



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**EL MODELAMIENTO COMO ESTRATEGIA DIDÁCTICA
PARA LA ENSEÑANZA DE LA GENÉTICA CLÁSICA (NO
MOLECULAR) EN ALUMNOS DE SECUNDARIA**

GUILLERMO LEÓN RODRÍGUEZ TOBÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

BOGOTÁ, COLOMBIA

2014

EL MODELAMIENTO COMO ESTRATEGIA DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DE LA GENÉTICA CLÁSICA (NO MOLECULAR) EN ALUMNOS DE SECUNDARIA

GUILLERMO LEÓN RODRÍGUEZ TOBÓN

Trabajo final presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Enseñanza de las Ciencias Naturales y Exactas

Director:

Luis Eugenio Andrade Pérez

M.Sc. Genética Molecular

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Naturales

Bogotá, Colombia

2014

*Para Angélica María, a quien le debo la inspiración
para querer convertirme en un mejor docente y
hombre.*

Agradecimientos

Agradezco a cada uno de los estudiantes del grado noveno jornada mañana del Colegio Gustavo Restrepo IED, los cuales participaron con entusiasmo en la prueba piloto de la estrategia de enseñanza presentada en este trabajo de grado. También agradezco al rector de esta institución educativa Luder Jerez y a la coordinadora Myriam Consuelo del Río, por la creación de un ambiente propicio para la realización de este trabajo.

Un especial cariño y agradecimiento a Luis Eugenio Andrade, Mauricio Quimbaya y Frey Rodríguez, por sus apoyos y la dedicación a discutir largamente conmigo temas generales y específicos de la enseñanza de las ciencias naturales.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental el estudio de la transposición didáctica en la enseñanza de la teoría genética de las prácticas de modelamiento (formulación, validación y uso de modelos científicos) fundamentadas en el enfoque epistemológico semanticista. Como resultado de este estudio se logró consolidar una propuesta constructivista para la enseñanza de la genética clásica (no molecular), la cual es puesta a prueba por medio de una implementación piloto en búsqueda de dificultades y requisitos. La implementación evidenció que los estudiantes de básica secundaria poseen un enorme potencial para la formulación, validación y uso de modelos relacionados con la genética clásica; por otra parte las dificultades más significativas para la correcta operatividad de la propuesta didáctica están relacionadas con las ideas previas, el poco desarrollo de las habilidades de pensamiento formal y las actitudes manifiestamente negativas hacia el aprendizaje significativo por parte de los estudiantes.

Palabras clave: Didáctica, Modelamiento, Educación científica, Enfoque epistemológico semanticista, Teoría genética clásica, Ciencias naturales.

ABSTRACT

The present work aims to study the didactic transposition in genetics by means of modeling practices teaching (formulation, validation and use of scientific models) that are grounded in the epistemological semanticist approach. As a result of this study a constructivism proposal for teaching classical genetics theory (not molecular) was achieved and consolidated. The approach here described was tested in order to look for implementation difficulties. The practical implementation of the approach showed that high school students have a great potential in order to formulate, validate and use the classic genetics models. Concomitantly, the followed methodology revealed that the most significant students' difficulties for the proper operability of the proposal are related with

alternative conceptions, the low development of the formal thinking capabilities and the manifested negative attitudes towards significant learning.

Keywords: Didactic, Modeling, Scientific education, Epistemological semanticist approach, Classical genetics theory, Natural sciences.

Contenido

	Pág.
RESUMEN	VII
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE SÍMBOLOS	XII
LISTA DE ABREVIATURAS	XII
INTRODUCCIÓN	1
1. HACIA UNA PEDAGOGÍA SEMANTICISTA	3
1.1 LOS DESAFIOS EN LA ENSEÑANZA DE LA GENÉTICA	3
1.2 PROPUESTAS DE INVESTIGACION EN EL CAMPO DE LA ENSEÑANZA DE LA GENÉTICA.	4
1.3 EL MODELAMIENTO COMO ENFOQUE PEDAGÓGICA PARA LA ENSEÑANZA DE GENÉTICA	11
1.3.1 Supuestos y metas de la educación científica	14
1.3.2 Criterios para seleccionar y organizar los contenidos	18
1.3.3 Actividades de enseñanza y evaluación	26
1.3.4 Dificultades de aprendizaje y enseñanza previsibles	32
2. LA VISIÓN SEMANTICISTA DE LA TEORÍA GENÉTICA CLÁSICA (NO MOLECULAR)	35
2.1 EL MODELO BASICO DE LA GENÉTICA CLÁSICA	37
2.1.1 Dimensión dominio	37
2.1.2 Dimensión organización	38
2.1.3 Dimensión composición	38
2.1.4 Dimensión estructura	39
2.2 EL MODELO ESPECIALIZADO 1.....	40
2.2.1 Dimensión dominio	40
2.2.2 Dimensión organización	40
2.2.3 Dimensión composición	41
2.2.4 Dimensión estructura	41
2.2.5 Ejemplo de un modelo representacional relacionado con el modelo especializado 1	46
3. UNA PROPUESTA SEMANTICISTA PARA LA ENSEÑANZA DE LA TEORÍA GENÉTICA CLÁSICA (NO MOLECULAR)	47
3.1 ELEMENTOS DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA.	50
3.2 GUÍAS DE TRABAJO EN CLASE.....	52

3.2.1	Fase de exploración	52
3.2.2	Fase de abducción del modelo	52
3.2.3	Fase de formulación del modelo	53
3.2.4	Fase de despliegue del modelo	54
3.2.5	Fase de evaluación y síntesis	54
3.3	LA RELACION DE LA PROPUESTA CON LOS ESTANDARES BASICOS DE COMPETENCIAS EN CIENCIAS NATURALES.....	55
4.	METODOLOGIA, RESULTADOS Y ANALISIS DE LA IMPLEMENTACION DE LA PROPUESTA PARA LA ENSEÑANZA DE LA GENETICA CLASICA.	57
4.1	METODOLOGIA.....	57
4.1.1	Muestra objeto de estudio.....	58
4.1.2	Análisis del desempeño estudiantil.	58
4.1.3	Valoración los aprendizajes relacionados con la teoría genética.	61
4.1.4	El proceso de enseñanza.	62
4.2	RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACION.	63
4.2.1.	Desempeño estudiantil.	63
4.2.2.	Resultados del pre-test.	65
4.2.3.	Resultados del post-test.	66
4.2.4.	Comparación pre-test vs post-test.	68
4.3	IDEAS PREVIAS DE LOS ESTUDIANTES.	69
4.4	ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.	71
4.5	DIFICULTADES Y REQUISITOS	74
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
5.1	CONCLUSIONES	77
5.2	RECOMENDACIONES	78
	BIBLIOGRAFÍA.....	79
A.	Anexo: Modelos especializados de la teoría genética clásica (no molecular) ...	85
A.1	MODELO ESPECIALIZADO 2.....	85
A.1.1	Dimensión estructura.....	85
A.1.2	Ejemplo de un modelo representacional relacionado con el modelo especializado 2.	87
A.2	MODELO ESPECIALIZADO 3.....	90
A.2.1	Dimensión estructura.....	90
A.2.2.	Ejemplo de un modelo representacional relacionado con el modelo especializado 3.	92
A.3	MODELO ESPECIALIZADO 4.....	95
A.3.1	Dimensión estructura.....	95
A.3.2	Ejemplo de un modelo representacional relacionado con el modelo especializado 4.	97
B.	Anexo: Guías de trabajo en clase para los ciclos de aprendizaje	101
B.1	Guías ciclo de aprendizaje 1.....	101
B.2	Guías ciclo de aprendizaje 2.....	185
B.3	Guías ciclo de aprendizaje 3.....	213
C.	Anexo: Prueba diagnóstica	255

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-1: Características de tres perfiles paradigmáticos.....	16
Figura 1-2: El aprendizaje de conceptos científicos como un proceso de evolución de perfiles paradigmáticos.	17
Figura 1-3: Dialéctica en la evolución de perfiles paradigmáticos.	18
Figura 1-4: Visión general de la concepción semanticista de las teorías científicas según Giere (2006).	21
Figura 1-5: Ciclo de aprendizaje por Modelamiento	27
Figura 2-1: Estructura de la red teórica de la genética clásica (no molecular).....	36
Figura 2-2: Estructura del modelo fundamental de la genética... ..	37
Figura 2-3: Modelo 1: cruce homocigoto dominante x homocigoto recesivo en la herencia del carácter textura de la semilla en los guisante.	44
Figura 2-4: Modelo 1: cruce heterocigoto x heterocigoto en la herencia del carácter textura de la semilla en los guisantes.	45
Figura 3-1: Estructura del currículo para la enseñanza de la teoría de la genética clásica (no molecular).....	49
Figura 4-1: Valoración de los indicadores A, B y C	64
Figura 4-2: Valoración del indicador D	64

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Término
Cm	CentiMorgan

LISTA DE ABREVIATURAS

Símbolo	Término
RI	Realismo ingenuo
RCC	Racionalismo científico clásico
RCM	Racionalismo científico moderno
FRC	Frecuencia de recombinación

INTRODUCCIÓN

El estudio realizado tuvo como eje articulador el análisis y la transposición didáctica de las prácticas de modelamiento (formulación, validación y uso de modelos científicos) en la enseñanza de la genética clásica (no molecular). Esto debido a que hoy en día se considera que dichas prácticas basadas en un enfoque epistemológico semanticista son actividades fundamentales en el desarrollo y la consolidación de toda disciplina científica. Para la comunidad de pedagogos en ciencias naturales la transposición didáctica de dichas prácticas ayudara al desarrollo de un aprendizaje significativo de los conocimientos científicos por parte de los estudiantes de secundaria.

Como resultado de este estudio se consolido una propuesta constructivista para la enseñanza de la teoría genética clásica (no molecular), la cual tomo la forma de una secuencia didáctica por ciclos de aprendizaje. Con esto logramos cumplir con los objetivos originalmente propuestos para el trabajo final de la Maestría en Enseñanza de las Ciencias Naturales y Exactas, los cuales consisten en:

Objetivo general:

- Proponer una secuencia didáctica para la enseñanza de la genética clásica basada en la estrategia didáctica del modelamiento desarrollada por Halloun (2004).

