron cambios:

1. La unidad de la herencia
2. Localización del material hereditario
3. Caracterización del material hereditario
4. Transmisión de la información (mecanismos de la herencia)

Los criterios que se consideran para describir en qué consisten estos cambios son la complejidad de las estructuras conceptuales y el uso del lenguaje biológico que se hace en ellos. El primer criterio da cuenta de los conceptos adicionados a las estructuras conceptuales, mientras que el segundo revela a través de las relaciones que se establecen entre los conceptos el significado que se le otorga a éstos.

Así pues con relación a la unidad de la herencia, en la estructura conceptual promedio preexistente prevaleció la noción de la herencia del fenotipo y vagamente se apreció la idea de la transmisión de estructuras materiales, que denotó además confusión en los elementos reconocidos como tales. La estructura conceptual que

resultó después de la intervención docente mostró que aunque la idea de herencia del fenotipo siguió presente, la noción de transmisión de unidades materiales se incrementó y predominó, esto debido probablemente a la adición de nuevos conceptos.

Con el avance en los niveles de aproximación estas unidades se fueron delimitando y definiendo más claramente: en el primer nivel se identificaron como estructuras causales tanto a los genes como a los cromosomas, en el segundo nivel se reconoció que los genes se disponen en los cromosomas y en el tercer nivel hay evidencia de que los genes se aprecian como “pequeñas estructuras” o “segmentos del DNA” conformados por secuencias de bases nitrogenadas con información codificada que causa los rasgos. Como puede notarse, respecto a la unidad de la herencia, las estructuras conceptuales promedio posteriores a la intervención didáctica presentaron mayor complejidad en su estructura (considerando que el número de conceptos que la integraron aumento), así como un uso más amplio del lenguaje biológico pues se asignaron significados a términos como bases nitrogenadas, información codificada, e incluso al mismo concepto de gen.

114

Estos cambios pueden sugerir una aproximación más cercana a la noción de herencia biológica como un proceso causal (Lewis y Kattmann, 2004), pues la evolución conceptual observada con relación a la identificación de la estructura transmitida permite apreciar en el pensamiento de los estudiantes la relación entre genes y rasgos. En términos de la tipología de Dauer *et al.* (2013) este cambio puede ser resultado de la acreción y sintonización de conceptos, que llevó el pensamiento de los alumnos de un nivel macroscópico (fenotipo) a un nivel microscópico (genotipo).

En este punto es importante resaltar un aspecto: como se hizo notar en el segundo capítulo, la organización de la secuencia didáctica en tres niveles de aproximación tuvo por finalidad extrapolar, con las reservas pertinentes, las nociones históricas que llevaron a la construcción actual del concepto de herencia biológica al campo de la instrucción, bajo la premisa que en la dimensión epistémica del contenido se podrían encontrar los conceptos estructurantes que aproximarían a los estudiantes a este significado actual. En este sentido, los

cambios identificados en las estructuras conceptuales promedio de los alumnos referentes a la unidad de la herencia proporcionan evidencia para considerar que la mayoría de los alumnos transitaron de una valoración genealógica de la herencia a una valoración causal, algo similar a lo que se presentó en la reconstrucción histórica (figura 2) respecto al cambio de pensamiento de la “metáfora de la mano que copia” a la noción de “estructuras internas” responsables de causar los rasgos en los individuos.

Por lo que se refiere a la localización del material hereditario, es importante mencionar que el concepto material hereditario o material genético era usado por los alumnos para referirse tanto a los rasgos como a las estructuras que los causan, no obstante a pesar de esta ambigüedad dicho “material” era ubicado en el núcleo de las células. En ambas nociones (naturaleza del material hereditario y localización) se apreciaron también cambios a lo largo de la intervención didáctica, los relacionados a la primera noción se describen posteriormente en el punto de la caracterización del material hereditario y los que tienen que ver con la localización se detallan a continuación.

En el esquema conceptual promedio inicial del primer nivel de aproximación, la noción acerca de la localización del material hereditario se orientó predominantemente hacia su ubicación en el núcleo de todas células, en los esquemas conceptuales posteriores esta ubicación se hizo más específica al referirse a una línea celular en particular.

Así, después de la intervención docente, en el esquema conceptual del primer nivel de aproximación la presencia de material hereditario se reconoció únicamente en las células sexuales, lo que hizo evidente un obstáculo conceptual: la confusa relación entre reproducción sexual y herencia. Es posible que esta dificultad se haya presentado debido a que la reproducción sexual en este nivel de aproximación, se reconoce como un mecanismo de transmisión en el que se “intercambia” y “mezcla” el material hereditario de los gametos, lo que puede llevar a suponer que únicamente las células sexuales contienen este material.

En el segundo nivel de aproximación, el esquema conceptual promedio al inicio de la estrategia señaló dos orientaciones diferentes: una apuntó hacia el reconocimiento del material genético sólo en los gametos y la otra hacia su

localización sólo en las células somáticas, es probable que esta divergencia sea resultado de algún conflicto en las ideas de los alumnos generado por las actividades de inicio a las que se enfrentaron.

Por otro lado, en la segunda estructura conceptual promedio de este mismo nivel la noción prevaleciente fue que todas las células de un organismo, ya sea sexuales o somáticas, tienen material hereditario, pensamiento que Knippels *et al.* (2005) remarcan como fundamental para la comprensión de los procesos genéticos. Considerando que las actividades de aprendizaje planteadas en este momento de la intervención didáctica estuvieron enfocadas en el estudio de conceptos relacionados con la división celular y la compactación del DNA, es posible sugerir que el replanteamiento observado en esta estructura conceptual pudo haber sido resultado del establecimiento de nuevas relaciones entre los conceptos que los alumnos tenían sobre la ubicación del material hereditario y los conceptos que se integraron concernientes a la división celular y al empaquetamiento del DNA.

Aunque es evidente que hubo adición de información y que la estructura conceptual promedio de los alumnos sobre la localización del material hereditario se modificó respecto a las anteriores, es importante hacer notar que la complejidad de esta estructura conceptual representativa aumentó tanto en términos de conceptos añadidos como en términos de los significados que otorgan a dichos conceptos y de las relaciones que establecen entre ellos. Es posible percatarse de estas relaciones a lo largo del surgimiento de las diferentes categorías que se formaron al clasificar las ideas de los alumnos.

Con relación al tercer aspecto, la caracterización del material hereditario, los cambios identificados en las nociones de los estudiantes giraron en torno a la naturaleza de la estructura transmitida, así pues, un primer cambio relevante fue el reconocimiento de que lo que se transmite en la herencia es una estructura material, noción que permitió establecer de manera clara la relación entre rasgos y elementos materiales que los causan.

En el primer nivel de aproximación las nociones respecto a la identificación de las estructuras causales de la herencia fueron confusas al señalar que dichas estructuras bien podrían ser el DNA, los genes o los cromosomas, vislumbrando con ello dificultades con relación a la organización del material hereditario,

obstáculo que ha sido reportado también en otros trabajos de investigación por ejemplo en Lewis y Kattmann (2004); DeHoff (2010) y Dauer *et al.* (2013).

La estructura conceptual representativa de los estudiantes del segundo nivel de aproximación reveló una distinción más o menos clara entre genes y cromosomas. En cuanto al primer concepto se presentaron nociones divergentes sobre su caracterización: por un lado los genes fueron reconocidos como características y por otro como segmentos de información. De esta última noción se desprendió a su vez la noción de alelo como las diferentes alternativas de un gen y la idea de dominancia y recesividad al reconocer la presencia de genes dominantes y recesivos. La equivalencia entre gen y característica (o rasgo) denota dificultades en la distinción entre genotipo y fenotipo (Lewis y Kattmann, 2004; Knippels *et al.*, 2005) y aunque en este nivel de aproximación esta dificultad está presente también es cierto que se presenta la otra tendencia, la de reconocer que los rasgos son causados por entidades físicas y que estas entidades físicas son los genes.

Este reconocimiento tiene implicaciones relevantes en la comprensión de la herencia biológica, pues se transita de una noción de la herencia como el paso de características de los padres a los hijos, al igual que como se transfieren regalos o mercancías, a una noción más parsimoniosa en la que las características son explicadas como rasgos que son causados por segmentos del DNA con información codificada, es decir genes (Lewis y Kattmann, 2004). Considerando que parte de la muestra se orientó hacia esta percepción, es posible sugerir que este cambio puede ser similar, con las reservas pertinentes, al cambio de pensamiento identificado en la reconstrucción histórica respecto a la transición de la valoración genealógica de la herencia a la valoración causal, así mismo, este cambio en las nociones de los estudiantes puede ser evidencia de su aproximación a la noción de la herencia biológica como un proceso causal.

En lo que toca a los cromosomas, la evolución conceptual que presentó este término en la estructura cognitiva de los estudiantes fue determinante también para el aprendizaje de la herencia como un proceso causal. Las nociones de los alumnos respecto a este concepto transitaron de su reconocimiento como las unidades de la herencia a su identificación como las estructuras en las que se disponen las unidades de la herencia. El conocimiento preciso de la estructura de

los cromosomas, así como su comportamiento en el proceso de división celular es un elemento que para autores como Banet y Ayuso (1995), Lewis *et al.* (2000b) y Dauer *et al.* (2013) es fundamental para el aprendizaje adecuado de la herencia biológica.

En este sentido, en la estructura conceptual promedio del segundo nivel de aproximación después de la intervención docente pudieron apreciarse nociones referidas a la ubicación de los genes en los cromosomas, a la distinción entre cromátida y cromosoma duplicado y al número de juegos de cromosomas según la línea celular. En estas nociones fue posible identificar cierta comprensión respecto a conceptos como alelos, homocigoto, heterocigoto, cromosomas homólogos, diploide y haploide, así como el reconocimiento de la importancia de la meiosis en la segregación de alelos.

Con relación a los mecanismos de transmisión de las unidades hereditarias, el principal cambio se presentó en la distinción que algunos estudiantes establecieron entre reproducción sexual y mecanismo hereditario. En el primer nivel de aproximación, las nociones de los estudiantes apuntaron hacia el reconocimiento de la reproducción sexual como el mecanismo por el cual se transmiten las unidades de la herencia, en estas nociones fue posible vislumbrar que la idea de transmisión que los alumnos suponen se refiere a la mezcla o intercambio de material hereditario, lo que hizo posible a su vez percatarse de que son específicamente la fecundación y la meiosis los procesos de la reproducción sexual que se confunden con mecanismos hereditarios, algunas ideas de los alumnos con relación a estas formulaciones son las siguientes:

- *La herencia es la transmisión de los cromosomas y los genes de una generación a otra por medio de la reproducción sexual ...*
- *Los genes se heredan mediante el proceso de reproducción sexual y meiosis.*
- *Los genes se transmiten a través de la meiosis que sucede en la reproducción.*
- *La herencia sucede a través de la reproducción sexual.*

En el segundo nivel de aproximación el reconocimiento de la reproducción sexual como un proceso de transmisión siguió presente, sin embargo en torno a este tópico surgió una nueva noción en la que se identificaron como mecanismos hereditarios también los conceptos de dominancia, recesividad y alelos múltiples.

Hacia el tercer nivel de aproximación la noción de reproducción sexual como proceso de transmisión no tuvo representación, lo que puede sugerir que los alumnos fueron capaces de distinguir entre ambos procesos.

Sería arriesgado asegurar que al final de la intervención docente los alumnos erradicaron de su pensamiento la noción de que la reproducción sexual es el mecanismo por el cual se transmiten las estructuras de la herencia, sin embargo lo que sí es posible sugerir, como lo han mencionado ya Ayuso *et al.* (1996) es que la comprensión del papel de la meiosis en la herencia y el conocimiento de la forma en que se ubican los alelos en los cromosomas son conceptualizaciones que pudieron haber conducido a los estudiantes a la distinción entre reproducción sexual y mecanismo de la herencia. En términos de la tipología de Dauer *et al.* (2013) esta distinción podría representar un cambio como resultado de la adición de conceptos, pues es probable que al introducir nueva información con la puesta en práctica de la estrategia didáctica del segundo nivel de aproximación, los conceptos abordados se hayan adicionado a los esquemas conceptuales previos de los alumnos dando paso a la formulación de nuevos significados.

Los cambios identificados en las estructuras conceptuales promedio de los alumnos permiten sugerir que varios de los estudiantes que integraron la muestra del estudio, lograron desarrollar marcos conceptuales coherentes que les permitió aproximarse en cierta medida al significado de herencia biológica como un proceso causal.

En el trascurso de la descripción de estos cambios fue posible apreciar que la construcción de dichos marcos es complicada, primero porque entran en juego un alto número de conceptos que corresponden a niveles de organización diferente y cuyo estudio, en la mayoría de los casos, demanda un alto nivel de abstracción y segundo debido a la presencia de dificultades conceptuales que obstaculizan el desarrollo del pensamiento de los alumnos hacia la noción de causalidad en la herencia biológica. Las dificultades conceptuales específicas identificadas en este trabajo fueron tres: 1) la poca o nula comprensión del papel que juega la meiosis en la formación de los gametos y la relación de este proceso con la segregación de los alelos y 2) el reconocimiento de la reproducción sexual como un mecanismo

de transmisión y 3) la identificación de la herencia intermedia como un mecanismo hereditario en el que están involucrados dos genes.