Objetivos específicos:

- Definir y caracterizar la estrategia didáctica del modelamiento desarrollada por Halloun (2004).
- Realizar una discusión precisa y documentada sobre los elementos disciplinares de genética clásica (no molecular), que recomienda el Ministerio de Educación

Nacional, en los estándares básicos de competencia para ciencias naturales, teniendo en cuenta aspectos históricos y epistemológicos.

- Diseñar una secuencia didáctica para la enseñanza de la genética clásica (no molecular), desde la perspectiva de la teoría del modelamiento desarrollada por Halloun (2004).
- Analizar e identificar requisitos y dificultades de la aplicación en el aula de la secuencia didáctica propuesta para la enseñanza de la genética clásica (no molecular), a partir de una prueba piloto.

El documento se haya estructurado en cinco componentes. El primer capítulo se revisa a profundidad los referentes epistemológicos, pedagógicos y didácticos necesarios para el diseño de la propuesta didáctica. En el segundo capítulo, se presenta una versión adaptada de los trabajos epistemológicos de Balzer & Lorenzano (1997), Lorenzano (1998) y Lorenzano (2002b), la cual se constituye en el referente de conocimiento científico a enseñar por medio de la propuesta didáctica. En el tercer capítulo, se integran los referentes teóricos presentados en los capítulos 1 y 2 en una propuesta de enseñanza que toma la forma de una secuencia didáctica por ciclos de aprendizaje. En el cuarto capítulo se describe en detalle la prueba piloto diseñada y desarrollada. Finalmente en el capítulo 5 se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo realizado.

1.HACIA UNA PEDAGOGÍA SEMANTICISTA

Desde finales de los años 1990s, se ha venido desarrollando dentro del campo de la enseñanza de las ciencias naturales un nuevo enfoque pedagógico y didáctico conocido como pedagogía semanticista, modelamiento o enseñanza por construcción de modelos (Gilbert & Boulter, 2000; Halloun, 2004; Adúriz-Bravo, 2010; Ariza et al. 2010). En pocas palabras, la pedagogía semanticista se concibe como un conjunto de posturas epistemológicas, reflexiones pedagógicas y estrategias didácticas que tienen como objetivo promover el aprendizaje significativo de las teorías científicas, por medio de la práctica fundamental de construcción de modelos (Halloun, 2004, 2007, 2011; Ariza et al. 2010, Clement, 2008; Galagovsky, 2010; Justi, 2006; Lombardi, 2011). Para algunos autores, este nuevo enfoque pedagógico y didáctico plantea una verdadera revolución en la concepción de los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias naturales, una revolución que va de la mano con las posturas actuales de la epistemología científica (Ariza et al. 2010; Adúriz-Bravo, 2010).

A continuación se realizara una breve descripción de los desafíos más apremiantes y los avances más significativos acontecidos dentro del campo de la enseñanza de la genética en los últimos 30 años, esto con el objeto de comprender mejor las ventajas que traería la implementación de estrategias didácticas de corte semanticista. Luego se detallaran los elementos epistemológicos, pedagógicos y didácticos de la estrategia semanticista desarrollada por Halloun (2004), pues ellos sirven de referentes teóricos para el desarrollo de la propuesta para la enseñanza de la genética clásica (no molecular) que se plantea en el presente trabajo de grado.

1.1 LOS DESAFIOS EN LA ENSEÑANZA DE LA GENETICA

Son variados los desafíos de la enseñanza de la genética, según Wood-Robinson et al. (1998) los más importantes desafíos que poseen los docentes al enseñar la teoría genética son:

- Eliminar las ideas previas erróneas de los estudiantes con relación a la herencia biológica.
- Reemplazar las ideas previas erróneas de los estudiantes por conocimiento científicamente aceptado.
- Promover en los estudiantes el aprendizaje de un conocimiento científico, que les permita comprender y emplear los avances contemporáneos de la investigación genética.
- Desarrollar capacidades de resolución de problemas.

1.2 PROPUESTAS DE INVESTIGACION EN EL CAMPO DE LA ENSEÑANZA DE LA GENETICA

La historia de la enseñanza de la genética en los currículos de ciencias naturales para jóvenes menores de 16 años inicia oficialmente en Inglaterra en los años 1960s, en lo cual es seguido en corto tiempo por Estados Unidos y otros países industrializados (Bugallo, 1995). Desde estos inicios, la genética ha sido catalogada como una teoría científica particularmente difícil de aprender y enseñar. En un estudio realizado a comienzo de los años 1980s, se caracterizan a la genética como una de las teorías biológicas que revisten mayor dificultad en su aprendizaje (Johstone & Mahmoud, 1980). Además, en un estudio posterior se afirma que a pesar de su dificultad en el aprendizaje, la genética es considerada por la mayoría de docentes como una de las teorías biológicas más importante a enseñar, la cual es fundamental para la posterior comprensión de la teoría de evolución darwiniana y en consecuencia necesaria para un entendimiento profundo de la propia biología (Finley et al., 1982).

Varios investigadores han reflexionado y relacionado la dificultad en el aprendizaje de la genética a varios factores fundamentales, a saber:

a. Las ideas previas de los estudiantes con relación a los dominios explicativos de la teoría genética.

Los estudiantes usualmente llegan a un curso de genética con un conjunto de ideas previas erróneas, las cuales en su mayoría provienen de la cultura en el cual están inmersos o son aprendidas debido a deficiencias didácticas en cursos anteriores de ciencias naturales (Pozo & Gómez, 2009). En su gran mayoría los

estudiantes de secundaria pasan por un curso de genética sin modificar o reemplazar las ideas previas erróneas (Wood-Robinson et al, 1998).

b. El poco desarrollo de las habilidades cognitivas necesarias para la resolución de problemas en genética.

Algunos investigadores en didáctica de la genética provenientes de la corriente piagetiana argumentan que existe una enorme dificultad para que los estudiantes de secundaria realicen exitosamente actividades de resolución de problemas, ya que no poseen aun las habilidades cognitivas necesarias (Lawson, 1983; Mitchell & Lawson, 1988). Según ellos, los contenidos de la genética pueden ser clasificados como hipotéticos, los cuales para ser comprendidos satisfactoriamente necesariamente requeriría que los estudiantes se encuentren en el estadio de operaciones formales y no en el de operaciones concretas (según la tipología de Piaget). Según estos investigadores, la carencia de las habilidades de razonamiento combinatorio, probabilístico y proporcional es la principal fuente de dificultades que enfrentarían los estudiantes, tanto al tratar de resolver problemas de aplicación como también en la comprensión inicial de la misma teoría genética (Lawson, 1983; Mitchell & Lawson, 1988).

c. La imposibilidad de la realización de trabajos prácticos.

Los experimentos en genética usualmente requieren demasiado tiempo en su ejecución, por lo general semanas o meses (Radford & Bird-Stewart, 1982). Debido a esto es prácticamente imposible su realización en el aula, lo cual genera en los estudiantes la creencia errónea de que la teoría genética es un discurso científico con poca o ninguna relación con la realidad.

La importancia y las dificultades percibidas en la enseñanza de genética al nivel de educación secundaria se han convertido en el motor generador de fuertes debates entre los especialistas en didáctica de las ciencias naturales. En un lado tenemos a los especialistas que no aprueban la enseñanza de la genética al nivel de educación secundaria, los cuales argumentan como ya lo mencionamos que los estudiantes se

encuentran en el estadio piagetiano de operaciones concretas y en consecuencia les es imposible comprender dicha teoría (Lawson, 1983; Mitchell & Lawson, 1988). En el otro lado encontramos a los especialistas que aprueban y defienden la inclusión de la genética en el currículo de ciencias naturales, los cuales argumentan que esta disciplina científica ha producido avances muy significativos en las últimas décadas, avances tan importantes que impactan constantemente nuestra vida cotidiana, por lo que se hace necesario que el público en general posea y use adecuadamente los conocimientos básicos de la teoría genética (Wood-Robinson et al., 1998). Con el objeto de resolver la discusión generada, desde los años 1980s se han venido implementando líneas de investigación en algunos aspectos concretos considerados importantes para la enseñanza de la genética, las cuales son:

a. Caracterización de las ideas previas de los estudiantes:

Existen numerosos trabajos de investigación que identifican y caracterizan algunas de las ideas previas relacionadas con los contenidos de la genética. Las ideas previas más profundamente arraigadas y difíciles de revertir según los especialistas son:

- Los estudiantes en su gran mayoría creen que solo los seres humanos y otros organismos evolutivamente cercanos están formados por células, y reiteradamente niegan que otros organismos más alejados evolutivamente como las plantas, hongos e invertebrados posean células (Banet & Ayuso, 1995).
- Muchos estudiantes aun cuando creen que los organismos como las plantas, hongos e invertebrados están formados por células, niegan que ellos posean genes y cromosomas. Además, muchos estudiantes no relacionan conceptualmente los términos gen y cromosoma, es así como pueden afirmar que un organismo puede poseer genes y no cromosomas, y viceversa (Banet & Ayuso, 1995; Wood-Robinson et al., 1998; Caballero, 2008).
- Los estudiantes usualmente poseen dificultades en comprender las diferencias entre la división celular por mitosis y meiosis, y su relevancia tanto en la diferenciación celular como en la formación de gametos. Para la gran mayoría de los estudiantes la división celular por mitosis y meiosis

son procesos similares con resultados también similares (Radford & Bird-Stewart, 1982).

- Relacionado con lo anterior, usualmente los estudiantes creen que las diversas células de un mismo organismo poseen solo aquella información genética necesaria para su funcionamiento (Hackling & Treagust, 1984; Wood-Robinson et al., 1998). No comprenden los procesos de clonación ni de diferenciación celular. Además, algunos asumen que la información hereditaria solo la poseen las células sexuales más específicamente los gametos (Banet & Ayuso, 1995; Wood-Robinson et al., 1998).
- Los términos alelo y gen para muchos estudiantes son sinónimos, no existiendo ninguna separación conceptual entre los dos términos. Esto posiblemente se debe en gran parte al pobre tratamiento conceptual que dichos términos reciben en los textos de ciencias naturales para educación secundaria (Cho et al., 1985).
- Generalmente los estudiantes relacionan la ubicación de los genes exclusivamente con el sistema sanguíneo, esto debido al uso constante de frases populares como “lo lleva en la sangre” o “herencia de sangre” (Caballero, 2008).
- Muchos estudiantes asumen como ciertos algunos aspectos de la teoría lamarckiana de la herencia de los caracteres adquiridos. Según esto, los estudiantes creen que en los factores ambientales y/o eventos en la historia de vida de un organismo pueden influir notablemente en la herencia biológica que se manifestara en futuras generaciones (Ramagoro & Wood-Robinson, 1995; Lewis et al. 2000). Para ellos, los eventos fortuitos en el desarrollo o las influencias medio ambientales son igual o más importantes que la herencia genética proveniente de sus padres en la determinación de la apariencia.

Actualmente se sigue trabajando en esta línea de investigación, tratando de detectar ideas previas erróneas aun no identificadas.

b. Estudio de las estrategias requeridas para la resolución de problemas:

Con relación a la resolución de problemas los investigadores se han interesado por desarrollar estrategias que permitan que los estudiantes resuelvan problemas empleando adecuadamente los conceptos de la teoría genética. Un giro interesante entorno a la resolución de problemas consistió en el cambio del tipo de problemas a los cuales se enfrenta estudiantes luego de la instrucción. Generalmente luego de una actividad didáctica expositiva por parte del docente, los estudiantes se enfrentan a actividades de resolución de problemas del tipo causa-efecto, en donde en el enunciado del problema se menciona toda la información causal requerida para resolverlo. En este tipo de problemas el estudiante aplica un algoritmo relativamente sencillo para obtener una respuesta única, por ejemplo completar un cuadro de Punnet para determinar los genotipos de una progenie, sin que esto represente que en realidad comprenda su significado ni por que es necesario hacerlo. Las investigaciones en resolución de problemas sugieren que es necesario cambiar los problemas del tipo causa-efecto por problemas del tipo efecto-causa (Stewart, 1988). Ahora, en este nuevo escenario los estudiantes al tratar de resolver los problemas no aplicaran un algoritmo sencillo, necesariamente deberán desarrollar ideas sobre ¿cuál tipo de herencia encaja mejor según la información de enunciado del problema? o ¿cuál es la relación entre los diversos alelos de un gen? y generar hipótesis sobre los posibles genotipos de los organismos involucrados. Lo que se pretende es desarrollar en los estudiantes las capacidades de resolución de problemas, no por medio de la aplicación de un algoritmo que usualmente no se comprende, sino por la aplicación en diversos contextos de los conceptos y procesos de la genética, generalmente aprendidos por medio de prácticas tradicionales de enseñanza expositiva (Stewart, 1988; Ayuso et al., 1996).

Aunque es verdad que muchos estudiantes de secundaria aun no poseen capacidades de razonamiento combinatorio, probabilístico y proporcional propias del estadio de operaciones formales (según la tipología de Piaget), también es verdad que no las poseen por falta de experiencias didácticas que promuevan su desarrollo (Walker et al., 1980). Se espera que propuestas didácticas que involucren la resolución de problemas del tipo efecto-causa promuevan en los estudiantes el desarrollo de habilidades de pensamiento hipotético-deductivo, y

en consecuencia se favorezca la transición desde el estadio de operaciones concretas al estadio de operaciones formales.

c. El estudio de la relación entre el conocimiento conceptual y la resolución de problemas:

Obviamente esta línea de investigación se relaciona con la inmediatamente anterior, pero se diferencian entre sí en el foco central de su indagación. Esta línea de investigación no gira en torno a la comprensión y el desarrollo de las capacidades mentales requeridas para la resolución de problemas, sino como debe ser organizado el conocimiento científico de tal forma que favorezca la resolución de problemas.

La relación entre el conocimiento conceptual y la resolución de problemas, se investiga a través del análisis de las estrategias de resolución de problemas y como estas se relacionan con las diversas formas de organizar el conocimiento de la genética. Dentro de esta línea de investigación encontramos los trabajos pioneros del Johnson & Stewart (1990), quienes desarrollaron estrategias didácticas donde los estudiantes son motivados a formular gráficamente los modelos causales de la teoría genética expuesta con anterioridad por un simulador computarizado. Dichos modelos luego son aplicados en la resolución de problemas del tipo efecto-cause, estableciendo desde luego una relación entre el conocimiento conceptual y la resolución de problemas. Otra investigación importante fue realizada por Simmons & Lunetta (1993), en la cual se caracteriza la forma como los expertos y los novatos en el manejo de la teoría genética organizan diferencialmente el conocimiento, y se observa como el aprendizaje de un concepto científico implica necesariamente su conexión con otros conceptos previamente aprendidos dentro de una misma estructura conceptual.

d. La orientación de los estudiantes en cara al aprendizaje significativo:

Por último, se encuentra esta línea de investigación que trata de comprender las actitudes manifiestas de los estudiantes con relación al aprendizaje significativo de una teoría científica. Según Cavallo & Schafer (1994), los estudiantes pueden ser clasificados según las actitudes manifestadas hacia el aprendizaje significativo

en tres grupos: i) los que aprenden de forma rutinaria (respondiendo dando definiciones establecidas), ii) los que aprenden significativamente (responden a los nuevos problemas cuestionándose a sí mismo, elaboran nuevas ideas y las relacionándolas con ideas previas), iii) los que se encuentran en medio camino entre los dos primeros.

A partir de las investigaciones mencionadas es posible formular una serie de recomendaciones generales que deben ser tenidas en cuenta al diseñar una secuencia didáctica para la enseñanza de la genética, las cuales son:

- Al iniciar un curso de genética los estudiantes poseen un conjunto de ideas previas generalmente contrarias a las concepciones científicas aceptadas, por lo cual se hace necesario desarrollar dinámicas didácticas que las identifiquen en los estudiantes intervenidos. La educación científica debe permitir que los estudiantes identifiquen sus ideas previas erróneas y ayudarles a reformularlas.
- Es necesario involucrar a los estudiantes en actividades de resolución de problemas del tipo efecto-causa. La resolución de problemas no debe ser vista como actividades de aplicación de un algoritmo, sino como actividades didácticas que implicarían el desarrollo de pequeñas investigaciones escolares.
- Los estudiantes en su gran mayoría manifestaran carencias en el desarrollo de habilidades de pensamiento formal, por lo es necesario diseñar estrategias didácticas que ayuden a desarrollarlas apropiadamente.
- Los conceptos de la teoría genética deben ser trabajados de forma organizada. Se deben realizar esfuerzos para que los estudiantes organicen los conceptos de la teoría genética en estructuras conceptuales complejas o modelos. Es necesario que el conocimiento se organice de forma adecuada en modelos, evidenciando la conexión funcional entre los diversos conceptos y como los modelos pueden ser empleados con éxito en la resolución de problemas (Pozo & Gómez, 2009).

- Es importante trabajar en el diseño de estrategias que motiven a la mayoría de los estudiantes a aprender significativamente la teoría genética, permitiéndoles tomar el control sobre su propio aprendizaje de manera metacognitiva.

Aunque en la literatura especializada se encuentran reportadas algunas propuestas de secuencias didácticas para la enseñanza de la genética como las de Iñiguez & Puigcerver 2013, y Banet & Ayuso (2003), aun no surgen propuestas que tomen en cuenta todas las recomendaciones provenientes de las investigaciones mencionadas. El presente trabajo de grado pretende ser el inicio de un proyecto de investigación didáctica más amplio dedicado al diseño de secuencias didácticas para la enseñanza de la genética y la evolución darwiniana, construidas desde la perspectiva del enfoque pedagógico semanticista, las cuales aborden todas las recomendaciones mencionadas arriba.

1.3 EL MODELAMIENTO COMO ENFOQUE PEDAGÓGICO PARA LA ENSEÑANZA DE GENÉTICA

George Kelly (uno de los investigadores pioneros en el campo de la psicología cognitiva), en su teoría de los constructos personales desarrolla la idea según la cual cada persona actúa como un agente cognitivo que elabora modelos del mundo real, constructos estos importantes para interpretar y predecir situaciones futuras. Kelly resalta la importancia que poseen los modelos al mediar nuestra relación con el entorno, y enfatiza que cualquier persona, independiente de su nivel intelectual está continuamente involucrada en un proceso de construcción, evaluación y modificación de sus modelos personales acerca de la realidad (Kelly, 1955). Luego, en los años 1980s, el destacado epistemólogo norteamericano Ronald Giere desarrollo una propuesta para la comprensión de la actividad científica desde el la perspectiva de la teoría cognitiva (Giere 1988, 1999, 2006); la cual puede ser considerada como una profundización de la teoría de los constructos personales desarrollada por Kelly (1955). En sus desarrollos Ronald Giere reúne e interpreta apropiadamente tanto los aportes de las propuestas metacientíficas de Fred Suppe y Bas van Fraassen, así como también los elementos de la teoría cognitiva muy de moda en los 1980s; en especial trabaja fuertemente la concepción de modelo científico, y a partir de ella elabora una solida propuesta filosófica, la cual hoy en día se reconoce como la línea cognitiva del semanticismo epistemológico (Lorenzano, 2002a).

Es importante mencionar que el semanticismo epistemológico de Ronald Giere toma su nombre debido que es una propuesta filosófica que centra su estudio en el significado de las teorías científicas y no en su sintaxis. Lo verdaderamente importante para el semanticismo es lo que las teorías científicas nos dicen sobre como comprender el mundo real, y los análisis de sintaxis muy usuales en los estudios de la escuela del positivismo lógico pasan a un segundo plano o simplemente son considerados sin importancia (Giere 1998, 1999, 2006; Lorenzano, 2002a; Adúriz-Bravo, 2010; Suppe, 2000).