A partir de estas consideraciones valdría la pena reflexionar sobre la pertinencia de centrar la enseñanza y el aprendizaje de la herencia biológica en sus patrones y mecanismos. Al respecto se considera que antes de abordar los diferentes mecanismos hereditarios y resolver numerosos problemas de genética, los alumnos necesitan conocer y dar significado coherente a los conceptos básicos que implica esta rama, así podría ser posible que después de la exploración de dichos conceptos los estudiantes se encuentren preparados para realizar ejercicios de cruce genético.

Lo anterior pone de relieve otro punto que también es importante discutir: sobre la transposición didáctica del contenido, es decir acerca de la vigilancia o reflexión del conocimiento antes de integrarlo a los procedimientos de enseñanza y aprendizaje. Lo deseable es que esta vigilancia contemple aspectos tanto de la construcción misma del conocimiento como de la apreciación que los estudiantes tienen de éste, de tal forma que la delimitación de los conceptos básicos a enseñar se realice a partir de criterios fundamentados y no de la selección aleatoria de temáticas, y que el diseño de las estrategias didácticas considere como punto de partida las ideas previas de los estudiantes.

La enseñanza de la herencia biológica centrada en los aspectos de la genética estricta puede correr el riesgo de dejar en desatención elementos importantes como por ejemplo, el bagaje de saberes anteriores que fueron fundamentales para la construcción de su significado actual y el conocimiento de las preconcepciones de los alumnos. Esto no significa que enseñar a los alumnos mecanismos y procesos hereditarios no sea recomendado, podría ser pertinente si su diseño instruccional contempla el análisis profundo de los conceptos a enseñar, incluyendo tanto su dimensión epistémica como pedagógica.

Finalmente, algunas consideraciones relevantes que se desprenden de lo anteriormente expuesto se anotan a continuación:

- Los alumnos presentan especial dificultad en el aprendizaje de conceptos que pertenecen a niveles de organización microscópico, que en general son apreciados como independientes de aquellos que corresponden a niveles de organización

macroscópico, un ejemplo de esta situación es la dificultad para establecer la relación rasgo-gen o rasgos-gen.

- Una de las concepciones más arraigadas en el pensamiento de los alumnos es la de considerar que el fenotipo y el genotipo actúan en el mismo nivel.
- El conocimiento del proceso de empaquetamiento del DNA puede conducir a los alumnos a ubicar a los genes en los cromosomas y de esta manera identificar cuál es la unidad estructural de la herencia.
- El uso de lenguaje biológico presentó mayor precisión conforme se avanzó en los niveles de aproximación, una evidencia de esto son los cambios que se presentaron en los significados otorgados al concepto de gen, o el uso de términos que en general fueron empleados correctamente como alelo, homocigoto, heterocigoto, diploide y haploide por mencionar algunos ejemplos.
- Lo descrito con relación al reconocimiento de la reproducción sexual como mecanismo hereditario da pie a considerar la pertinencia de incluir, al menos de manera breve, en el diseño de las estrategias didácticas enfocadas a la enseñanza de la herencia biológica algunas actividades que estén orientadas al estudio de la formación de gametos y la fecundación.

5.2. Acciones de los estudiantes vinculadas al aprendizaje de la noción de herencia biológica como proceso causal.

En el ámbito educativo se reconocen dos funciones diferentes para la evaluación: la social y la pedagógica (Sanmartí y Jorba, 2001). La función social se relaciona con aspectos de calificación y acreditación, mientras que la pedagógica tiene por finalidad la regulación tanto de la enseñanza como del aprendizaje y suele denominarse formativa-formadora.

En la perspectiva de la evaluación con carácter pedagógico el aprendizaje se aprecia como un equilibrio entre el apoyo externo que requieren los alumnos y el control interno que hacen de sus acciones, es decir como el equilibrio entre lo formativo y lo formador (Álvarez, 2009). Desde esta consideración se han puesto de relieve dos aspectos importantes para la práctica educativa, por un lado que para lograr este equilibrio es menester que la evaluación sea un proceso paralelo a los procedimientos de enseñanza y aprendizaje (Sanmatí, 2007) y por otro, que en el proceso de aprendizaje confluyen tanto elementos de orden cognitivo como de

regulación, por lo que de la misma manera que es importante instruir estrategias de aprendizaje, también lo es instruir estrategias que promuevan la regulación en los alumnos (Ifenthaler, 2012).

Lo anterior hace notar que desde el punto de vista de la evaluación formativa-formadora la intervención docente es un elemento fundamental en el desarrollo de la autorregulación en los alumnos, pues a través de la instrucción se aproxima a los estudiantes al uso de estrategias que pueden emplear en la resolución de problemas, así como se estimula en ellos la reflexión encaminada a detectar sus dificultades para el aprendizaje y a la toma de decisiones acerca de las estrategias que pueden usar para superarlas; los profesores pues pueden ayudar a sus estudiantes a ser más autónomos, más estratégicos (Paris y Winograd, 2003).

En este sentido un aspecto que ha destacado la investigación en torno a la evaluación formativa-formadora es que el pensamiento reflexivo en los alumnos puede estimularse a través la autoevaluación y la coevaluación, y que una forma de lograrlo es integrando actividades de evaluación a lo largo de todo el proceso de enseñanza y aprendizaje, es decir cuando el procedimiento de evaluación no se ve independiente de los procedimientos de instrucción y aprendizaje (Sanmartí, 2007). Por lo que toca particularmente al aprendizaje autorregulado, la amplia línea de investigación en este tema ha hecho notar los beneficios que este proceso tiene para el logro de las metas académicas, situación con la que se ha reconocido la necesidad de replantear las prácticas educativas hacia una enseñanza que considere tanto aspectos cognitivos como de motivación y regulación (Paris y Winograd, 2003; Álvarez, 2009; López *et al.*, 2013).

En este contexto fueron planteadas las actividades que estructuraron las estrategias de enseñanza de la secuencia didáctica, de forma que en vista de lo descrito anteriormente es posible vincular las acciones que los alumnos llevaron a cabo durante la intervención docente con la aproximación que mostraron hacia la noción de herencia biológica como un proceso causal. Con la intención de organizar las acciones que los estudiantes utilizaron durante la instrucción, se emplearon tres categorías identificadas como comunes en diversas tipologías¹⁶

¹⁶En general las tipologías propuestas tienen correspondencia con algún modelo de aprendizaje autorregulado validado empíricamente

que se han propuesto para clasificar y describir las estrategias que utilizan los alumnos para hacer frente a sus tareas de aprendizaje, estas categorías son las de planeación, automonitoreo y autoevaluación. Además, dichas acciones se catalogaron también como formativas o formadoras siguiendo la propuesta de Sanmartí (2007).

Las estrategias de planeación tienen que ver con el establecimiento de metas de aprendizaje personales, es decir con propósitos intrínsecos más que con cuestiones de obtención de calificaciones, se incluyen también aquí acciones relacionadas con la dosificación del tiempo y la organización del trabajo (Galli, 2007); las estrategias de automonitoreo evidencian cuestiones de reflexión acerca de lo que se hace, de estar atento a la tarea, de reconocer aquellas acciones que son más eficientes para aprender, de identificar errores y desaciertos y de ejecutar planes para superarlos (López *et al.*, 2013); y por último, las estrategias de autoevaluación dan cuenta de la toma de conciencia respecto al desempeño que se tuvo ante el aprendizaje, sobre el punto del que se partió y los logros alcanzados, así como de las dificultades encontradas en este recorrido (Sanmartí, 2007). Por otra parte, las actividades formativas dan cuenta de acciones que plantea el profesor para estimular la regulación en los alumnos, mientras que las actividades formadoras corresponden a acciones que el propio alumno realiza en pleno uso de su conciencia (Sanmartí y Almienti, 2004).

Durante la intervención docente, en el primer nivel de aproximación la mayoría de las estrategias que llevaron a cabo los alumnos fueron formativas, es decir planteadas por el instructor, no obstante surgieron algunas otras por iniciativa de los alumnos. En la tabla siguiente se anotan estas acciones y se vinculan con los resultados de aprendizaje obtenidos. Es importante mencionar que aunque en la tabla se señalan como resultados de aprendizaje sólo contenidos de orden conceptual, las acciones formativas y formadoras llevadas a cabo por los alumnos también pueden considerarse como resultados de aprendizaje, puesto que pertenecen a contenidos aprendidos de orden actitudinal y procedimental.

Tabla 14. Acciones formativas y formadoras realizadas por los alumnos en el primer nivel de aproximación de la secuencia didáctica: Reconocimiento de lo heredable.

Acciones realizadas		Resultados de aprendizaje
Formativas	Formadoras	
<ul style="list-style-type: none"> - Elaboración de organizador gráfico - corrección y complementación de los mismos. - Redacción de conclusiones - Asignación de roles y tareas entre los integrantes de equipo - Planteamiento de objetivos personales. - Participación en discusiones en equipo y en pareja. 	<ul style="list-style-type: none"> - Expresar ideas - Ser más participativo - Poner más interés y compromiso en el trabajo de equipo - Corregir gráficas y analizar nuevamente los datos recolectados - Investigar sobre el tema de manera extra clase - Aclarar dudas - Preguntar cuando no se entiende algo - Realizar las actividades solicitadas por el profesor - Repasar apuntes 	<ul style="list-style-type: none"> -Respecto a la transmisión, se reconocen como elementos transmitidos rasgos y estructuras materiales que pueden ser genes, DNA o cromosomas. -Se reconoce un primer acercamiento a la distinción entre fenotipo y genotipo - La presencia de material hereditario se reconoce solo en los gametos. - Reproducción sexual, dominancia y recesividad se identifican como mecanismos hereditarios.

Las estrategias planteadas correspondieron tanto a acciones de planeación como de automonitoreo y autoevaluación. Las estrategias de planeación consistieron en la organización del equipo para asignar roles y tareas, así como en el planteamiento de metas de aprendizaje personales. Las estrategias de automonitoreo radicarón en la corrección y complementación que los alumnos hicieron a sus organizadores gráficos, mientras que las estrategias de autoevaluación se llevaron a cabo cuando los alumnos evaluaron su trabajo y el de sus compañeros.

Las acciones formadoras, es decir las que los alumnos ejecutaron sin haber recibido una instrucción previa, se concentraron principalmente en la autoevaluación, por ejemplo poner más atención y compromiso con el trabajo en el equipo, analizar nuevamente los datos recolectados, ser más participativos o la reflexión en torno a consecuencias para el aprendizaje sobre la no realización de las tareas solicitadas.

En el segundo nivel de aproximación las actividades formativas planteadas fueron en inicio las mismas que en el primer nivel y se agregó la de dosificación del tiempo que puede ser clasificada dentro de las estrategias de planeación. Los alumnos concentraron la información revisada empleando un organizador, redactaron conclusiones y considerando que tenían un tiempo limitado para

realizar las tareas solicitadas, planificaron las actividades de acuerdo al tiempo asignado

En cuanto a las actividades formadoras, se apreció un incremento notable respecto al primer nivel de organización. Las actividades de planeación que los alumnos llevaron a cabo incluyeron el planteamiento de objetivos personales, elaboración de lista de actividades y asignación de roles y tareas entre los integrantes de equipo. Las actividades de automonitoreo consistieron en la revisión, replanteamiento y complementación de los organizadores gráficos elaborados, recordar y analizar información estudiada previamente y pedir la ayuda de compañeros y profesores cuando no había claridad en algún contenido.

Con relación a las actividades de autoevaluación, es notable el número de estrategias que los alumnos utilizaron, pues aparte de las empleadas en el nivel anterior ejecutaron acciones como la toma de apuntes, investigar sobre el tema estudiado, revisión de notas anteriores y reflexión sobre las consecuencias de la inasistencia, la poca participación con el equipo, así como la no realización de las tareas planteadas por el instructor.

La descripción anterior permite sugerir un cierto grado de autonomía en el comportamiento de los alumnos respecto a las acciones realizadas para el cumplimiento de las tareas asignadas. Si bien es cierto que en todo momento los estudiantes estuvieron bajo la instrucción del profesor, fue posible notar que dependiendo de su estilo de aprendizaje optaron por diferentes estrategias con la intención de cumplir las metas establecidas.

Las preferencias de estas actividades fueron descritas en el capítulo anterior, sin embargo vale la pena hacer notar que aunque el establecimiento de metas personales no fue una de las acciones predilectas de los alumnos, resulta ser una estrategia conveniente para ellos en términos de alcance de metas. Al respecto de esto San martí (2007) menciona que cuando los alumnos saben qué es lo que se les va a evaluar y a partir de esto establecen metas de aprendizaje individuales, los resultados de aprendizaje son mejores pues tienen certidumbre de lo que será evaluado. En la siguiente tabla se anotan las acciones realizadas por los estudiantes, así como las que les fueron solicitadas, y se vinculan con los resultados de aprendizaje (en términos conceptuales) obtenidos.