En años recientes varias investigaciones en didáctica de las ciencias naturales como las de Clement, (2008); Gilbert & Bouler (2000); Halloun (2004; 2007), han empleado la propuesta epistemológica semanticista de Ronald Giere y lograron formalizar diversas estrategias para la enseñanza de las ciencias naturales que en su conjunto pueden ser denominadas como enseñanza semanticista, aprendizaje por construcción de modelos o simplemente modelamiento. De aquí en adelante llamaremos a tales propuestas didácticas como modelamiento. El objetivo básico de todas estas nuevas propuestas pedagógicas y didácticas, consiste en crear ambientes de aprendizaje que promuevan en los estudiantes la capacidad de análisis y el cuestionamiento de sus modelos acerca de la realidad y en consecuencia si es necesario los modifiquen o reemplacen por otros modelos más exitosos formulados y validados por los ellos mismos (Halloun, 2004).

El modelamiento sigue los mismos principios del constructivismo pedagógico (Halloun, 2004, 2007). Se adhiere a las ideas del aprendizaje activo y el auto-desarrollo, pero toma distancia al plantear que los procesos auto-formativos no deben ser desarrollados de forma completamente independiente, sino que debe ser mediados constantemente por un docente calificado (Halloun, 2007). Se debe asegurar que en todos los procesos de enseñanza-aprendizaje, las construcciones personales de los estudiantes sean conmensurables con el discurso científico oficial. Aunque en el constructivismo pedagógico cualquier construcción resulta significativa (de Zubiria, 2001), en el modelamiento se enfoca la actividad didáctica específicamente hacia la construcción de los modelos especializados de una teoría científica en particular (Halloun, 2004, 2007). En la enseñanza por modelamiento, un docente calificado se encargará entonces de realizar la comparar entre los modelos construidos por los estudiantes y los modelos propios del discurso científico oficial, y en consecuencia desarrollara estrategias

didácticas encaminadas al replanteamiento y/o formulación de nuevos modelos que estén alineados con el discurso científico oficial.

Aunque existen reseñadas en la literatura especializada varias propuestas de enseñanza por modelamiento (Clement, 20008; Gilbert & Bouler, 2000; Halloun, 2004, 2007), en el presente trabajo se abordara el estudio concreto de la propuesta didáctica de Halloun (2004), por considerar que desde ella se pueden trabajar adecuadamente las recomendaciones que deben ser tenidas en cuenta en el diseño de una secuencia didáctica para la enseñanza de la genética, las cuales fueron mencionadas en la sección anterior. Específicamente la propuesta de Halloun (2004) permite:

- Tener en cuenta las ideas previas de los estudiantes como punto de partida del proceso de enseñanza-aprendizaje. Es importante tener en cuenta que según Halloun (2004), las ideas previas de los estudiantes se organizan en estructuras conceptuales complejas denominadas modelos ingenuos.
- La adecuada resolución de problemas del tipo efecto-causa durante la abducción e inducción de los modelos.
- Promover el desarrollo de las habilidades de pensamiento formal debido al uso de una dialéctica de coherencia, correspondencia y conmensurabilidad.
- La organización adecuada del conocimiento científico dentro de modelos científicos, los cuales luego pueden ser empleados con éxito en la resolución de problemas.
- Motivar los estudiantes en el aprendizaje significativo de una teoría científica.

La propuesta de Halloun (2004) posee cinco elementos de significativa relevancia, a saber:

- La concepción del aprendizaje como evolución de perfiles paradigmáticos individuales.
- La concepción de modelo científico.
- La concepción de las teorías científicas como conjuntos de modelos.
- El modelo científico en el ámbito de lo pedagógico.
- La didáctica de construcción de modelos por ciclos de aprendizaje.

Cada uno de estos elementos serán detallados a continuación, pero este estudio estará enmarcado dentro de los cuatro ítems necesarios para explicar satisfactoriamente un enfoque pedagógico según Pozo & Gómez (2009), los cuales a saber son:

- Supuestos y metas de la educación científica.
- Criterios para seleccionar y organizar contenidos
- Actividades de enseñanza y evaluación.
- Dificultades de aprendizaje y enseñanza previsibles.

1.3.1 Supuestos y metas de la educación científica

El supuesto fundamental del enfoque pedagógico semanticista consiste en asumir que los estudiantes son agentes cognitivos, los cuales tratar explicar, comprender y realizar intervenciones exitosas en el mundo real por medio de la construcción de modelos. Como consecuencia de este primer supuesto, se establece que las actividades más importantes sino la más fundamental en el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias naturales son la formulación, validación y uso de los modelos (Adúriz-Bravo, 2010).

El segundo supuesto importante que se debe tener en cuenta es el hecho que los estudiantes no llegan a un curso de ciencias naturales con la mente en blanco. Los estudiantes antes de enfrentarse a un curso de ciencias naturales, ya poseen en sus mentes modelos de diversa naturaleza desarrollados a partir de sus interacciones previas con el medio cultural y escolar (Pozo & Gomez, 2009). Muchos de estos modelos previos o ingenuos, poseen ideas contrarias al discurso científico oficial, y como lo ha demostrado la investigación pedagógica, estos modelos poseen una gran capacidad de resistencia (Pozo & Gomez, 2009; Wood-Robinson et al., 1998). Todo lo anterior nos lleva a reflexionar sobre cuál debería ser la meta principal de la educación científica conceptualizada desde este enfoque pedagógico, la cual es definida apropiadamente por Pozo & Gómez (2009):

La educación científica debe ayudar al alumno a construir sus propios modelos, pero también a interrogarlos y describirlos a partir de los elaborados por otros, ya sean sus propios compañeros o científicos eminentes. (Pozo & Gomez, 2009, p. 300)

Esta meta es interpretada por Halloun (2004) como un proceso de evolución de los perfiles paradigmáticos personales, tema que se abordara a continuación.

El aprendizaje como evolución de perfiles paradigmáticos personales

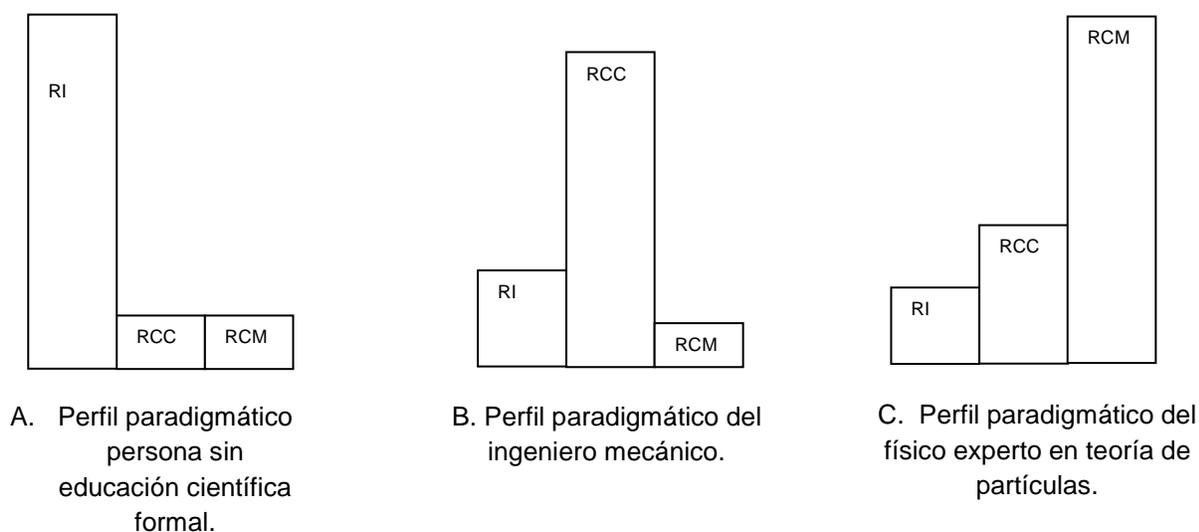
Teniendo en cuenta los aportes de Kelly (1955), para comprender el aprendizaje se parte del hecho de que todos los seres humanos formulan modelos personales que se emplean para comprender e interactuar en el mundo real. Todo modelo personal está desde luego caracterizado por lo que Bachelard (2003) denominó perfil epistemológico, el cual el grado de conmensurabilidad de dicho modelo personal con relación a referentes epistemológicos propios del desarrollo histórico de una disciplina científica en particular. Para el caso concreto de la física, Bachelard (2003) definió un conjunto de referentes propios del perfil epistemológico de las concepciones de esta disciplina científica, los cuales son: i) el concretismo subjetivo, ii) el empirismo positivista, iii) el racionalismo clásico, iiiii) el racionalismo relativista y iiiiii) el idealismo dialectico.

Según la propuesta de Halloun (2004), los referentes del perfil epistemológico de las ciencias físicas según Bachelard pueden ser agrupados en tres grupos básicos dependiendo de su carácter paradigmático: a) paradigmas de Realismo Ingenuo (RI), que involucra los referentes del concretismo subjetivo y empirista positivista; b) paradigmas del Racionalismo Científico Clásico (RCC), el cual agrupa los referentes del racionalismo clásico y c) los paradigmas del Racionalismo Científico Moderno (RCM), el cual contiene los referentes del racionalismo relativista y el idealismo dialectico. Con estos tres grupos paradigmáticos Halloun (2004) construye luego perfiles al estilo de Bachelard, pero en este caso son perfiles paradigmáticos y no epistemológicos. Es importante observar que la palabra paradigma en la obra de Halloun (2004), no posee el mismo significado que en la obra de Kuhn (1962), más bien este término es usado por Halloun (2004) para hacer referencia al grado de conmensurabilidad entre los modelos personales y los modelos asociados a los paradigmas científicos al estilo de Kuhn (Wendel, 2008). En la figura 1-1 se muestran a manera de ejemplo tres posibles perfiles paradigmáticos relacionados a personas con diversa educación científica, en los cuales el tamaño de las barras muestra el grado de conmensurabilidad entre sus modelos personales y los modelos asociados a cada uno de los elementos paradigmáticos del perfil.

En el primer caso, el perfil paradigmático de la persona sin educación científica formal representa el típico perfil en donde los modelos personales no son conmensurables con ningún paradigma científico, las ideas y concepciones asociadas a dichos modelos son de viabilidad muy limitada. Este perfil será denominado perfil ingenuo. Contrario a lo

anterior tenemos los perfiles paradigmáticos científicos como los manifestados por el ingeniero mecánico o el físico experto en teoría de partículas. Perfiles estos conmensurables en alto grado con el discurso oficial de la ciencia natural, en donde se desarrollan notablemente los elementos paradigmáticos del racionalismo científico clásico y/o del racionalismo científico moderno.

Figura 1-1: Características de tres perfiles paradigmáticos. Figura inspirada en el trabajo de Halloun (2004).



Según Halloun (2004), el aprendizaje de una teoría científica tiene lugar cuando una persona, la cual posee un perfil paradigmático ingenuo con relación a dicha teoría, logra evolucionar sus modelos personales hasta convertirlos en modelos con una alta conmensurabilidad con los paradigmas científicos modernos (caracterizados por un perfil paradigmático asociados a un fuerte desarrollo del racionalismo científico clásico y/o del racionalismo científico moderno). En otra palabras aprender una teoría científica significa cuestionar, modificar y si es necesario formular nuevos modelos personales que sean conmensurables con el discurso oficial de las ciencias naturales.

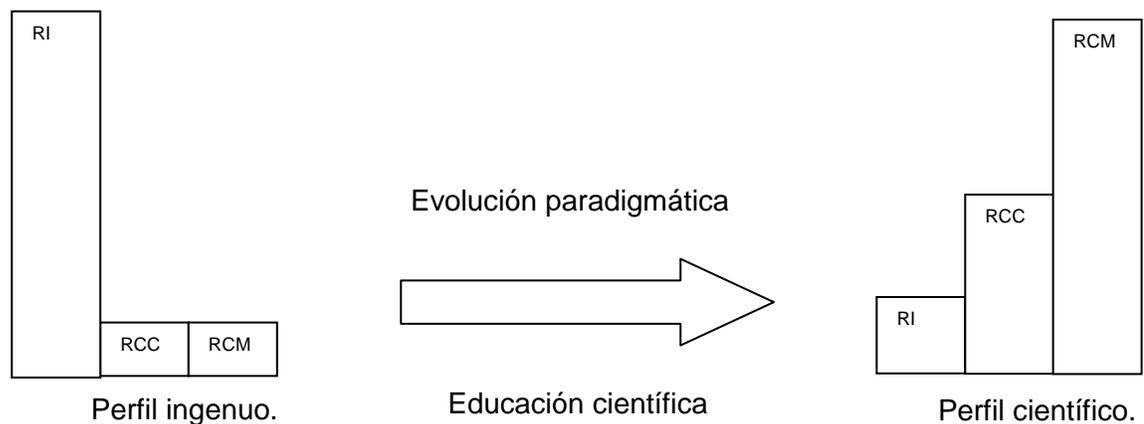


Figura 1-2. El aprendizaje de conceptos científicos como un proceso de evolución de perfiles paradigmáticos. Figura inspirada en Halloun (2004).

El aprendizaje o evolución de los perfiles paradigmáticos ingenuos a perfiles paradigmáticos científicos se sigue por medio de algún tipo proceso transformación de los constructos personales al estilo de los ciclos creativos de Kelly (1955), en donde los estudiantes son expuestos a experiencias que generen en ellos un desequilibrio cognitivo y en consecuencia se crea la necesidad de formulación de nuevos modelos personales exitosos. Para lograr esto es necesario que los estudiantes se sumerjan en una dialéctica empírico-racional, que permita acceder de forma explícita a los modelos asociados a sus perfiles paradigmáticos ingenuos y luego facilite su evolución hacia modelos cercanos al discurso oficial de la ciencia natural contemporánea. La dialéctica empírico-racional que sugiere Halloun (2004) para la enseñanza de una teoría científica posee los siguientes elementos:

- a. **Coherencia:** Negociación dialéctica intrínseca relacionada con la búsqueda de inconsistencias y contradicciones entre las ideas y concepciones empleadas en los modelos ya desarrollados.
- b. **Correspondencia:** negociación dialéctica extrínseca relacionada con la validación experimental de los conceptos y/o principios empleados en la formulación de los modelos, y la búsqueda de información experimental requerida para completar una postura científica ya desarrollada.

- c. **Conmensurabilidad:** negociación dialéctica extrínseca relacionada con la validación teórica de los conceptos y/o principios empleados en la construcción de los modelos, y la búsqueda de información requerida para completar una postura científica ya desarrollada.

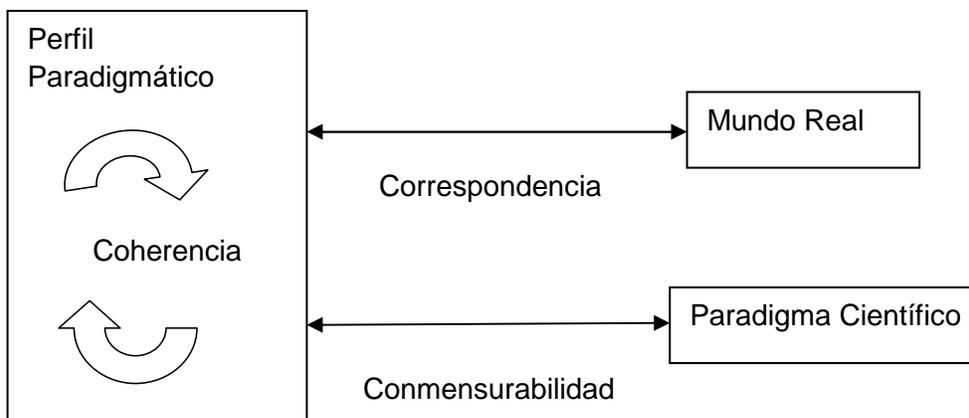


Figura 1-3. Dialéctica en la evolución de perfiles paradigmáticos. Figura modificada de Halloun (2004).

1.3.2 Criterios para seleccionar y organizar los contenidos

Siguiendo a Pozo & Gomez (2009), tenemos que el núcleo organizador de este enfoque didáctico son los modelos científicos. En este caso, un curso de genética mendeliana no se organizaría a partir de conceptos como gen, fenotipo, alelo, dominancia, homocigoto o heterocigoto; en cambio se organizaría alrededor de los modelos científicos de dicha teoría científica. Como ya se menciona en el apartado anterior, la intención fundamental en este enfoque didáctico es permitir que los estudiantes sustituyan, modifiquen o enriquezcan sus propios modelos acerca de ciertos dominios bien establecidos de una teoría científica, haciéndolos más conmensurables con el discurso científico oficial y de esta forma permitiendo la evolución de los perfiles paradigmáticos personales.

La concepción de modelo científico

La principal y más fundamental idea del enfoque epistemológico semántista consiste en el predicado que afirma que la mejor forma de presentar una teoría científica es por medio de un conjunto de modelos teóricos (Develaki, 2007; Lorenzano, 2002a; Giere 1988, 1999, 2006). En el enfoque semántista de las teorías científicas el concepto de modelo juega entonces un papel central, por lo tanto se hace necesario tratar de definirlo con la mayor claridad posible. Aunque existe una amplia diversidad en cuanto a las definiciones que se han dado al concepto modelo (Adúriz-Bravo, 2010; Chamizo 2010; Gallego, 2004; Martínez-Chavanz, 2010), se resumen a continuación las principales ideas de Ronald Giere y Philip Johnson-Laird, por considerarlas las más apropiadas para el ámbito de la enseñanza de las ciencias naturales.

Según Giere (2006), los modelos científicos pueden ser concebidos como entidades teóricas que funcionan como representaciones idealizadas del mundo real. Debido a que los sistemas naturales son demasiados complejos, con numerosos componentes e interrelaciones funcionales entre sus elementos, se hace necesario en consecuencia el empleo de modelos, los cuales son efectivamente reemplazos simplificados e idealizados de la realidad. Es importante resaltar, que debido a todo modelo es una construcción representacional humana, estos no deben ser entendidos como visiones objetivas de la realidad, sino como perspectivas particulares de la realidad (Giere, 2006). La idea anterior no pretende establecer un relativismo del tipo todo vale en el campo de las teorías científicas, solo intenta expresar humildemente que no existen modelos científicos que sean visiones absolutas y completamente objetivas de la realidad. Los modelos poseen un gran valor epistemológico al entenderlos como perspectivas particulares desde las cuales se observa a los sistemas pertenecientes al mundo real, y debido a que existe prácticamente una infinidad de perspectivas posibles, en consecuencia nunca se agotará la reflexión y el cuestionamiento sobre los sistemas reales. Dos grupos de investigadores diferentes pueden observar una misma parcela de la realidad y desarrollar modelos completamente diferentes, ya que observan al mismo sistema natural desde perspectivas completamente diferentes. Dichos modelos no deberían resultar contradictorios entre sí, por el contrario deberían resultar complementarios, enriqueciendo de esta forma el debate científico. Usualmente para explicar este perspectivismo Ronald Giere hace uso de la metáfora del mapa. Un mapa es una representación idealizada de la realidad. Cada mapa tiene la función primordial de

ubicarnos en el espacio y de esta forma guiar algunas intervenciones en la realidad como la construcción de una carretera, el desvío de un río o simplemente permitirnos trazar una trayectoria de cómo llegar a un punto B partiendo de un punto A. Existen diversos tipos de mapas, como por ejemplo mapas viales o mapas de riesgos geológicos, los cuales son creados desde diferentes perspectivas, pero cada uno de ellos en lugar de contradecirse entre sí, se complementan al permitirnos viajar en auto por una zona evitando los posibles riesgos geológicos. Los modelos científicos pueden ser considerados mapas que guían nuestras intervenciones en el mundo real.

Los modelos científicos surgen inicialmente como modelos mentales particulares en la mente de un investigador, y luego se distribuyen entre los miembros de una comunidad de especialistas científicos. El modelo mental inicial no es idéntico al modelo aceptado por una comunidad científica, ya que en su proceso de socialización, la comunidad científica lo modifica en virtud del debate acontecido en diversos espacios como revistas especializadas, conferencias, simposios y congresos. La comunidad científica como un todo actúa como un agente cognitivo que de forma consciente y deliberada construye modelos científicos con los objetivos de: i) tratar de encontrar una explicación al surgimiento de un patrón problemático percibido en el mundo real y ii) realizar intervenciones exitosas en el mundo real (Giere, 2006).