Tabla 15. Acciones formativas y formadoras realizadas por los alumnos en el segundo nivel de aproximación de la secuencia didáctica: Caracterización de la estructura transmitida

Acciones realizadas		Resultados de aprendizaje
Formativas	Formadoras	
<ul style="list-style-type: none"> - Dosificación del tiempo. - Co-evaluación. - Organización y Elaboración de organizador gráfico - Replanteamiento o complementación de los organizadores gráficos - redactar conclusiones 	<ul style="list-style-type: none"> - Hacer apuntes - Elaboración de lista para planificar la realización de actividades de acuerdo al tiempo otorgado. - Plantear objetivos personales - Repartir equitativamente las tareas entre los integrantes de equipo - Expresar ideas - Explicar a otros lo aprendido - Investigar sobre el tema estudiado - Revisión de notas. - Atender las explicaciones del profesor, - Recordar y analizar lo que ya se sabía del tema - Pedir ayuda a compañeros o profesor para aclarar dudas - Reflexión sobre las desventajas de la inasistencia, la realización parcial o nula de las tareas asignadas por el equipo y de las tareas solicitadas por el profesor 	<ul style="list-style-type: none"> - Se reconoce al gen como la unidad de la herencia, no obstante hay divergencia en las definiciones que se dan de esta estructura de manera que pueden ser descritos como características o segmentos de información. - Se emplea el término alelo para identificar a las diferentes alternativas de un gen. - El término dominante y recesivo se aplica a los conceptos de gen y alelo. - Los genes son ubicados en los cromosomas. - Se reconoce que el DNA pasa por diferentes niveles de compactación. - Se reconoce la estructura de los cromosomas, se emplean términos como cromosomas homólogos, heterocigotos, homocigotos. - La presencia de material hereditario se reconoce en el núcleo de todas las células y dependiendo de la línea se identifican como diploides y haploides. - Se reconocen como mecanismos de la herencia la reproducción sexual, meiosis, dominancia, recesividad y alelos múltiples.

En el tercer nivel de aproximación las acciones formativas correspondieron a las planteadas en los dos niveles anteriores. Se solicitó a los alumnos que registraran la información revisada en un organizador gráfico, que redactaran conclusiones respecto a esta información, se plantearon los objetivos generales de la estrategia y de manera explícita se pidió que con base en ellos plantearan metas personales. Con relación a la autoevaluación, se requirió que reflexionaran acerca de su desempeño y que vincularan estas acciones con sus resultados de aprendizaje. En

este último punto es importante señalar que la mayoría de los alumnos que por alguna razón faltaron a una o varias sesiones, o que llegaban con retraso a éstas, por lo general exponían justificaciones en las que depositaban la responsabilidad de sus resultados académicos en circunstancias ajenas a ellos e incluso en otras personas. No obstante, fue posible identificar en algunos alumnos toma de conciencia respecto a las consecuencias de las inasistencias y de la realización parcial o nula de las tareas asignadas por el equipo y por el profesor.

En lo que toca a las estrategias formadoras, se pueden reconocer también en este nivel acciones de planeación, automonitoreo y autoevaluación. Las estrategias de planeación empleadas por los estudiantes se concentraron en el planteamiento de objetivos personales que se vincularon directamente con el tema a abordar y con intereses propios de los estudiantes, así como la distribución de roles y tareas entre los integrantes del equipo y con base en esto la dosificación del tiempo.

Las actividades de automonitoreo involucraron la revisión, replanteamiento y complementación de los organizadores gráficos, la búsqueda de ayuda ya sea con pares o con la instructora para aclarar dudas o confirmar conocimientos, así como la detección de errores o acciones vinculadas al bajo rendimiento, por ejemplo llegar tarde a clases y no participar en las discusiones con el grupo o con los pares.

Respecto a las actividades de autoevaluación, al igual que en el nivel de aproximación precedente, representaron las acciones más numerosas en comparación con las acciones de las dos categorías previas. Estas acciones de autoevaluación incluyeron estar atento a las explicaciones, presentar actitud positiva ante el aprendizaje, buscar información que complemente lo revisado en la sesiones, evaluarse sobre el cumplimiento de tareas y metas logradas así como compartir e intercambiar opiniones entre pares. En la tabla dieciséis se enlistan estas acciones y se vinculan con los resultados de aprendizaje obtenidos, también refiriéndose a éstos en términos de contenidos conceptuales.

Tabla 16. Acciones formativas y formadoras realizadas por los alumnos en el tercer nivel de aproximación: Mecanismos de la herencia

Acciones realizadas		Resultados de aprendizaje
Formativas	Formadoras	
<ul style="list-style-type: none"> - Elaboración de organizador gráfico - Redacción de conclusiones - Establecimiento de objetivos - Planteamiento de objetivos personales. - Co-evaluación. Participación en discusiones en equipo y en pareja. 	<ul style="list-style-type: none"> - Estar atento a las explicaciones - Tener buena actitud para aprender - Reflexión sobre las consecuencias de faltar a clases - Investigar sobre el tema estudiado - Plantear objetivos personales - Distribuir equitativamente el trabajo entre los integrantes del equipo - Dosificar el tiempo - Coevaluarse entre pares - Autoevaluarse sobre el cumplimiento de tareas y metas logradas. - Aclarar dudas con el profesor y los pares - Revisar, replantear y complementar los organizadores gráficos elaborados. - Detectar errores 	<p>El gen es reconocido como la unidad de la herencia, se describe como una secuencia de bases nitrogenadas que tiene información codificada.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Respecto a los cromosomas, se identifica cuando son sencillos y duplicados, en estos últimos se ubican alelos iguales. - Se reconoce que los cromosomas homólogos pueden tener alelos iguales o diferentes. -En relación al nivel de ploidía se definen correctamente los conceptos de diploide y haploide. -En lo que toca a las cruza, se hace uso de la noción de proporción, sin embargo con imprecisiones. - Se reconocen mecanismos hereditarios de uno y dos genes Se considera que la dominancia causa los rasgos más comunes o frecuentes y que la recesividad genera fenotipos poco abundantes.

El comportamiento que los estudiantes mostraron en este nivel de aproximación respecto a las acciones que realizaron para enfrentar las tareas de aprendizaje solicitadas, reafirman la sugerencia de autonomía. Para este nivel varias de las acciones ejecutadas se repitieron, lo que sugiere la posibilidad de que dichas acciones se identificaran como conocimientos o habilidades útiles para aprender, de manera que con el paso del tiempo su reutilización podría llegar a convertirse en un procedimiento. Es probable que este comportamiento pueda ser la primera etapa hacia la autorregulación, por tal motivo resulta de gran relevancia diseñar estrategias que promuevan la autoevaluación en los estudiantes.

CAPITULO 6

HACIA UNA REFLEXIÓN SOBRE LA ENSEÑANZA DE LA HERENCIA BIOLÓGICA EN EL BACHILLERATO

6.1 Consideraciones iniciales

En la práctica educativa es frecuente que los procesos de enseñanza y aprendizaje se planteen separados de los procesos de evaluación. En esta tradición se han identificado distintos factores que obstaculizan el aprendizaje de los alumnos, entre los cuales cabe resaltar la baja eficacia de las estrategias didácticas implementadas, así como el sentido cuantitativo y de certificación que generalmente se atribuye al proceso de evaluación.

Respecto a las estrategias didácticas, uno de los puntos cuestionados gira en torno al trato que los docentes dan al contenido de enseñanza antes de presentarlo a los estudiantes, es decir acerca de la trasposición didáctica. La baja incidencia de esta tarea en el quehacer docente ha originado que la secuencia, amplitud y profundidad con que se abordan los tópicos en las aulas sean poco pertinentes para promover el aprendizaje en los estudiantes. En cuanto al sentido de la evaluación, al ser empleada como medio de certificación se deja de lado, o se desconoce, su potencial para favorecer el aprendizaje.

En el caso particular de la enseñanza y el aprendizaje de la herencia biológica, estos y otros factores han convergido en la conformación de obstáculos que dificultan la construcción de conceptos y nociones próximas a las explicaciones científicas, lo que hace evidente la necesidad de diseñar recursos que contribuyan al mejoramiento de su instrucción y por tanto al aprendizaje de este tópico biológico.

De cara a estas circunstancias, la postura que este trabajo adoptó es la de promover en los alumnos a través de la instrucción, la regulación y autorregulación con miras a que implementen o desarrollen procedimientos que los lleven a ser cada vez más libres y autónomos en su aprendizaje, habilidad que sin lugar a dudas puede contribuir en su comprensión sobre el fenómeno de la

herencia biológica, pero que también puede llegar a ser una herramienta para su vida en general.

A tenor del trabajo realizado, en lo que sigue se hacen algunas consideraciones en torno a sus alcances y limitaciones, con la intención final de exponer las contribuciones de este estudio para la enseñanza de la herencia biológica en el bachillerato, particularmente en el sistema del CCH.

6.2 Implicaciones para la enseñanza

La aproximación instruccional que se diseñó, aplicó y analizó en este trabajo de tesis confirmo la presencia de problemas conceptuales en torno a la comprensión del proceso de herencia reportados ya en la literatura y dejó al descubierto algunos otros de los que no se había dado cuenta anteriormente.

Entre los primeros sobresalen la poca comprensión que tienen los estudiantes acerca del papel que juega la meiosis en el proceso de herencia y la generalización de atribuir a cada rasgo la acción de un gen. Respecto a este último punto, es importante mencionar que si bien es cierto que esta noción deja al descubierto el poco conocimiento o desconocimiento total que tienen los alumnos acerca de la interacción génica, representa un primer acercamiento a la comprensión de los mecanismos de la herencia en los que está involucrada la acción de más de un gen, además en muchos casos la relación gen-rasgo no es errónea.

En cuanto a los problemas conceptuales identificados en este trabajo, se encuentra la noción de que la herencia intermedia es un mecanismo de la herencia en el que participan dos genes. Valdría la pena sin embargo explorar nuevamente esta idea, puesto que al parecer su presencia en los datos analizados fue resultado de la forma en que se plantearon las actividades para abordar el tema, que condujo a un concepto no deseado. Esta situación lleva a considerar que valdría la pena replantear algunas actividades de las estrategias con miras a que el recurso elaborado pueda ser empleado por los docentes como una herramienta pertinente en su instrucción.

Una cualidad del trabajo que es importante señalar es que independientemente de las actividades que se plantearon en las estrategias didácticas, el diseño teórico

propuesto puede ser empleado como guía para que los docentes planteen sus propias actividades de acuerdo a sus necesidades particulares y a la realidad del tiempo de que disponen para revisar la temática. Lo relevante es que la propuesta diseñada otorga una orientación para dirigir a los estudiantes a la comprensión de la herencia como un proceso causal, los medios y recursos para llegar este conocimiento pueden ser diversos. En otras palabras, el estudio realizado ofrece herramientas para quienes quieran continuar con el trabajo.

En este punto es importante reconocer las ventajas que proporciona el enfoque de la evaluación formativa-formadora como orientación pedagógica para la estructuración de las estrategias de instrucción y de aprendizaje, pues si bien es cierto que el diseño didáctico permite apertura en el planteamiento de las situaciones de aprendizaje, cuando estas actividades fomentan la regulación y autorregulación en los alumnos los resultados de aprendizaje parecen ser más eficientes en términos de su proximidad a las explicaciones científicas, en comparación con las actividades planteadas dentro de un enfoque tradicional.

Por otro lado, desde el punto de vista disciplinar, es necesario introducir en el referente de enseñanza la noción del pensamiento evolutivo, con la intención de guardar concordancia con una de las presunciones actuales de la Biología que es precisamente la considerar las explicaciones evolutivas para formular las explicaciones de otros fenómenos biológicos, como por ejemplo la herencia biológica.

No obstante es difícil apreciar esta perspectiva en la enseñanza de la Biología, pues generalmente en los programas escolares el estudio de la evolución biológica se reduce a temáticas específicas (por ejemplo ritmos de la evolución, evidencias de la evolución) que se abordan de manera aislada del resto de los contenidos. En el caso de la enseñanza de la herencia biológica, esta fragmentación de contenidos puede ser la causa de que tanto la instrucción como la enseñanza se orienten hacia explicaciones fijistas o de estabilidad de las especies, pues frecuentemente la herencia biológica se aborda como un proceso independiente de otros procesos con los que está estrechamente vinculada como lo es la variación y ambos fenómenos a su vez se estudian desvinculados de la noción de evolución biológica.