Giere (2006), nos ofrece una forma alternativa de entender la actividad científica como un proyecto ligado fundamentalmente a las prácticas de formulación, validación y uso de modelos. A partir de principios científicos fundamentales también conocidos como leyes empíricas se construye un modelo básico y muy general de una teoría científica, cuya función es caracterizar la relación entre los elementos de todos los posibles modelos de dicha teoría. Este modelo básico es un objeto muy abstracto, el cual por el momento no permite generar ningún tipo de hipótesis comprobable experimentalmente (ver figura 1-4).

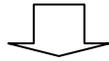
A partir de un modelo básico es posible construir otros modelos más especializados por medio de la adición de condiciones específicas y/o leyes particulares. Como veremos en el capítulo 2, la teoría de la genética clásica (no molecular) posee un modelo básico a partir del cual se construyen todos los demás modelos especializados, por medio de la adición de leyes particulares y condiciones específicas (ver figura 1-4). Por ejemplo, se construye el modelo de herencia de un solo gen con dominancia completa, al adicionar al modelo básico la condición de la existencia de un solo gen y las leyes particulares

relacionadas con las formulaciones específicas para las funciones **COMBINADOR** (función que especifica como los genes son heredados de los padres a los hijos, en la cual se aplica la conocida segunda ley de Mendel o ley de la segregación independiente) y la función **DETERMINADOR** (función que especifica cómo es la relación genotipo-fenotipo, en la cual se aplica la conocida primera ley de Mendel).

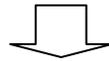
Principios fundamentales + condiciones específicas



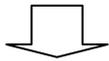
Modelo básico



Modelos especializados



Modelos representacionales



Hipótesis específicas + Generalizaciones



Modelos de datos



La realidad

Figura 1-4. Visión general de la concepción semantista de las teorías científicas según Giere (2006). Modificado de su original en Giere (2006).

El modelo de herencia de un solo gen con dominancia completa, se convierte en lo que Giere (2006) denomina modelo representacional luego de definir un organismo específico y un carácter fenotípico en particular cuya herencia es controlada por un gen que

manifiesta dominancia completa. Ahora es posible empleando este modelo representacional generar hipótesis y generalizaciones, por ejemplo es posible desarrollar la generalización sobre la relación 3:1 en la diversidad de los fenotipos que manifestaran los descendientes de un cruce entre dos organismos heterocigotos para una característica seleccionada. Por último, las hipótesis y generalizaciones producidas a partir de modelos representacionales pueden ser comprobadas al contrastarlas con modelos datos (información experimental organizada y depurada) provenientes de la realidad (ver figura 1-4).

Los modelos representaciones pueden ser usados con relativo éxito para describir cierta porción de la realidad, pero esto no debe confundirse con la idea de que exista *per se* una similitud objetiva entre los modelos y la realidad. Un modelo por el mismo no produce alguna similitud con la realidad, son los usuarios de los modelos (científicos, docentes y estudiantes) los que realizan el acto de representación, y son ellos los que argumentan si ciertos rasgos o elementos del modelo son similares a ciertos elementos o características observadas en los sistemas reales que tratan de representar, siendo tales argumentaciones reflejo de las diversas perspectivas particulares desde la cuales se observa la realidad. Como consecuencia de lo anterior, no podemos afirmar que un modelo sea verdadero o falso, lo único que podemos afirmar con relación a un modelo, es si efectivamente es una buena o mala representación de una parcela de la realidad atendiendo a los propósitos de su uso.

Si bien Ronald Giere nos habla sobre la importancia del concepto modelo en la epistemología semanticista, por otro lado no aclara cuales son los elementos constitutivos de los mismos. Un punto inicial para lograr dilucidar cuales son los elementos que constituye un modelo lo encontramos en Johnson-Laird (1980), para quien los modelos mentales están contruidos a partir de:

Un sistema físico: formas o comportamientos pertenecientes a la realidad percibida, los cuales necesitan ser explicados.

Una primera representación: consta de las entidades u objetos propios de una representación, así como también de las propiedades y relaciones causales asociadas a estos.

Una segunda representación: consta de un sistema de inferencia que permite realizar predicciones y un conjunto de criterios que permiten validar las explicaciones.

La ejecución: correspondencia entre el comportamiento del sistema representacional simulado en la mente y el comportamiento del sistema físico real que trata de explicar.

Johnson-Laird (1980) se enfoca en explicar cómo funciona el sentido común, y por eso su objeto de estudio son los modelos mentales. Según Johnson-laird, todo modelo mental nace de la necesidad por explicar un fenómeno percibido en el mundo real, para lo cual se construyen dos representaciones, una primera representación donde se define la ontología del sistema de interés y la otra representación define un sistema causal que permite realizar predicciones y validar resultados. El modelo mental es empleado para la realización de una simulación mental, la cual produce predicciones que puede o no ajustarse al comportamiento del sistema físico observado en el mundo real. Como podemos ver, las conceptualizaciones tanto de Ronald Giere como las de Philip Johnson-Laird, la primera desarrollada para entender los modelos científicos y la segunda para comprender los modelos mentales, no se contradicen entre sí, todo lo contrario se complementan. Los modelos científicos parecen ser luego refinamientos muy elaborados de modelos mentales, y en consecuencia un modelo científico debe contener los elementos constitutivos de los modelos mentales.

Complementado el punto de vista de Johnson-Laird (1980), los investigadores Juan Ignacio Pozo & Miguel Ángel Gómez argumentan que los modelos personales empleados por los estudiantes para explicar un fenómeno percibido en el mundo real, están configurados alrededor de principios epistemológicos, ontológicos y conceptuales (Pozo & Gómez, 2009). Desde la perspectiva de Pozo & Gomez (2009) la primera representación de un modelo mental según Johnson-Laird (1980), no solo debe referirse a la ontología, también debe hacer referencia a los elementos epistemológicos y conceptuales del modelo.

La concepción de las teorías científicas como conjuntos de modelos

Según el enfoque epistemológico semántocista una teoría científica es concebida como un conjunto de modelos, todos los cuales comparten entre si el cumplimiento de unos principios fundamentales asociados a la teoría científica a la cual pertenecen (Giere 1999). A su vez, los modelos de una misma teoría científica pueden diferenciarse entre

sí, configurando clases particulares o familias dependiendo de la aplicación o no de principios particulares. Por ejemplo para todos los modelos de la teoría de la mecánica newtoniana es verdad el principio fundamental de $F=ma$, pero solo a los modelos del grupo de los péndulos se les adiciona el principio de restauración lineal $F=-k(x)$, y por esto se distinguen de la familia de los modelos de movimiento rectilíneo a los cuales se les aplica el principio de fuerza constante $F=k$ (Gieryn 1999). La relación entre las familias de modelos dentro de una misma teoría científica se puede apreciar fácilmente al construir una gráfica de red teórica, en la cual partiendo de un modelo básico, y por un proceso de adición de principios particulares se van concretando modelos especializados y representacionales (Lorenzano, 2002a).

El modelo científico en el ámbito de lo pedagógico

En el ámbito de lo pedagógico un modelo científico es un sistema representacional, el cual es definido y situado dentro en una teoría científica cuando es posible desarrollar de forma precisa cada una de las dimensiones del esquema o plantilla del modelo desarrollada por Halloun (2004). Las dimensiones de esta plantilla son: dominio, organización, composición y estructura. Cada dimensión de este esquema posee funciones específicas y detalladas. Las dos primeras dimensiones dominio y organización, se encargan de delimitar el alcance explicativo del modelo (definiendo el conjunto de referentes en el mundo real que manifiestan el patrón investigado y la relación del modelo con otros modelos dentro de una misma teoría científica), y las dos últimas dimensiones composición y estructura, se relacionan con la ontología y las funciones del modelo. La dimensión composición y estructura en la obra de Halloun (2004) se relacionan respectivamente con la primera y segunda representación de un modelo mental según el trabajo de Johnson-Laird (1980). A continuación se realiza una explicación de cada uno de las cuatro dimensiones del esquema de modelo según Halloun (2004).

- **Dimensión Dominio.**

El dominio de un modelo es el conjunto de sistemas naturales para los cuales el modelo es una explicación al surgimiento de un patrón específico. Cualquier sistema físico que manifieste el patrón estudiado se le conoce como un **referente del modelo**, y el conjunto total de sistemas físicos que manifiestan el patrón investigado por el modelo se conoce como **clase referente**.

- **Dimensión Organización.**

La organización de un modelo es la relación del modelo trabajado con otros modelos dentro de una misma teoría científica. Desde el enfoque epistemológico semanticista, la organización de los modelos de una teoría científica viene dada por la red teoría de dicha teoría.

- **Dimensión Composición:**

La composición define la ontología de un modelo científico, se enuncia cuales son los individuos del sistema teórico y los atributos empleados para caracterizarlos. En la propuesta de Halloun (2004), la dimensión composición está constituida por los individuos del sistema, los cuales pueden ser objetos y agentes, y por los atributos de estos los cuales son los descriptores. Aquellas entidades que están dentro del sistema de interés se les denominan objetos, elementos estos que se encuentran en todos los referentes del modelo y cuyos comportamientos definen la dinámica del sistema estudiado. Por otro lado, los agentes son elementos externos al sistema, que se consideran importantes para explicar el patrón investigado ya que pueden influenciarlo fuertemente, pero sus comportamientos no definen la dinámica del sistema.

Los atributos se clasifican en descriptores de objetos y descriptores de interacción. Un descriptor de objeto es una propiedad (concepto) que representa una característica de un objeto dentro del sistema estudiado y que es relevante para el surgimiento del patrón investigado. Este tipo de descriptor se sub-divide a su vez en:

Descriptor intrínseco: representa una propiedad que no es afectada por el comportamiento del objeto ni tampoco por su interacción con otros objetos dentro del sistema.