Por ejemplo, en el programa de Biología I del CCH se plantea un aprendizaje para la temática de los mecanismos de la herencia en el que se remarca la noción de continuidad en términos de perpetuación (es decir la copia fiel del DNA y su transmisión de una generación a otra), y otro aprendizaje diferente para las mutaciones como fuente de variación genética. Con este planteamiento se deja de lado la noción de eventos contingentes que suceden en la replicación y que son precisamente los que causan la variación. Así pues lo deseable es que la herencia biológica y la variación se estudien como fenómenos simultáneos que comparten una misma causalidad: el material hereditario.

Otro aspecto que hay que reconocer es que el estudio de la herencia biológica en los diferentes programas escolares, incluso en los de nivel superior, presentan una notable orientación reduccionista al posicionar al gen como el único elemento causal que interviene en la determinación de los fenotipos. Ante esta situación es importante promover tanto para el diseño curricular como para el diseño didáctico las explicaciones epigenéticas con la finalidad de poner de relieve que el desarrollo de los fenotipos es resultado tanto de los genes y las interacciones que suceden entre ellos, como de los factores ambientales.

Con respecto a la metodología, particularmente con relación a los instrumentos empleados para la recolección de datos, es importante mencionar que hay que tener precaución con el uso del informe KPSI pues a pesar de que es posible obtener información relevante de él, estos datos se derivan de categorías preestablecidas, contrario a lo que plantea la orientación metodológica del trabajo.

6.3 Consideraciones finales

¿La integración del procedimiento de evaluación a los procedimientos de enseñanza y aprendizaje puede contribuir a la comprensión de la herencia biológica como un proceso causal? Generalmente cuando se estudia este tópico en el bachillerato suele comenzarse con las leyes de Mendel y proseguir con la resolución de numerosos problemas de cruce genético que incluso se contestan correctamente aún sin tener conocimiento de los principios y conceptos básicos de la herencia, este panorama desde luego es desfavorable ya que detrás de las

respuestas correctas de los alumnos puede haber un cúmulo de ideas previas arraigadas que obstaculizan el aprendizaje de estos conceptos y principios básicos.

Transitar a través de una secuencia que lleve a la construcción de los conceptos básicos de la herencia biológica puede ser una forma de acercar a los estudiantes a explicaciones más científicas y entonces la resolución de problemas de genética podría pasar de la aplicación de procesos mecánicos y memorísticos a la comprensión de los fenómenos que están involucrados. Esta construcción se refuerza cuando la secuencia didáctica se acompaña por actividades que estimulan la reflexión, ya que los alumnos toman consciencia de las acciones que los conducen al logro de metas, al error o a desempeños académicos pobres, lo que puede llevar a que se hagan responsables de su propio aprendizaje, a que sean más autónomos respecto a las estrategias que han de emplear para hacer frente a las tareas solicitadas. En definitiva, integrar actividades de autoevaluación y coevaluación a lo largo del proceso de enseñanza aprendizaje puede ser una alternativa de enseñanza pertinente para que los alumnos se aproximen a la noción de la herencia biológica como un proceso causal.

133

Respecto a esta forma de aproximación al contenido y su vinculación con el programa de estudios de Biología I del CCH para el que fue diseñada, es posible sugerir que el objetivo de aprendizaje relacionado con la herencia biológica, que se concentra en el conocimiento de los mecanismos de transmisión mendelianos y no mendelianos, puede facilitarse si los alumnos tienen comprensión de que el fenómeno de la herencia biológica es un proceso causal, lo que implica en primer lugar que haya conocimiento de que los rasgos son causados por estructuras materiales: los genes y en segundo lugar que se conozca la naturaleza de estas estructuras: su caracterización como secuencias con información codificada, su ubicación en los cromosomas, que estos factores hereditarios tienen dos o más alternativas llamadas alelos y que la segregación de estos alelos se relaciona con el proceso de meiosis.

Si los alumnos tienen claridad en estos aspectos es posible que se encuentren preparados para comprender los diferentes mecanismos de transmisión del material hereditario y cómo se comportan las estructuras materiales en estos

procesos según su condición, es posible entonces que los alumnos comprendan que lo que se transmite no son rasgos sino genes.

La secuenciación de los contenidos es pues un elemento esencial para la enseñanza, que cuando se complementa con estrategias didácticas pertinentes puede conducir a resultados de aprendizaje próximos a las explicaciones científicas. En este sentido los criterios empleados en este trabajo para el establecimiento de la secuencia didáctica aportan información importante para la enseñanza de la herencia biológica en el bachillerato, por un lado definen un referente de enseñanza que da cuenta del estatus actual del tópico dentro del campo de la Biología y por otro lado, a partir del análisis histórico permiten identificar los conceptos y nociones clave que participaron en la construcción del significado actual que se le otorga al concepto de herencia biológica.

Actualmente, el CCH se encuentra en proceso de actualización de su Plan de Estudios y en este sentido la información de ambos aspectos puede contribuir de manera relevante en este proceso. Desde el punto de vista disciplinar puede aportar elementos para la determinación de los criterios empleados para la selección de contenidos (en particular para el tópico de herencia biológica y como orientación general para otros conocimientos biológicos), así como para la definición del enfoque disciplinario que permeará los nuevos programas.

Desde el punto de vista pedagógico las virtudes que la evaluación formativa-formadora muestra para el aprendizaje de los estudiantes son de reconocimiento también, de manera que los principios en los que se sustenta esta perspectiva pueden sugerirse como orientadores para la enseñanza de la herencia biológica en particular y para abordar otros contenidos biológicos en general, lo que puede contribuir también en el proceso de actualización proporcionando elementos teóricos que apoyen la definición del enfoque didáctico que dará encuadre a los nuevos programas del Plan de Estudios del CCH.

En un sentido más amplio, esta propuesta de enseñanza puede ser pertinente también para otros sistemas de bachillerato. Sustentándose en la reconstrucción histórica del concepto, la secuencia didáctica pone de manifiesto la pertinencia de iniciar la instrucción de la herencia biológica a partir de aspectos macroscópicos, de elementos aparentes que pueden ser observados, para posteriormente dar paso

al estudio de los aspectos microscópicos, postura que puede adoptarse independientemente de los objetivos de aprendizaje que planteen los programas de estudio. Si es interés de las instituciones es instruir sobre los conceptos básicos del tópico, los tres niveles de aproximación de la secuencia pueden acercar a los estudiantes a este proceso, si por el contrario los objetivos se enfocan en el estudio de aspectos de la genética estricta el tránsito por estos niveles de aproximación puede facilitar este abordaje. Si los fines son claros, orientándose en esta secuencia del contenido los docentes podrían proponer sus propias actividades o estrategias de enseñanza.

Lo expuesto en los párrafos anteriores pone de relieve la importancia de la transposición didáctica, del trato y cuidado que los profesores debemos dar a los contenidos que enseñamos. En el diseño de las estrategias didácticas es primordial conocer qué tipos de contenidos se están tratando, es decir si son de naturaleza conceptual, procedimental o actitudinal y con base en ello decidir la forma de vigilancia que se les va a dar, especialmente en relación con los contenidos conceptuales este trabajo coincide con la con la postura de que la vigilancia epistémica y pedagógica es primordial para la determinación de la profundidad, secuenciación y amplitud con la que serán abordados los contenidos de enseñanza.

Sobre la metodología, la perspectiva cualitativa es ampliamente empleada en el campo de la investigación educativa debido principalmente a su objeto de estudio que son los alumnos, lo que pone de manifiesto que para explicar los fenómenos que están involucrados con ellos, como por ejemplo el aprendizaje y la autorregulación, la hermenéutica es esencial para comprender sus pensamientos, sus creencias, sus opiniones. En la literatura hay un número considerable de investigaciones relacionadas con la enseñanza de la genética, no obstante la mayoría de ellos son de corte cuantitativo, en este sentido el trabajo es original pues pone en práctica una metodología cualitativa para tratar de explicar cómo los alumnos aprenden conceptos de la herencia biológica empleando como medio la evaluación formativa-formadora.

Por otro lado, con relación con las contribuciones que el enfoque de la evaluación formativa-formadora aporta a la enseñanza de la herencia biológica, es posible

poner de manifiesto la efectividad que demostró el uso de actividades que promueven la autoevaluación y coevaluación para el aprendizaje de la herencia biológica como un proceso causal. Ciertamente varias ideas alejadas de este modelo siguieron presentes en algunas de las estructuras conceptuales promedio de los alumnos, lo que puede sugerir que para algunos de ellos las actividades planteadas no fueron relevantes, probablemente debido a su estilo de aprendizaje, esta situación hace evidente la necesidad de replantear algunas actividades con miras a que puedan ser significativas para la mayoría de los alumnos y a que apoyen la superación de las dificultades conceptuales que se hicieron presentes en este trabajo. En general, tanto los resultados disciplinarios como los relacionados con la regulación permiten sugerir el uso de estrategias metacognitivas para mejorar y promover el aprendizaje de los conceptos de la herencia biológica.

Finalmente, no se puede dejar de lado que una de las exigencias institucionales que se demanda de la evaluación educativa es la acreditación de los alumnos. Al respecto Luis Antonio Monzón (2010) ha señalado que en la evaluación formativa-formadora es posible encontrar equilibrio entre lo cualitativo y lo cuantitativo. Se trata de una visión analógica de la evaluación que conjunta ambas posturas en un punto de mediación más que de fusión.

Esta propuesta resulta particularmente importante puesto que pone de manifiesto que el éxito que puede llegar a tener la evaluación formativa -formadora en términos de aprendizajes duraderos, depende en gran medida de los instrumentos de evaluación utilizados así como de la intención y los momentos en que éstos son aplicados. Por su carácter formativo dichos instrumentos deben ser claramente diferentes a los utilizados en la evaluación tradicional, deben ser instrumentos alternativos que den cuenta de las evidencias de aprendizaje de los alumnos pero también deben poder ser utilizados para medir el aprendizaje en términos numéricos. Es necesario que como profesores seamos conscientes de las necesidades y retos que demanda la educación de nuestros alumnos y que frente a estas circunstancias estemos abiertos a la posibilidad de cambiar nuestras prácticas docentes, de explorar nuevas posibilidades de instrucción tales como las enmarcadas en el enfoque de la evaluación formativa formadora.

LISTA DE REFERENCIAS

- Aguilar, T. M.F. (2010). Cmaptools y el análisis cualitativo de datos. Métodos y procedimientos. En: A. J. Cañas, J. D. Novak y F. M. González (Eds.). *Concept Maps: Making Learning Meaningful. Proceedings of Fourth International Conference on Concept Mapping*. Viña del mar, Chile. Recuperado el 5 de septiembre del 2014 desde: <http://cmc.ihmc.us/cmc2010papers/cmc2010-133.pdf>.
- Allchin, D. (2000). Mending Mendelism. *The American Biology Teacher*, 62(9): 633-639.
- Álvarez, M.J.M. (2001). *Evaluar para conocer, examinar para excluir*. Morata, Madrid.
- Álvarez, V. I. M. (2009). Evaluar para contribuir a la autorregulación del aprendizaje. *Electronic Journal of Research in Educational Psychologic*. 7(3): 1007-1030.
- Angulo, V.R. (2007). *La estructura conceptual científico-didáctica*. Educación, debates e imaginario social. Serie Curriculum siglo XXI, Conacyt, México.
- Aravena, M.; Kimelman, E.; Micheli, B.; Torrealba, R. y Zúñiga, J. (2006). Investigación Educativa I. Universidad Arcis, Chile. Recuperado el 5 de septiembre del 2013 desde: <http://jrvargas.files.wordpress.com/2009/11/investigacion-educativa.pdf>.
- Astolfi, J.P. (2001). *Conceptos clave en la didáctica de las disciplinas*. Diada Editora S.L. Sevilla, España.
- Ayuso, E., Banet, E. y Abellán, T. (1996). Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y el bachillerato II: ¿resolución de problemas o realización de ejercicios? *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (2): 127-142.
- Ayuso, E. y Banet, E. (2002). Alternativas a la enseñanza de la genética en educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (1): 133-157.

Banet, E. y Ayuso, E. (1995). Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y bachillerato I: contenidos de enseñanza y conocimientos de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (2): 137-153.

Base de datos ERIC, 2014

Baker, W., y Thomas, C. (1998). Gummy bear genetics. *The Science Teacher*, 65 (8): 25-27.

Bello, S. (2004). Ideas previas y cambio conceptual. *Educación química*, 15(3): 210-217.

Bloom, B. S., et al., (1973). *Taxonomía de los objetivos de la educación. La clasificación de las metas educacionales*. Ateneo, Argentina.

Bordas, M.I. y Cabrera, F.A. (2001). Estrategias de evaluación de los aprendizajes centrados en el proceso. *Revista española de pedagogía*, 218: 25-48.

Burian, R.M. (2013). On Gene Concepts and Teaching Genetics: Episodes from Classical Genetics. *Science and Education*, 22:325-344.

Chalmers, F.A. (1988). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia? Siglo XXI*, Argentina.

138

Chase, M. (2011). Teleology and final causation in Aristotle and in contemporary Science. *Dialogue*, 50: 511-536.

Cheng-Wai, Y. (2009). Causal and teleological explanations in biology. *Journal of Biological Education*, 43 (4): 149-151.

Cuenca, A. B., Castelán, S. I. C. y Torices J. A. M. (2009). *Marco Teórico de la Evaluación*. Seminario de Formación de Profesores en Didáctica y Evaluación, UNAM-CCH, México.

Daley, B. J. (2004). Using concept maps in qualitative research. En: A. J. Cañas, J. D. Novak y F. M. González (Eds.). *Concept Maps: Making Learning Meaningful. Proceedings of First International Conference on Concept Mapping*. Pamplona, España. Recuperado el 31 de agosto del 2013 desde: <http://cmc.ihmc.us/papers/cmc2004-060.pdf>

Dauer, J.T., Momsen, J., Speth E. B., Makohon, M.S.C. y Long, T. M. (2013). Analyzing Change in Students' Gene-to-Evolution Models in College-Level

- Introductory Biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 50 (86): 639-659.
- DeHoff, M.E. (2010). Genetics Education in the Laboratory: Addressing Students' Misconceptions through Instruction and Activities. *Aurco Journal*, volumen 16:63-89.
- Del Rincón D., Arnal, J., Latorre, A y Sans, A. (1995). *Técnicas de investigación en ciencias sociales*. Dyckinson, Madrid.
- Díaz-Barriga, A. F. y Hernández, R. G. (2010). *Estrategias de enseñanza para la promoción de aprendizajes significativos*. Mc Graw Hill, México.
- Driver, R. (1989). Student's conceptions and learning of science. *International Journal of Science Education*, 11: 881-490.
- Gagliardi, R. (1988). Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3): 291-296.
- Gagliardi, R. y Giordan, A. (1986). La historia de las ciencias: una herramienta para la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(3): 253-258.
- García, Cruz. C. M. (1998). De los obstáculos epistemológicos a los conceptos estructurantes: una aproximación a la enseñanza-aprendizaje de la Geología. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2): 323-330.
- García, F.A. (2006). *Representaciones múltiples de la estructura de la materia en estudiantes de secundaria y bachillerato*. Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, M. y Mazzarella, C. (2011). Efecto de una intervención didáctica constructivista sobre el conocimiento y la resolución de problemas relacionados con Herencia Biológica en estudiantes de noveno grado. *Revista de investigación*, 35 (74): 111-138.
- Gericke, N. y Hagberg, M. (2007). Definition of historical models of gene function and their relation to students' understanding of genetics. *Science and Education*, 16:849-881.
- González, G. L. M. (2011). *Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural*. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires.

- González, H. (2004). La evaluación del proceso de enseñanza-aprendizaje. Fundamentos básicos. *Docencia e investigación*, 4.
- Grumbine, R. (2006). Using manipulativesto teach Basic Mendelian Genetics Concepts. *The American Biology Teacher*, Publicación online.
- Hernández, de R. N. y Sánchez, M.V. (2008). Divergencias y convergencias en La Teoría Fundamentada (Método Comparativo Continuo). *Revista Ciencias de la Educación*, 1(32): 123-135
- Hernández, S. R., Fernández, C.C. y Baptista L.P. (2010). *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill, México.
- Hojas, W.M., Simón, C.A. y De la iglesia, C.M. (2014). Análisis Semántico en Mapas Conceptuales usando Ontología de Dominio. *Ciencias de la Información*, 45(3): 19 - 24.
- Ifenthaler D. (2010). Relational, structural and semantic analysis of graphical representations and concep map. *Educational Tecnology Reseach and Development*, (58) (1): 81-97.
- Ifenthaler, D. (2012). Determining the effectiveness of prompts for self-regulated learning in problem-solving scenarios. *Educational Technology & Society*. 15 (1): 38-52.
- Ifenthaler D., Masduki, I. y Seel, N. M. (2011). The mystery of cognitive estructura and how we can deterct it: Tracking the development of cognitive structures over time. *Instructional Science*, 39 (1): 41-61.
- Johnson, S. (1991). Food for thought: The cookie analogy. University of Wisconsin: Center for Biology Education.
- Jorba, J. y Sanmartí, N. (1993). La función pedagógica de la evaluación. *Aula de Innovación Educativa*, 20: 20-30.
- Karagöz, M. y Mustafa, C. (2011). Problem Solving in Genetics: Conceptual and Procedural Difficulties. *Educational Sciences: Theory & Practice*. 11(3): 1668-1674.
- Kibuka, S. E (2007). Understanding genetics and inheritance in rural schools. *Journal Biological Education*. 41(2): 56-61.

- Kindfield, A. C. H. (1991). Confusing chromosome number and structure: A common student error. *Journal of Biological Education*, 25(3): 193-201.
- Knippels, M.C., Waarlo, A.J. y Boersma, K. (2005). Design criteria for learning and teaching genetics. *Journal of Biological Education*, 39(3): 108-112.
- Laland, K.N. et al. (2011). Cause and Effect in Biology Revisited: Is Mayr's Proximate-Ultimate Dichotomy Still Useful? *Science*, 334: 1512-1516.
- Lewis, J. y Kattman, U. (2004). Traits, genes, particles and information: revisiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education*, 26 (2): 195-206.
- Lewis, J., Leach, J. y Wood-Robinson, C. (2000a). All in the genes? Young people's understanding of the nature of genes. *Journal of Biological Education*, 34(2): 74-79.
- Lewis, J., Leach, J. y Wood-Robinson, C. (2000b). Chromosomes: the missing link - Young people's understanding of mitosis, meiosis and fertilisation. *Journal of Biological Education*, 34(4): 189-199.
- Lewis, J., Leach, J. y Wood-Robinson, C. (2000c). What's in a cell? Young people's understanding of the genetic relationship between cells, within an individual. *Journal of Biological Education*, 34(3): 129-132.
- Limón, M. y Carretero, M. (1997). Las ideas previas de los alumnos ¿Qué aporta este enfoque a la enseñanza de las ciencias? En: *Construir y enseñar las ciencias experimentales*. Mario Carretero (Ed). Aique, Argentina.
- López, B. C. (2004). *El sesgo hereditario*. Ámbitos históricos del concepto de herencia biológica. Coordinación de humanidades, UNAM.
- López, CH. M.J., Sanjosé, L.V. y Solaz, P.J.J. (2014). Estructura de conocimiento conceptual, memoria de trabajo y comprensión de textos de ciencias: un estudio con alumnos de secundaria. *Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, 12(3): 57-72.
- López. E. J., et al. (2013). Self-regulated learning study strategies and academic performance in undergraduate organic chemistry: an investigation

examining ethnically diverse students. *Journal of Research in Science Teaching*, 50 (6): 660-676.

Mateo, A. J. y Martínez, O. F. (2008). *La evaluación alternativa de los aprendizajes*. Octaedro, Barcelona, España.

Martínez, G. R. A. (2007). *La investigación en la práctica educativa: Guía metodológica de investigación para el diagnóstico y evaluación en los centros docentes*. Colección investigamos No. 5. Ministerio de educación y ciencia, Secretaria General Técnica, Madrid España. Recuperado el 1 de agosto del 2013.

Martínez, M. (2013). Causalidad y la síntesis extendida: nuevos marcos conceptuales para la biología de siglo XXI. *Revista de filosofía aurora*, 25 (36): 129-154.

Mills, S. K. R., Van Horne, K., Zhang, H and Boughman J. (2008). Innovations in Teaching and Learning Genetics. *Genetics*, 178: 1157-1168.

Monzón, L.L.A. (2010). Hacia un paradigma analógico de la evaluación docente. *Revista Iberoamericana de Educación*, 53 (1): 1-11.

142

Noguera, S. R. y Ruíz, G. R. (2009). Darwin and Inheritance: The Influence of Prosper Lucas. *Journal of the History of Biology*, 42:685-714.

Paris, G. P y Winograd, P. (2003). *The role of self-regulated learning in contextual teaching*: Principles and practices for teacher preparation.

Pérez, G. A. I. (1992). Capítulo V: Comprender la enseñanza en la escuela. Modelos metodológicos de investigación educativa. En: Gimeno, S.J. y Pérez, G.A. I. (Editores). *Comprender y transformar la enseñanza*. Morata, España.

Pérez, S. G. (2002). Investigación cualitativa: retos e interrogantes. La Muralla S.A. Madrid, España.

Pierce, B.A. (2005). *Genética. Un enfoque conceptual*. Editorial Médica Panamericana, Madrid, España.

Pintó, R., Aliberas, J. y Gómez, R. (1996). Tres enfoques de la investigación sobre concepciones alternativas. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (2):221-232.

- Pozo, J.I. (1993). Psicología y didáctica de las ciencias de la naturaleza. ¿Concepciones alternativas? *Infancia y aprendizaje*, 62 (6): 187-204
- 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
- Pozo, J.I. (2008). *Aprendices y maestros*. La psicología cognitiva del aprendizaje. Morata, Madrid.
- Revel, C.A. y González, G. L. (2007). Estrategias de aprendizaje y autorregulación. *Latinoamérica Estudios Educativos*, 3 (2): 87 - 98.
- Rodríguez, G. G., Gil, F.J. y García, J. E. (1999) *Metodología de la investigación cualitativa*. Aljibe. Málaga, España.
- Ríos, P. (1999). *La aventura de aprender*. Cognitus, Caracas, Venezuela.
- Ruíz, O.J.I. (1996). *Metodología de la investigación cualitativa*. Universidad de Deusto. Bilbao. España.
- Sanmartí, N. (1995). Actas de la primera y segunda jornadas de la enseñanza de la química. Universidad de Vigo.
- Sanmartí, N. y Almentí, G. (2004). La evaluación refleja el modelo didáctico: análisis de actividades de evaluación planteadas en clase de química. *Educación Química*, 25(2): 120-128
- Sanmartí, N. (2007). *10 ideas clave, evaluar para aprender*. Editorial Graó, Barcelona España.
- Santilli, H. y Martín, A.M. (2006). Un camino para identificar las ideas de los sujetos desde un enfoque cualitativo. *Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa* [en línea]. 1 (4). Recuperado el 1 de agosto de 2013 de <<http://revista.iered.org>>
- Serrano, M.E. (2002). La evaluación del aprendizaje. Dimensiones y prácticas innovadoras. *Educere*, 6(19): 247-257.
- Starbek, P., Erjavec, M. S. y Peklaj, C. (2010). Teaching Genetics with Multimedia Results in Better Acquisition of Knowledge and Improvement in Comprehension. *Journal of Computer Assisted Learning*, 26 (3): 214-224.

- Stewart, J. H. (1982) Difficulties experienced by high school students when learning basic Mendelian genetics. *The American Biology Teacher*, Vol. 44: 80-84
- Strauss. A. y Corbin, J. (1994). *Bases de la investigación cualitativa. Técnicas y procedimientos para desarrollar la Teoría Fundamentada*. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Thörne, K. y Gericke, N. (2014). Teaching genetics in secondary classrooms: a linguistic analysis of teachers' talk about proteins. *Research Science Education*, 44:81-108.
- Universidad Nacional Autónoma de México. Colegio de Ciencias y Humanidades. Área de Ciencias Experimentales. (2003). *Programas de Estudio de Biología I a IV*. México.
- Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Académico del Bachillerato. (1998). *Núcleo de Conocimientos y Formación Básicos que debe proporcionar el Bachillerato de la UNAM*. México.
- Universidad Nacional Autónoma de México. Colegio de Ciencias y Humanidades. Seminario de Formación de Profesores en Didáctica y Evaluación. (2011). *Paquete para la Evaluación del curso de Biología I*. México.
- Universidad Nacional Autónoma de México. Colegio de Ciencias y Humanidades. Unidad Académica del Ciclo del Bachillerato. (1996). *Plan de Estudios Actualizado*. México.
- Villalustre, M. L. y Del Moral P. E. (2010). Mapas conceptuales, mapas mentales y líneas temporales: objetos “de” aprendizaje y “para” el aprendizaje. *Revista latinoamericana de Tecnología Educativa*. 9 (1): 15-27. Recuperado de [<http://campusvirtual.unex.es/cala/editio/>]
- Villardón, G. L. (2006). Evaluación del aprendizaje para promover el desarrollo de competencias. *Educatio siglo XXI*, 24: 57 - 76
- Wandersee, J.H., Mintzes, J.J. y Novak, J.D. (1994). Research on Alternative Conceptions in Science, capítulo 5. En: Gabel, D.L. (Ed.) *Handbook of research on science teaching and learning*. NSTA MacMillan, USA.

- White, B. T. (2012). The Virtual Genetics Lab II: Improvements to a Freely Available Software Simulation of Genetics. *American Biology Teacher*, 74(5): 336-337.
- Velázquez, J. J. L. (2009). Libertad y determinismo genético. *Praxis Filosófica*, 29: 7-16.
- Woody, S. y Himelblau, E. (2013). Understanding & Teaching Genetics Using Analogies. *American Biology Teacher*, 75 (9): 664-669.
- Yip, C.W. (2009). Causal and teleological explanations in biology. *Journal of Biological Education*, 43 (4): 149-151.
- Zorrilla, A.J.F. (2008). *El bachillerato mexicano: un sistema académicamente precario. Causas y consecuencias*. Instituto de Investigaciones sobre la Universidad y la Educación, UNAM. México.