Descriptores de estado: representa una propiedad que es afectada por el comportamiento del objeto o su interacción con otros objetos.

Por último, un descriptor de interacción es aquel que describe de forma apropiada la interacción entre dos o más objetos del modelo con el fin producir parte o todo el patrón investigado.

- **Dimensión Estructura:**

La estructura de un modelo está conformada por todas las relaciones o funciones existentes entre los descriptores que representan las propiedades de los objetos y/o agentes del modelo. La estructura de un modelo es concretada a partir de la definición de cuatro facetas, las cuales son topología, estado, interacción y causa-efecto.

- **Faceta topológica:** Esta faceta hace referencia a la configuración espacial de los objetos y los agentes.
- **Faceta de estado:** En esta faceta asocia el descriptor de estado a una ley de estado para determinar si el estado de un objeto en particular variara o no al transcurrir el tiempo y de esta forma se realizara una descripción del patrón.
- **Faceta de interacción:** En esta faceta los descriptores de interacción son expresados por leyes de interacción. Una ley de interacción expresa un descriptor de interacción en términos de descriptores de objetos.
- **Faceta causa-efecto:** En esta faceta se definen de forma explícita las leyes causales que se emplearan para realizar una explicación del patrón investigado. Se concretan las leyes causales para un referente del modelo en particular, empleando a su vez las leyes de interacción requeridas con el fin de concretar una explicación causa-efecto para el surgimiento del patrón investigado.

1.3.3 Actividades de enseñanza y evaluación

Las actividades de enseñanza-aprendizaje están enmarcadas en la concepción de ciclo de aprendizaje o ciclo de modelamiento según Halloun (2004). A continuación se revisa este tema a profundidad.

La didáctica de construcción de modelos por ciclos de aprendizaje

Halloun (2004) elabora una propuesta didáctica basándose en la importancia cognitiva, pedagógica y epistemológica del concepto de modelo científico. Para este autor una adecuada didáctica de las ciencias naturales estará relacionada con el diseño de actividades de enseñanza-aprendizaje que promuevan en los estudiantes la evolución de sus perfiles paradigmáticos personales desde perfiles ingenuos a perfiles científicos. Siguiendo la concepción semántica de las teorías científicas, Halloun (2004) propone una estrategia didáctica para la enseñanza de cualquier teoría científica, la cual consiste en dividir la práctica docente en unidades, cada una de las cuales se corresponderá a la

enseñanza-aprendizaje de un modelo especializado de la teoría científica objeto de trabajo en el currículo. Cada una de estas unidades se concibe como un ciclo de aprendizaje, los cuales son básicamente didácticas constructivistas mediadas por el profesor, en donde los estudiantes son sumergidos en un ambiente de aprendizaje que los motiva a formular, validar y usar un modelo científico especializado. Para la adecuada enseñanza de una teoría científica se ejecutan tantos ciclos de aprendizaje como modelos especializados existen en la red teórica de la teoría científica en cuestión. Como veremos en el capítulo 3, el docente de acuerdo a los objetivos del currículo decidirá sobre cuales modelos especializados priorizara en la enseñanza de una teoría científica en particular y en consecuencia también definirá el número de ciclos de aprendizaje a realizar. A continuación se describe cada uno de las fases y etapas involucradas en un ciclo de aprendizaje típico según Halloun (2004), y en el capítulo 3 se abordara las actividades didácticas de los ciclos de aprendizajes según los modelos de la teoría de la genética clásica (no molecular).

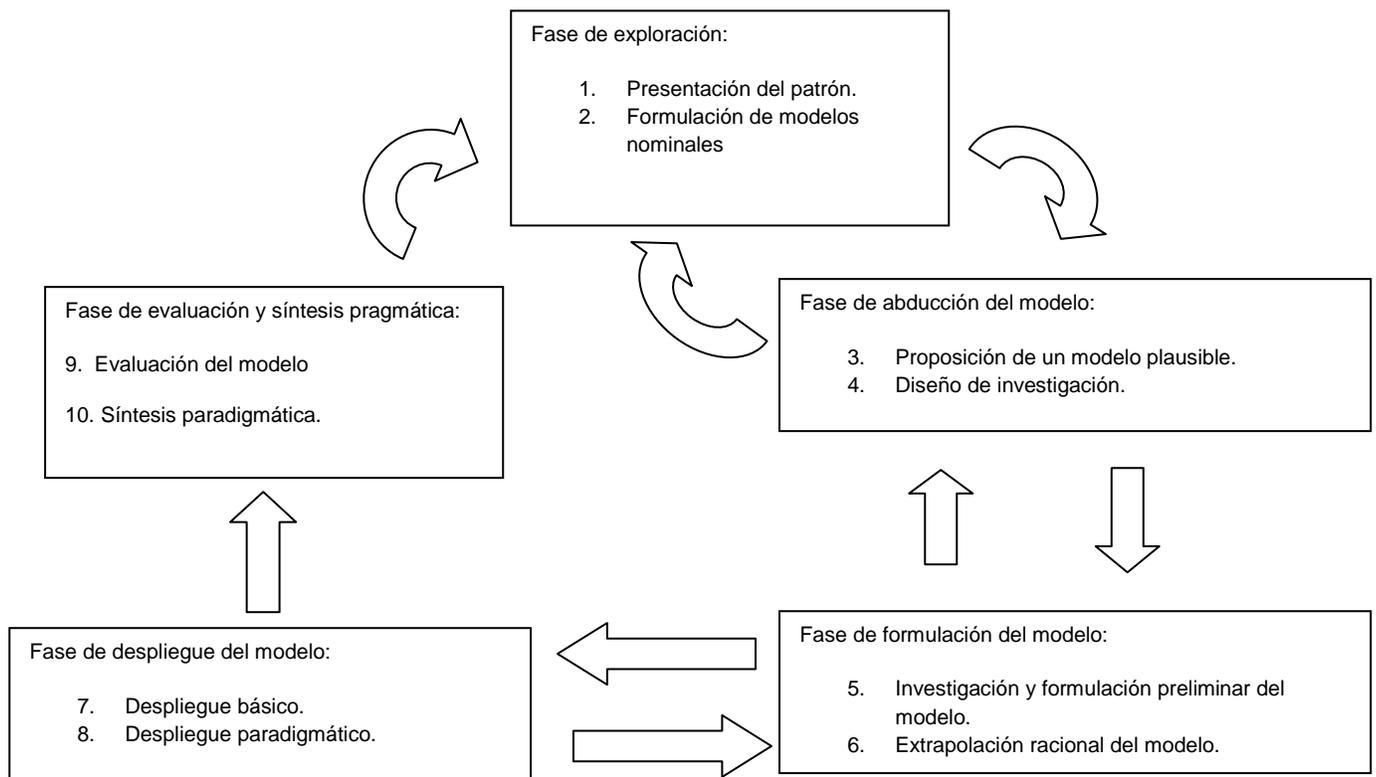


Figura 1-5. Ciclo de aprendizaje por modelamiento. Modificado de Halloun (2004).

El ciclo de aprendizaje desarrollado por Halloun (2004) consiste de 5 fases, cada una de las cuales posee varias etapas. Las cinco fases son exploración, abducción del modelo, formulación del modelo, despliegue del modelo y síntesis paradigmática (Figura 1-5).

▪ **Fase de Exploración:**

Como su mismo nombre lo dice en esta fase los estudiantes exploran, más específicamente exploran las características de un nuevo patrón presentado por el profesor, el cual se corresponderá con un nuevo modelo especializado que será desarrollado por los estudiantes.

• **Etapa 1: Presentación del patrón.**

Esta es la primera etapa de la fase de exploración y de todo el ciclo de aprendizaje, la cual tiene como objetivo presentar un nuevo patrón vinculado al modelo que se desarrollara en el ciclo de aprendizaje. Se intenta provocar un desequilibrio cognitivo en los estudiantes, y en consecuencia que ellos tomen conciencia de lo insuficiente o inadecuado de sus ideas previas (modelos ingenuos) para explicar el surgimiento del patrón presentado por el profesor. En esta etapa el docente juega un rol de moderador.

• **Etapa 2: Formulación de modelos nominales.**

En este momento los estudiantes organizados en grupos de trabajo formulan un conjunto de hipótesis, las cuales intenten dar cuenta de las dimensiones composición y estructura del modelo a desarrollar. Inicialmente los estudiantes deben indicar los posibles objetos del modelo y las propiedades asociadas a cada uno de estos objetos. Los estudiantes relacionan los conceptos con descriptores apropiados, los cuales son comúnmente referenciados como variables independientes y dependientes. Por último se formulan hipótesis sobre cuales variables independientes afectan a una o varias variables dependientes (hipótesis nominales). Si todo lo anterior es logrado se obtiene un modelo nominal. En esta etapa el docente juega un rol de moderador, rol importante para negociar sin presiones las ideas previas de viabilidad limitada y modelos nominales desarrollados por los estudiantes.

▪ **Fase de Abducción del modelo**

Los modelos propuestos en la fase anterior son estudiados detalladamente con ayuda del docente, el cual juega en este momento un rol árbitro. Al final de esta fase solo quedara

un modelo, el cual será desarrollado en profundidad. Experimentos y/o observaciones apropiadas son diseñados y realizados con el objetivo de validar el modelo.

- **Etapa 3: Proposición de un modelo plausible**

Se dedica tiempo a ayudar a los estudiantes en el refinamiento de sus modelos nominales y en lograr un consenso sobre un solo modelo plausible. Las hipótesis nominales son gradualmente convertidas en hipótesis ordinales (hipótesis que especifican como las variables independientes afectan a las variables dependientes), y luego si es posible se convierten las hipótesis ordinales en hipótesis matemáticas precisas.

En el caso de ser necesario el profesor puede ayudar a refinar las ideas propuestas, además puede intervenir de forma directa poniendo a disposición de los estudiantes un conjunto de hipótesis viables y solicitando que evalúen sus meritos explicativos. El docente también puede poner a disposición modelos incompletos y luego guiar a los estudiantes hacia una transformación cognitiva por medio de sucesivos refinamientos del mismo. El rol del docente en esta etapa por lo tanto es de árbitro.