ANEXO1: LISTA DE IDEAS PREVIAS

Ideas previas consideradas para la categorización	
Ideas previas	Referencia
<ul style="list-style-type: none"> • Los alelos dominantes son más propensos a ser heredados que los alelos recesivos • Los alelos dominantes son más adaptativos que los recesivos • Los alelos recesivos son perjudiciales • Las mutaciones son recesivas • Los alelos dominantes regulan la expresión de los alelos recesivos • Los alelos dominantes se encuentran en mayor frecuencia que los alelos recesivos en las poblaciones • Cada rasgo está representado en un gen y cada gen tiene sólo dos alelos • Los cromosomas consisten en dos cromátides que se forman cuando una cromátides materna se une con una cromátides paterna durante la fertilización. • Los cromosomas consisten en dos moléculas de ADN de doble hebra, son las clases de cromosomas que están presentes en las células diploides. • Los cromosomas consisten en una sola molécula de ADN de doble hebra, son las clases de cromosomas que están presentes en las células haploides. 	<p>Kindfield, 1991.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Existen cromosomas machos y cromosomas hembras, los machos van hacia los espermatozoides y las hembras van al óvulo. • Los cromosomas sexuales se encuentran únicamente en las células sexuales. • Solamente las células sexuales tienen información hereditaria como cromosomas sexuales y genes • La información hereditaria se transmite únicamente a las células sexuales y de ahí a los futuros descendientes sin que el resto de las células la posea. • Los gametos son iguales entre sí. • La información genética es aquella que pasa de célula a célula. • Las células tienen diferentes cromosomas, diferentes genes y diferente información genética porque tienen diferentes roles o cumplen con diferentes trabajos. • Las células tienen diferentes funciones, por lo tanto, no pueden tener los mismos genes. • Dos células podrían tener diferentes genes porque son de diferentes personas, cada individuo tiene su propia identidad en genes, como una huella digital. • Al duplicarse la célula huevo (célula fecundada), reparte la información hereditaria a cada célula. • Las plantas no presentan reproducción sexual, por eso en 	<p>Lewis, Leach y Wood-Robinson, 2000a.</p> <p>Lewis, Leach y Wood-Robinson, 2000b.</p> <p>Lewis, Leach y Wood-Robinson, 2000c.</p>

<p>ellas no se lleva a cabo la meiosis.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los cromosomas homólogos se localizan en un mismo gameto. • Sólo los humanos y algunos otros seres vivos tienen células, cromosomas y genes. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Las células en el cuerpo se originan por mitosis o meiosis, la meiosis es la reducción o división de algo y sucede es en las células reproductivas y la otra con las células normales. • Los espermatozoides y óvulos son las células que llevan los genes porque son las que sirven para la reproducción y como las células musculares no valen para la reproducción, no llevan genes. 	<p>Knippels, Waarlo y Boersma, 2005.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • El carácter dominante es el más abundante o poderoso • La herencia ligada al sexo son las diferencias en el número de individuos de cada sexo. • La dominancia es el poder que tiene un gen sobre otro. • Cuando un gen es mejor que otro entonces es dominante. • Un gen recesivo es el que puede ser vencido fácilmente por otro. • La codominancia es la mezcla de diferentes genes heredados para formar una persona con características intermedias entre sus dos padres. • La codominancia es un fenotipo intermedio y una condición heterocigota. 	<p>Stewart, 1982.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Un rasgo dominante es el que aparece más veces en una población • Si la descendencia presenta características diferentes a las de los padres entonces existe más de un gen que afecta a esta característica, es decir, es producto de la mezcla de varios genes. • La variación continua fenotípica puede ser explicada como el resultado de factores múltiples (poligenes) junto con interacciones epistáticas y esto no está en conflicto con alguna herencia en particular. 	<p>Allchin, 2000.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • En las células hay cromosomas que contienen pigmentos para el color de los ojos. • Los genes son una parte importante de la herencia porque ellos contienen todas las características. • Las células germinales de hembras y machos tienen diferentes partículas y diferentes partes del padre y de la madre pasan a los hijos. Quizá yo tengo diferentes partes de mi madre y otras de mi padre. • La herencia también ocurre en los animales. Si en unos conejos jóvenes la madre es blanca y el padre negro los conejitos podrían ser blancos con manchas negras, no habría nada extraño. Pero si aparecieron conejos rojos entonces algo andaría mal. • Si un niño tiene pelo café y sus padres no, esto puede ser causado porque los abuelos tenían este color de pelo, es un 	<p>Lewis y Kattman, 2004.</p>

<p>rasgo oculto. Oculto significa que los padres tienen un rasgo que no se puede ver y el cual no es detectado externamente. Si los padres tienen ojos cafés quizá ellos tienen un rasgo oculto para los ojos azules el cual no se puede ver... los rasgos ocultos ocurren de vez en cuando, en generaciones más adelante porque estas células son transmitidas pero no siempre se ponen de manifiesto, esto se hace para que algún descendiente vuelva a tener esa característica.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las células tienen cosas diferentes dentro de ellas para hacer cosas diferentes, como las neuronas que tienen que recoger los mensajes, entonces debe haber más cromosomas, diferentes cromosomas, genes diferentes y diferente información que en las células de la mejilla porque tienen diferentes trabajos. • El ADN es la escalera en la cual todo está almacenado. Los cromosomas deciden cómo será la textura de la piel, el color de los ojos, el color del pelo etc. • Los cromosomas contienen a los genes, esto es importante porque entonces los cromosomas definen cómo es la gente, por ejemplo: color de ojos o color de pelo. • El ADN es una serie de instrucciones por lo tanto parte de él lleva o da cierta instrucción. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Los progenitores no aportan la misma cantidad de información hereditaria. • La información hereditaria del cigoto se reparte entre las células del cuerpo: cada una de ellas contiene la información que necesita para realizar su función. • Las dos cromátides que forman el cromosoma contienen distinta información. • Solamente una cromátide del cromosoma porta información, la otra no. • Los diferentes alelos de un gen se ubican en la misma cromátide. 	<p>Ayuso y Banet, 2002.</p> <p>Ayuso, Banet y Abellán, 1996</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Las características de la descendencia dependen principalmente de la madre. • Ambos padres juegan un papel en la contribución de las características físicas de los hijos, las características de los hijos son resultado de la mezcla de las de los padres. • Los hijos se parecerán al padre o a la madre dependiendo de la cantidad de información que dé cada uno de ellos. <p>El género en los seres humanos depende de los genes.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Los cromosomas hacen el ADN. • El ADN rodea a los genes. • El ADN está dentro de la célula y hace proteínas. A la secuencia codificadora que causa esto se le llama gen. • Los genes son importantes porque transfieren información. 	

ANEXO 2: DESARROLLO EN EXTENSO DE ACTIVIDADES

ESTRATEGÍA 1: un inventario de mis características¹⁷

NIVEL DE APROXIMACIÓN QUE ATIENDE: 1

CONTEXTUALIZACIÓN:

Programa para que fue diseñada:	Biología I del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH)
	Unidad 3: ¿Cómo se transmite y modifica la información genética en los sistemas vivos
	Tema 1: Mecanismos de la herencia → Herencia mendeliana. → Conceptos de gen y genoma.
Aprendizajes:	Que los alumnos: → Expliquen diferentes mecanismos hereditarios. → Reconozcan que la transmisión de las características hereditarias permite la continuidad de los sistemas vivos.

149

PROPÓSITO: Explorar la parte aparente o macroscópica de la herencia y vincularla con los factores internos que la causan.

DESARROLLO DE ACTIVIDADES:

Inicio. Exploración de conocimientos previos y establecimiento de expectativas.

Actividad 1: Planteamiento de preguntas generadoras, discusión grupal de respuestas y registro individual de ideas en un mapa didáctico (mental o conceptual).

- ¿Por qué somos diferentes?
- ¿Cómo se transmiten esas diferencias de padres a hijos?
- ¿Cómo adquirimos estas características que nos hacen únicos?

Actividad 2: Presentación de objetivos y establecimiento de metas individuales empleando informe KPSI (hoja 1).

¹⁷ Adaptado de "An Inventory of My Traits" en Teach genetic (2004). Genetics Science Learning Center. The University of Utah y "Alike But Not The Same" in Human Genetic Variation, NIH Curriculum Supplement Series (1999). Disponible en: <http://science-education.nih.gov/customers.nsf/highschool.htm>.

Desarrollo. Introducción de conceptos para relacionar las ideas previas con la nueva información por aprender.

Actividad 3: Elaboración de un inventario de características individuales.

a) A cada alumno se le entregará un listado (hoja 2) con una serie de rasgos que tendrán que discutir en equipo, se mostrarán imágenes de éstas características empleando una presentación power point breve. Posteriormente se seleccionará un rasgo de la lista y se encuestará sobre su presencia en los alumnos del grupo, se solicitará a los alumnos que lo tengan que se pongan de pie para contar el número de individuos que lo presentan, esta cifra se contrastará con el número de alumnos que se quedaron sentados, es decir que no poseen la característica, se continuará con esta dinámica al menos con dos rasgos más. Los resultados de este ensayo se discutirán en grupo, tratando de relacionarlos con la noción de que los rasgos que se observan son características que se heredan de los padres y que algunos son comunes en una población mientras que otros no.

b) Cada alumno responderá la encuesta de la hoja 2 para determinar los rasgos que posee. Después de que los alumnos completen el cuestionario, el profesor organizará al grupo para compartir la información y conocer cuántas personas tienen cada característica, esta información se registrará en la tabla de datos correspondiente (hoja 3).

c) Para continuar la actividad, los alumnos se organizarán en cinco equipos. A cada equipo le corresponderá trabajar con los datos de tres de los rasgos enlistados en la encuesta y para cada uno de estos rasgos tendrán que elaborar una gráfica de barras, mismas que habrán que describir al grupo.

d) Con las gráficas elaboradas se procederá a analizar en grupo los resultados obtenidos en la encuesta. Este análisis se guiará con los siguientes cuestionamientos:

- ¿Por qué algunos rasgos son más frecuentes que otros?
- ¿Cómo le llamarían a este hecho? (es decir la prevalencia de una característica sobre otra)
- ¿Qué sucede con los rasgos que presentan características intermedias, por ejemplo el color de los ojos o la textura y color del pelo?
- ¿Dónde se encuentran las características que se heredan de los padres a los hijos?

Se fomentará la discusión grupal de estos cuestionamientos subrayando lo siguiente:

- Es posible que se piense que los rasgos *más comunes* son los mejores, sin embargo esto no es así, algunos rasgos simplemente aparecen con mayor frecuencia en la población humana.
- Es recurrente también la tendencia a suponer que los rasgos más comunes son los rasgos dominantes y que su frecuencia es mayor que los recesivos, sin embargo la frecuencia tiene muy poco que ver con que si una característica es dominante o recesiva. Una característica dominante no es necesariamente más común y una recesiva no es necesariamente rara en una población. Un buen ejemplo es la polidactilia, condición causada por un único gen dominante, que no obstante no es tan común en los seres humanos.

Cierre. Organización de la información, evaluación y autoevaluación.

Actividad 4. Se retomará el organizador gráfico que los alumnos elaboraron en la actividad 1, se solicitará que se revise detalladamente y que realicen las modificaciones necesarias si así lo consideran pertinente.

151

Actividad 5. Se solicitará que de manera individual se realice una reflexión escrita sobre lo siguiente:

¿En qué piensas cuando se te pide que expliques cómo son y en dónde se localizan las características que tus padres te heredaron?

Actividad 6. Los alumnos responderán y discutirán en pares las cuestiones planteadas en la matriz de evaluación y autoevaluación (hoja 4). Para concluir se les pedirá que individualmente se remitan a la hoja 2 para que revisen los objetivos que se plantearon al inicio de la actividad y reflexionen sobre si cambiarían algunas de sus respuestas iniciales.

¿Qué voy a aprender?

Lee con atención las siguientes afirmaciones y marca en la columna correspondiente tu grado de comprensión sobre ellas.

	No lo sé	Lo sé más o menos	Lo sé muy bien	Lo sé y lo podría explicar a otros
Los rasgos de un individuo son características observables que se transmiten de padres a hijos.				
En una población (toma como ejemplo el salón de clases) algunos rasgos son más comunes que otros.				
Algunos rasgos son dominantes y otros recesivos.				
Los rasgos que observamos en un individuo son causados por estructuras llamadas genes.				
La transmisión de los rasgos y genes permite la continuidad de los seres vivos.				

¿Qué tan iguales son tú y tu compañero? ¿Qué características te hacen singular?
 Completa este inventario y compáralo con la persona con que estés trabajando.

1. Lóbulos de las orejas pegadas a las mejillas					si	no	
2. Línea frontal del pelo continúa					si	no	
3. Capacidad de enrollar la lengua					si	no	
4. Dedo meñique curvado					si	no	
5. Pulgar extensible					si	no	
6. Pelo en la articulación media de los dedos					si	no	
7. Hoyuelos faciales en ambos lados de la boca					si	no	
8. Pecas					si	no	
9. Cabello rizado por naturaleza					si	no	
10. Puedes ver los colores rojo y verde					si	no	
11. Barbilla partida					si	no	
12. Color de pelo		Negro	Café oscuro	Café claro	rubio	rojo	otro
13. Color de ojos		Negro	Café	miel	azul	verde	
14. Altura							
15. Sexo		M			F		

Tabla de datos

¿Cuántas personas de tú grupo tienen cada característica?
Completa la tabla de datos que aparece a continuación contando el número de personas que marcaron “Si” y el número de personas que marcaron “No” en las características 1 a 11, así como el número de personas para cada una de las características de los rasgos 12 al 15.

Característica	SI			NO		
1. Lóbulos de las orejas pegadas a las mejillas						
2. Línea frontal del pelo continua						
3. Capacidad de enrollar la lengua						
4. Dedo meñique curvado						
5. Pulgar extensible						
6. Pelo en la articulación media de los dedos						
7. Hoyuelos faciales en ambos lados de la boca						
8. Cabello rizado por naturaleza						
9. Puedes ver los colores rojo y verde						
10. Pecas						
11. Barbilla partida						
12. Color de pelo:	negro	Café oscuro	Café claro	Rubio	Rojo	Otro
13. Color de ojos	Negro	Café	Miel	Azul	Verde	
14. Altura						
15. Sexo	M			F		

Discute lo siguiente con un compañero de trabajo

Acciones que realizamos	Si	No	Comentarios
Participamos en la discusión sobre cómo se transmiten las características de padres a hijos			
Ordenamos nuestras ideas en un organizador ¿Cuál?			
Nos planteamos de manera individual metas a cumplir			
Tratamos de comprender las metas que planteo la profesora para esta actividad.			
Elaboramos de manera individual la actividad “Un inventario de mis características”			
Intercambiamos con los compañeros de grupo las respuestas de nuestra encuesta.			
Colaboramos en la elaboración de las gráficas que le tocó hacer a nuestro equipo			
Cuando verificamos el cumplimiento de nuestras metas (informe KPSI) nos apoyamos en la discusión en grupo sobre el análisis de los datos de las gráficas.			
Las conclusiones a las que llegamos se relacionan con el análisis de los datos de las gráficas.			
En nuestra redacción final sobre la localización y forma de las características heredadas utilicé términos como ADN, gen, cromosoma, material hereditario, sangre, células, espermatozoides, óvulos.			
Durante el desarrollo de las actividades lo que más trabajo nos costó fue...			
¿Qué modificaciones harían para mejorar su trabajo y por tanto los resultados que obtuvieron en cuanto a lo que aprendieron del tema?			
¿Qué piensan que aprendieron sobre lo revisado en estas sesiones?			

ESTRATEGÍA 2: Los cromosomas

NIVEL DE APROXIMACIÓN QUE ATIENDE: 2

CONTEXTUALIZACIÓN:

Programa para la que fue diseñada	Biología I del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH)
	Unidad 3: ¿Cómo se transmite y modifica la información genética en los sistemas vivos
	Tema 1: Mecanismos de la herencia → Herencia mendeliana. → Conceptos de gen y genoma.
Aprendizajes:	Que los alumnos: → Expliquen diferentes mecanismos hereditarios. → Reconozcan que la transmisión de las características hereditarias permite la continuidad de los sistemas vivos.

PROPÓSITOS: ubicar el material genético en las dimensiones de gen, alelo y cromosoma, reconocer la importancia del proceso de meiosis en la herencia biológica

156

DESARROLLO DE ACTIVIDADES

Inicio: Exploración de conocimientos previos.

Actividad 1: Lectura y discusión de situación para que los alumnos externen sus ideas respecto a la naturaleza y localización del material hereditario.

Situación propuesta:

Abuelita, abuelita... ¡que ojos tan miopes tienes!

Daniela estaba tan contenta, llegó con su abuelita y emocionada le decía que por fin dejaría de usar lentes, que la cirugía láser había sido todo un éxito. Daniela tenía un problema en los ojos llamado miopía que le hacía ver borrosos los objetos lejanos, por lo que desde la infancia tuvo que usar anteojos. La abuelita comentó que ella también había usado lentes casi durante toda su vida por la misma razón. El comentario de la abuelita hizo recordar a Daniela que su papá y su hermana padecían lo mismo, lo que despertó su curiosidad ¿A caso su abuelita les habría heredado esa condición?

Para generar la discusión de la situación se plantearan al grupo las siguientes cuestiones:

- ¿Es posible que la miopía haya sido heredada de la abuelita?
- ¿Cómo se heredó esta condición?
- ¿En qué parte del cuerpo de la abuelita se localiza esta característica?
- ¿Qué es lo que se transfiere cuando la abuelita hereda esta condición al padre y éste a sus hijas?
- Los rasgos, por ejemplo la miopía, están determinados por alguna estructura específica o factor presente en nuestros cuerpos?
- ¿Cómo cuál?
- ¿Exactamente dónde piensas que se localizan estas estructuras?

Es posible que los alumnos incorporen a la discusión términos como genes, cromosomas, material hereditario y alelos, por mencionar algunos. Es importante no emitir juicios de valor en relación a los significados de los alumnos, en su lugar se pueden plantear preguntas como las siguientes:

- ¿los rasgos están determinados por los genes?
- ¿qué es un gen?
- ¿los rasgos son material hereditario?
- ¿los cromosomas portan rasgos o genes?
- ¿qué es un cromosoma?

Actividad 2. Establecimiento de metas individuales. Empleando un cuadro CQA (hoja 1) los alumnos anotarán lo que saben sobre las estructuras que causan los rasgos y lo que les interesaría aprender sobre ellas.

Desarrollo. Introducción de conceptos a través de una analogía.

Actividad 3. Planteamiento de analogía entre la forma y características de un calcetín con un cromosoma en profase. La intención es hacer uso de material concreto (calcetines) para trasladar al plano macroscópico la noción de material hereditario y construir a partir de ello significados para los conceptos de cromosoma, gen, alelo y locus.

a) El grupo se dividirá en dos equipos. A cada equipo se les entregará un paquete que contiene calcetines de modelos diferentes que tendrán que ser colocados

sobre una mesa de manera “revuelta”, la finalidad de este paso es la de representar el material hereditario justo antes de la división celular, para proseguir se plantearán a los equipos las siguientes preguntas:

- ¿Qué representan los calcetines?
- ¿Qué representa el estambre con que están hechos los calcetines?
- ¿Por qué los calcetines se colocaron en desorden?

b) Se solicitará a cada alumno que tome un calcetín, se les pedirá que lo observen detenidamente poniendo énfasis en los patrones de bordado, por ejemplo: rayas delgadas, rayas gruesas, círculos, dibujos o alguna otra figura. Se plantearán y discutirán las siguientes cuestiones con el objetivo de establecer en grupo la representación de la estructura de un cromosoma:

- Si tuvieras que representar con este calcetín el material genético, específicamente un cromosoma ¿dónde ubicarías la característica que causa la miopía en el ser humano?
- ¿Qué nombre le darías a la región que seleccionaste para indicar la característica que causa la miopía?
- ¿Qué otras características podrías representar a lo largo del cromo-calcetín? Márcalas con una etiqueta.
- A parte de los genes, ¿conoces otros elementos de los cromosomas?, menciónalos y señálalos en tu cromo-calcetín, emplea el material que tengas a tu disposición. Si desconoces del tema, reflexiona con tus compañeros sobre los siguientes términos: centrómero, cromátide, telómeros, brazo corto, brazo largo.

c) De manera individual los alumnos elaborarán un mapa mental sobre la representación a la que llegaron, emplearán el formato de la hoja 2. Se les cuestionará sobre si su representación de cromosoma tiene parecido a las imágenes que comúnmente se presentan en los libros o en las páginas de internet.

Actividad 4. Se continuará el trabajo con la analogía anterior que en este caso será empleada para representar el proceso de segregación de alelos en la formación de gametos con la finalidad de remarcar la importancia e implicaciones de la meiosis en la herencia biológica.

a) Identificación y representación de cromosomas homólogos. Nuevamente el grupo se dividirá en dos equipos, se les entregará el paquete de calcetines y los colocarán desordenados sobre la mesa concentrándolos en un círculo que delimitarán con cinta adhesiva. Cada alumno tomará un calcetín y buscará dentro del círculo su par, deberán tener cuidado porque en el montón hay calcetines perecidos que se diferencian porque tienen algunas marcas hechas con pintura textil. Se indicará que el calcetín que tomaron al inicio es un cromosoma sencillo y que el par que encontraron representa la duplicación de ese cromosoma, es decir el par de calcetines representa un cromosoma duplicado por lo tanto deberán unirlos con un clip o sujetador. Se pedirá que busquen a la persona que tiene el par de calcetines parecido al suyo y que noten como a pesar de ser pares iguales se diferencian por las marcas de pintura, se indicará que estos pares de calcetines equivalen a cromosomas homólogos.

b) Para explorar cómo los diferentes arreglos de los cromosomas homólogos causan variación genética, se pedirá a los alumnos que trabajen con la persona que tiene el par homólogo de su cromo-calcetín, se pondrán de acuerdo para marcar en ellos dos alelos diferentes empleando una etiqueta a la que le asignarán una letra o símbolo, en uno de los cromo-calcetines se representará de manera dominante y en el otro de forma recesiva. A continuación se pedirá a los alumnos que estén atentos al lugar que ocupa su cromo-calcetín respecto al de su compañero y que procedan con la división del material genético, el profesor deberá ir guiando este trabajo de modo que los alumnos representen primero la división ecuatorial y después la reduccional. Finalmente se pedirá que anoten el orden de los alelos de cada una de las cuatro células resultantes y que repitan el procedimiento invirtiendo el lugar que asignaron a su cromo-calcetín, es decir si lo pusieron de lado derecho ahora deberán colocarlo de lado izquierdo. Al cabo de esta segunda vez, se plantearán los siguientes cuestionamientos:

- ¿El arreglo de los alelos en los gametos fue igual en la primera y en la segunda vez que realizaron el ejercicio? ¿a qué crees que se debe esto?
- ¿Se puede predecir cómo se dispondrán los alelos en los gametos?
- ¿Cuántos diferentes resultados es posible obtener?

c) Para visualizar la variación genética como resultado del entrecruzamiento, se solicitará a los alumnos que sigan trabajando con la persona que tiene el par

homólogo de su cromosoma homólogo. Al igual que en el ejercicio anterior tendrán que señalar con etiquetas en cada uno de los cromosomas del par homólogo alelos de un gen, uno en condición dominante y otro en condición recesiva. Acomodarán los pares homólogos de manera que se formen las tétradas e identificarán en esta estructura las cromátidas que coinciden (que representan las cromátidas no hermanas del par homólogo) así como los alelos que previamente señalaron. Se explicará que en el entrecruzamiento cromátidas no hermanas intercambian material hereditario, para representar este proceso cada uno de los alumnos tomará de su cromosoma la etiqueta con la que señaló el alelo y la colocará en el par homólogo en el lugar correspondiente, se les pedirá que observen que después del entrecruzamiento las dos cromátidas hermanas ya no son idénticas. A continuación se llevarán a cabo las dos divisiones correspondientes hasta obtener las cuatro células haploides, anotarán el orden de los alelos de cada una de estas células, advirtiéndolo con orientación del profesor que las cuatro poseen una combinación de alelos diferente. Podrán explorar más combinaciones señalando alelos de otros genes. Al cabo del ejercicio se discutirán las siguientes preguntas.

- ¿Crees que podrían aparecer estas combinaciones de alelos en una división de material hereditario en la que no haya entrecruzamiento?
- ¿Qué implicaciones tienen tanto el arreglo de los cromosomas homólogos como el entrecruzamiento en la herencia biológica?

Cierre. Organización de la información

Actividad 5. Se pedirá a los alumnos que retomen el cuadro CQA de la actividad 2 para trabajar la parte correspondiente a la columna 3 “Lo que aprendí”. En plenaria se comentarán las respuestas de los alumnos poniendo énfasis en el cumplimiento de las metas que se propusieron, es decir en “lo que querían aprender”.

Actividad 6. Se solicitará que retomen también el mapa mental que elaboraron en la actividad 3, que analicen lo que ahí anotaron y que si lo consideran pertinente replanteen lo que sea necesario. Se pedirá que en este mapa integren la información relacionada con la segregación del material hereditario en la

formación de los gametos. En plenaria se comentarán los mapas de algunos alumnos poniendo énfasis en los cambios que realizaron.

Actividad 7. Con la finalidad de que los alumnos reflexionen sobre su trabajo y que relacionen su desempeño con el cumplimiento de sus metas, realizarán se autoevaluarán. La autoevaluación consistirá en una serie de preguntas (hoja 3) que tendrán que responder por escrito, estas preguntas solicitarán información tanto actitudinal como disciplinaria. Es importante que en grupo haya retroalimentación al respecto de las respuestas de los alumnos.

*Los cromosomas
Cuadro CQA*

¿Qué conozco sobre el material hereditario?

Antes de iniciar la actividad asegúrate de que estás completamente listo para comenzar, ponte cómodo y activa todos tus sentidos. Escucha atentamente las ideas de tus compañeros sobre el material hereditario y participa con las tuyas. Recuerda, ninguna participación es tonta, tal vez algo que sabes sobre el tema resulta importante para aprender más sobre él. Después de la discusión anota en el siguiente cuadro lo que sabes sobre el material hereditario y lo que te gustaría aprender sobre este tema. Reserva la última columna para el final de la actividad.

161

Lo que Conozco	Lo que Quiero aprender	Lo que Aprendí
Lo que sé sobre el material hereditario es...	Sobre el material hereditario me gustaría aprender...	Ahora pienso que ...

*Los cromosomas
Mapa mental*

Tu modelo de cromosoma

Nombre _____ Grupo_____ Fecha _____

Tu tema central es el cromosoma, ¿qué podrías hablar sobre él?. Haz una lista de los posibles subtemas que incluirías para apoyar tu explicación. Ahora con esta información elabora un mapa mental, el tiempo con el que cuentas es de 30 minutos.

*Los cromo-calcetines
Bitácora de reflexión*

Ahora, reflexiona sobre tu trabajo

Nombre_____ Grupo_____ Fecha _____

En el siguiente cuadro, anota en el espacio en blanco tus respuestas sobre lo solicitado.

Enlista las actividades que realizaste en esta estrategia.	
Explica cómo organizaste el tiempo que se destinó para realizar las actividades.	
¿Consideras que este tiempo fue suficiente?, explica tu respuesta.	
¿Encuentras algún beneficio al compartir e intercambiar opiniones sobre el trabajo que realizaste con tu compañero? Explica tu respuesta.	
Sobre la forma de trabajo ¿Qué te llevas de esta sesión?	
¿Cómo te sentiste con tu desempeño?	
Anota lo que creas que aprendiste sobre el tema revisado	

ESTRATEGÍA: Algunos mecanismos de la herencia

NIVEL DE APROXIMACIÓN QUE ATIENDE: 3

CONTEXTUALIZACIÓN:

Programa para la que fue diseñada	Biología I del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH)
	Unidad 3: ¿Cómo se transmite y modifica la información genética en los sistemas vivos
	Tema 1: Mecanismos de la herencia → Herencia mendeliana. → Conceptos de gen y genoma.
Aprendizajes:	Que los alumnos: → Expliquen diferentes mecanismos hereditarios. → Reconozcan que la transmisión de las características hereditarias permite la continuidad de los sistemas vivos.

PROPÓSITOS: Identificar algunos mecanismos hereditarios

DESARROLLO DE ACTIVIDADES

Inicio. Exploración de ideas previas y establecimiento de metas individuales.

Actividad 1. Al menos con una clase de anticipación, se solicitará que los alumnos busquen información sobre la mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*), por ejemplo características estructurales de hembras y machos, uso como modelo genético.

Actividad 2. Planteamiento de objetivos a partir del comentario sobre los conceptos que integran un informe KPSI que los alumnos resolverán. Con base al conocimiento y dominio que los alumnos consideren tener de dichos conceptos, plantearan de manera personal una meta específica a lograr según sus intereses. Elaboración de informe KPSI (hoja 1).

Desarrollo. Introducción de información nueva por aprender

Actividad 3. Actividad práctica. Esta práctica se desarrolló con material biológico preparado a manera de paquetes didácticos donados por el Banco de Moscas de la Facultad de Ciencias, UNAM. Para realizar la práctica, los alumnos se organizaron en equipos de cuatro o cinco personas, a los que se les proporciono en diferentes momentos y uno a la vez, cuatro diferentes paquetes didácticos. El primer paquete contenía 2 viales, uno con moscas silvestres y otro con moscas mutantes,

el segundo paquete correspondió a una cruce monohíbrida con su primera y segunda generación; el tercer paquete constó de la F1 y F2 de una cruce en la que están involucrados atributos ligados al sexo y el cuarto paquete ejemplificó el mecanismo de alelos múltiples.

Paquete 1. Observación de la morfología de *Drosophila melanogaster* para identificar atributos silvestres y mutantes, así como para diferenciar hembras y machos. Empleando un eterizador, los alumnos anestesiaron a las moscas del tubo silvestre, las depositaron en una platina de vidrio y realizaron observaciones usando un microscopio estereoscópico. Se solicitó que se concentraran en características como la forma, longitud y color del abdomen, el tamaño de los individuos, el tamaño y contorno de las alas, el color de los ojos; realizaron la manipulación de los ejemplares con un pincel de punta fina. Repitieron el procedimiento con el vial que contenía las moscas mutantes. Registraron las observaciones en las tablas correspondientes (Hoja 2).

Paquete 2. Cruza monohíbrida. Los estudiantes que anestesiaron las moscas del primer tubo, las colocaron en la platina de vidrio y observaron sus características a través del microscopio de disección, los alumnos llevaron en sus cuadernos un registro de los atributos observados. Posteriormente observaron las moscas del tubo dos, se solicitó que trataran de identificar el atributo que se estaba transmitiendo, en este caso la longitud de las alas, y que contaran el número de moscas con dichas características, registraron estos datos en sus notas. Para terminar la revisión de este paquete los estudiantes observaron las moscas del vial tres y contaron el número de ejemplares con las características que se están siguiendo. Después de revisar los tres tubos del paquete cada equipo comparó sus resultados con los demás equipos y plantearon entre todos los integrantes una conclusión, se discutieron estas conclusiones en plenaria con la finalidad de identificar el patrón que estaba actuando en este paquete. Para apoyar los resultados se pidió a los alumnos que realizaran las cruces correspondientes de la hoja 3.

Paquete 3. Herencia ligada al sexo. Al igual que con los paquetes anteriores, los alumnos anestesiaron las moscas, las colocaron en una platina de vidrio y realizaron observaciones usando el microscopio de disección. Revisaron el primer

vial y registraron en sus cuadernos las características observadas, se les pidió que pusieran particular atención en identificar las características que tienen las hembras y las características que tienen los machos, en este caso todos los machos tenían ojos rojos y todas las hembras ojos blancos. Posteriormente revisaron el tubo de la F1, los estudiantes contaron tanto el número de hembras como el número de machos que había en la muestra y observaron los atributos de cada uno de estos grupos. Finalmente se revisaron las moscas del tubo tres siguiendo el procedimiento anterior: contaron hembras y machos y observaron las características de cada grupo. Trabajando en equipo, los estudiantes compararon los números obtenidos en la F1 y en la F2 y vincularon estos resultados con la información del primer tubo, esto con la intención de que infirieran el mecanismo hereditario que estaba involucrado. Para apoyar esta identificación realizaron las cruza correspondientes indicadas en la hoja 3.

Paquete 4. Alelos múltiples. Este paquete contenía un único tubo. Los alumnos anestesiaron las moscas de este vial, las colocaron en las platina de vidrio y las observaron a través del microscopio de disección. Se les pidió que trataran de ubicar el rasgo transmitido, en este caso el color de los ojos y que trataran de inferir el mecanismo de la herencia involucrado. Para apoyar su inferencia los alumnos realizaron la cruz correspondiente de la hoja 4.

Actividad 4. Ejemplo herencia intermedia: discusión de la manifestación del color en los claveles. Para bordar el mecanismo de herencia intermedia se mostró a los alumnos claveles de tres colores: rojo, blanco y jaspeado, se discutió acerca de su posible genotipo y posteriormente realizaron en equipo las cruza correspondientes de la hoja 4. Los equipos socializaron las conclusiones a las que llegaron respecto a el mecanismo hereditario que estaba involucrado en este ejemplo y en consenso redactaron una conclusión general.

Cierre: Autoevaluación y coevaluación. Para que los alumnos evaluaran el desempeño que tuvieron en esta estrategia, resolvieron la lista de cotejo que se les solicitó (hoja 5).

Algunos mecanismos de la herencia
Informe KPSI

Nombre _____ Grupo _____ Fecha _____

Instrucciones: para cada una de las palabras anotadas en el cuadro de abajo indica:

a) Si has estudiado la palabra con anterioridad (Columna que dice “Estudio previo”).

1= si 2=no

b) El nivel en el que comprendes la palabra (columna que dice “Nivel de dominio”)

1= No comprendo la palabra

2= Es posible que comprenda la palabra

3= Conozco la palabra

4= Comprendo claramente la palabra

5= Domino la palabra y puedo explicársela a un compañero.

Palabra	Estudio previo	Nivel de dominio
Homocigoto		
Heterocigoto		
Haploide		
Diploide		
Progenitor		
Generación filial		
Dominancia		
Recesividad		
Dominancia intermedia		
Alelo		
Alelos múltiples		
Mecanismo hereditario		
Gametos		
Locus		
Loci		
Proporción		
Segregación		
Cuadro de punnett		
Gen		
Cromosoma		

Registro de observaciones.

Paquete 1. Moscas silvestre y mutantes

Características de hembras	Características de machos

Atributos de moscas silvestres	Atributos de moscas mutantes

Cruzas A

Nombre _____ Grupo _____ Fecha _____

Instrucciones: Reúne un grupo de dos o tres compañeros y realicen las siguientes cruzas. Utilicen cuadros de punnett.

Cruza 1

P
Fenotipo: Alas cortas x Alas largas

Genotipo:

F1

♀ / ♂		

Proporción: _____
 Conclusión: _____

F2
Fenotipo:

Genotipo

♀ / ♂		

proporción: _____ 168

Cruza 2

P
Fenotipo: macho ojos blancos X hembra ojos rojos

Genotipo:

F1

♀ / ♂		

Conclusión: _____

F2
Fenotipo:

Genotipo:

♀ / ♂		

Algunos mecanismos de la herencia

CRUZAS B

Nombre _____ Grupo _____ Fecha _____

INSTRUCCIONES. Trabaja con uno o dos compañeros para realizar las siguientes cruzas. Entre todos analicen cada caso y traten de identificar el mecanismo hereditario que está involucrado.

Caso 1. En *Drosophila melanogaster* es posible apreciar en los individuos ojos de color rojo, eosina y blanco. Considera la siguiente información para realizar las cruzas que se te solicitan.

Genotipo / Fenotipo

w⁺ ojos rojos

w^e ojos eosina

w ojos blancos

Cruza 1: ojos rojos X ojos blancos

Cruza 2: ojos rojos X ojos eosina

Cruza 3: ojos blancos x ojos eosina

Después de realizar las cruzas analicen lo siguiente:

a) Estos rasgos se encuentran en un mismo cromosoma o en cromosomas diferentes. Elaboren un dibujo para apoyar su explicación.

b) ¿Qué rasgo es dominante y qué rasgo es recesivo?

c) Nuestro equipo concluye que el mecanismo de la herencia ...

Caso 2. Observa los claveles y realiza las cruzas que se te solicitan considerando la siguiente información:

Genotipo / Fenotipo

BB claveles blancos
RR claveles rojos
BR claveles rosas

Cruza 1: claveles blancos X claveles rojos
Cruza 2: claveles rosas X claveles blancos
Cruza 3: claveles rosas X claveles rojos

Después de realizar las cruzas respondan lo siguiente:

- a) ¿Cómo localizarían las características anteriores en el material hereditario, específicamente en los cromosomas. Realicen un dibujo para apoyar su explicación.

- b) ¿Qué rasgo es dominante y qué rasgo es recesivo?

- c) Nuestro equipo concluye que el mecanismo de la herencia...

Lista de cotejo para evaluar el trabajo en la práctica

Instrucciones: Escribe SI, si realizaste lo solicitado y NO si ni lo llevaste a cabo

Actividad	Si	No	Comentario
Llegaste puntual a la clase			
Llevaste el material que se te solicitó con anterioridad			
Investigaste sobre la mosca de la fruta			
Aportaste alguna idea o comentario en la discusión previa a la realización de la práctica			
Organizaste junto con tus compañeros de equipo la forma en la que trabajaron			
Realizaste el trabajo que se te encomendó			
Respetaste los tiempos destinados para cada una de las actividades de esta sesión			
Estuviste atento a la explicación de la maestra			
Trabajaste con algunos compañeros para realizar las cruces que se solicitaron			
Construyeron entre todos una conclusión para las cruces realizadas			
Consideras que con tu forma de trabajo aprendiste sobre los mecanismos de transmisión de la información genética			

171

¿Qué piensas que aprendiste sobre los mecanismos de la herencia? Anótalo en el siguiente espacio

Consideras que tu desempeño en la práctica se relaciona con lo que aprendiste. Sí, no porqué.