- **Etapa 4: Diseño de investigación.**

En esta etapa los estudiantes preparan, exponen y negocian diseños de investigación para indagar en el mundo real empírico, y de esta formar obtener información que les permita cuestionar la viabilidad de los modelos formulados hasta el momento. El docente juega un rol de árbitro, retro-alimentando cada uno de los diseños experimentales.

Es importante tener en cuenta que un típico diseño de investigación incluye:

1. Una lista de equipamiento disponible en el colegio.
2. Manuales para el uso del equipamiento requerido.
3. Un protocolo para la realización de los experimentos.
4. Un protocolo para el análisis de resultados.

- **Fase de Formulación del modelo.**

En esta fase los estudiantes realizan sus investigaciones y dependiendo de sus resultados validan, modifican o rechazan los modelos formulados hasta el momento.

- **Etapa 5. Investigación y formulación preliminar del modelo:**

Los estudiantes realizan sus indagaciones en el mundo real de acuerdo al diseño de las investigaciones planteadas y refinan sus modelos plausibles según los resultados. Luego de terminados los experimentos cada grupo elabora un reporte con las observaciones realizadas y demás temas propios de cada diseño investigativo. Al finalizar esta etapa los estudiantes tendrán la oportunidad de refinar los modelos formulados en la etapa de abducción, y de esta forma obtendrán un modelo preliminar, el cual es viable, pero incompleto aun en su formulación. En esta etapa como en las dos anteriores el docente juega un rol arbitro.

- **Etapa 6. Extrapolación racional del modelo:**

En esta etapa se pretende que con ayuda del profesor los estudiantes completen la formulación de sus modelos preliminares por medio de un análisis racional de los mismos. Puede que los estudiante hasta la etapa anterior hubieran desarrollado buenas propuesta de modelos viables, pero es necesario que dichos modelos sean revisados exhaustivamente para que las cuatro dimensiones del esquema del modelo (domino, composición, estructura y organización) sean completamente concretadas. El profesor cuestiona los modelos propuestos en lo concerniente a su coherencia y correspondencia con el mundo real, y de esta forma permite que los estudiantes puedan completar la formulación. Con ayuda del profesor se intenta inferir leyes generales a partir de las observaciones empíricas ya realizadas. El docente en esta etapa juega un rol de árbitro y si es necesario realiza una intervención directa.

- **Fase de despliegue del modelo.**

Esta fase puede ser comprendida como una fase de consolidación del modelo formulado. El modelo desarrollado hasta el momento es utilizado en esta fase para describir, explicar, predecir y controlar el comportamiento de una variedad de sistemas naturales en el mundo real pertenecientes a su clase referente. Por medio del despliegue se amplía el dominio y la función del modelo, al mismo tiempo que permite concretar de forma más precisa el lugar del modelo en la teoría que se está aprendiendo.

- **Etapa 7. Despliegue elemental.**

En esta etapa el profesor propone actividades para que los estudiantes apliquen un aspecto en particular del modelo formulado, para así lograr una asociación con nuevos referentes y desligar al modelo de los referentes trabajados en su formulación. El docente en esta etapa juega un rol de árbitro y si es necesario realiza una intervención directa.

- **Etapa 8. Despliegue paradigmático.**

Los estudiantes son involucrados en el estudio de casos reales o ficticios, los cuales requieren el uso comprensivo de la composición y la estructura del modelo formulado. Los casos de estudio permiten a los estudiantes la oportunidad de completar la construcción de su modelo, para luego consolidar dicho conocimiento. El docente en esta etapa juega un rol de árbitro y si es necesario realiza una intervención directa.

- **Fase de evaluación y síntesis paradigmática.**

En esta fase los estudiantes evalúan de forma adecuada el modelo formulado, analizando su coherencia interna y correspondencia con el mundo real. Finalmente se elabora una síntesis de todo el proceso que ayuda al desarrollo de las habilidades metacognitivas.

- **Etapa 9. Evaluación del modelo:** En esta etapa se evalúa el modelo en el ámbito racional y empírico. El docente en esta etapa juega un rol de árbitro y si es necesario realiza una intervención directa.

- **Evaluación racional:** En este punto se evalúa la coherencia interna del modelo, esto significa analizar si los objetos y los descriptores pertenecen efectivamente a la composición del modelo y si no existen contradicciones entre ellos, además se analiza si las leyes formuladas hacen parte de la dimensión estructura. También se evalúa la conmensurabilidad del modelo formulado con la teoría científica a la cual pertenece.

- **Evaluación empírica:** Esta evaluación se dedica a analizar la relación entre el modelo y el patrón que trata de explicar dicho modelo. En particular se evalúa si los referentes en verdad están en el dominio del modelo, además de estudiar si en realidad todos los elementos en la composición representan todos los aspectos primarios de los presuntos referentes del modelo.

- **Etapa 10. Síntesis paradigmática:** Durante cada una de las etapas del ciclo de aprendizaje se les ha solicitado a cada estudiante que lleven un registro de las formulaciones teóricas con relación al modelo en construcción, así como también

de las metodologías empleadas en la elaboración de las mismas. En esta etapa se les pedirá a los estudiantes que elaboren un solo reporte del grupo de trabajo a partir de los registros personales, y los registros grupales son luego discutidos y analizados en una actividad de toda la clase. A partir de los registros grupales el profesor elabora una síntesis la cual no debe dejar por fuera ningún elemento teórico importante del modelo formulado y debe ser escrita empleando los términos científicos correctos. La síntesis paradigmática termina luego de la discusión grupal con un ejercicio de presentación de un nuevo patrón que mostrara las limitaciones explicativas del modelo ya formulado y este se constituirá en el primer momento de un nuevo ciclo de aprendizaje. El docente aquí juega entonces un rol de árbitro, para finalizar con una intervención directa.

1.3.4 Dificultades de aprendizaje y enseñanza previsibles

Según Pozo y Gómez (2009), este enfoque pedagógico posee las siguientes dificultades:

- **Puede inducir en los estudiantes un escepticismo con respecto a toda forma de conocimiento:** Es importante que los estudiantes comprendan que una teoría científica está constituida por un conjunto de modelos, cada uno de los cuales posee un dominio de aplicación concreto. Si esto se logra, se evitaría que los estudiantes cayeran en un relativismo científico sin sentido, el cual profesaría que cualquier modelo científico tendría valor antes de validar su dominio.
- **Dificultad en la transferencia de los modelos aprendidos a nuevos dominios:** Es necesario evitar que los estudiante creen que los modelos desarrollados en cada uno de los ciclos de aprendizaje solo se aplican únicamente a los sistemas naturales explícitamente trabajados en el aula. Es necesario que se trabaje fuertemente en la definición precisa de la dimensión dominio de cada uno de los modelos de la teoría, para así poder aplicar los modelos a diversos sistemas naturales, los cuales hagan para de sus clases referentes.
- **Se subestima la importancia de los contenidos procedimentales y actitudinales:** Cada modelo científico es un sistema conceptual complejo, y

cuando se trabaja en su desarrollo usualmente se pueden olvidar otro tipo de conocimientos igualmente necesarios como los contenidos procedimentales (de argumentación, contrastación empírica, etc.) y actitudinales (relativismo, rigor, motivación, etc.). Sin embargo, como podemos observar en la propuesta de Halloun (2004), los contenidos procedimentales y actitudinales son tomados en cuenta como parte importante de cada ciclo de aprendizaje.

2.LA VISIÓN SEMANTICISTA DE LA TEORÍA GENÉTICA CLÁSICA (NO MOLECULAR)

En términos generales la teoría de la genética clásica (no molecular) se fundamenta en las hipótesis sobre los mecanismos de la herencia biológica inicialmente propuestas por Gregor Mendel y desarrollada posteriormente en detalle por Morgan y colaboradores (Sturtevant, 1965). Aunque Gregor Mendel en sus trabajos pioneros de la década de 1860 no pretendía formular una teoría completa sobre la herencia biológica (su interés se centraba en el desarrollo de variedades nuevas de plantas por medio de cruce dirigidos de variedades ya existentes), el redescubrimiento de sus ideas varias décadas después motivaron a los investigadores posteriores al desarrollo de una teoría completa de la herencia biológica (Burian, 2013). Es así como hoy lo que consideramos la teoría genética clásica (no molecular) es un desarrollo intelectual de comienzos del siglo XX, la cual involucra tanto las ideas clásicas de Mendel como también los desarrollos posteriores de Vries, Correns, Bateson, Morgan y colaboradores, etc. (Burian, 2013). En pocas palabras podemos mencionar que las hipótesis más fundamentales de la teoría genética clásica (no molecular) están relacionadas con la existencia de unos elementos teóricos conocidos como factores alelos, los cuales son heredados de los padres a su progenie y determinan la apariencia manifiesta de los organismos (Lorenzano, 2002b; Sturtevant, 1965; Burian, 2013).

Como se menciona en el capítulo anterior, estudios epistemológicos contemporáneos conciben a las teorías científicas como conjuntos de modelos (Giere 1988, 1999, 2006). Empleando este enfoque epistemológico Balzer & Lorenzano (1997), Lorenzano (1998) y Lorenzano, (2002b), reconstruyen la teoría de la genética clásica (no molecular) como un conjunto de modelos; todos los cuales comparten una estructura común (en la cual existen los mismos objetos, descriptores y funciones de interacción) y la aplicación de la ley fundamental de la genética o ley de la concordancia. A su vez, los diversos modelos de la teoría genética clásica (no molecular) se diferencian entre sí debido a las formas

particulares que pueden tomar las funciones de interacción **DETERMINADOR** y **COMBINADOR**. Como podemos ver en la figura 2-1, las dos formas distintas que puede tomar la función **COMBINADOR** (función que determina la manera específica de heredar los factores alelos) generan dos familias de modelos dentro de la teoría, la familia de modelos en los cuales los factores alelos se heredan de forma equi-probable (modelos en los cuales es verdad la aplicación de las bien conocidas leyes de la herencia de Mendel) y aquellos modelos en donde los factores se heredan de forma no equi-probable (modelos de ligamiento y mapeo de genes o modelos de Morgan).

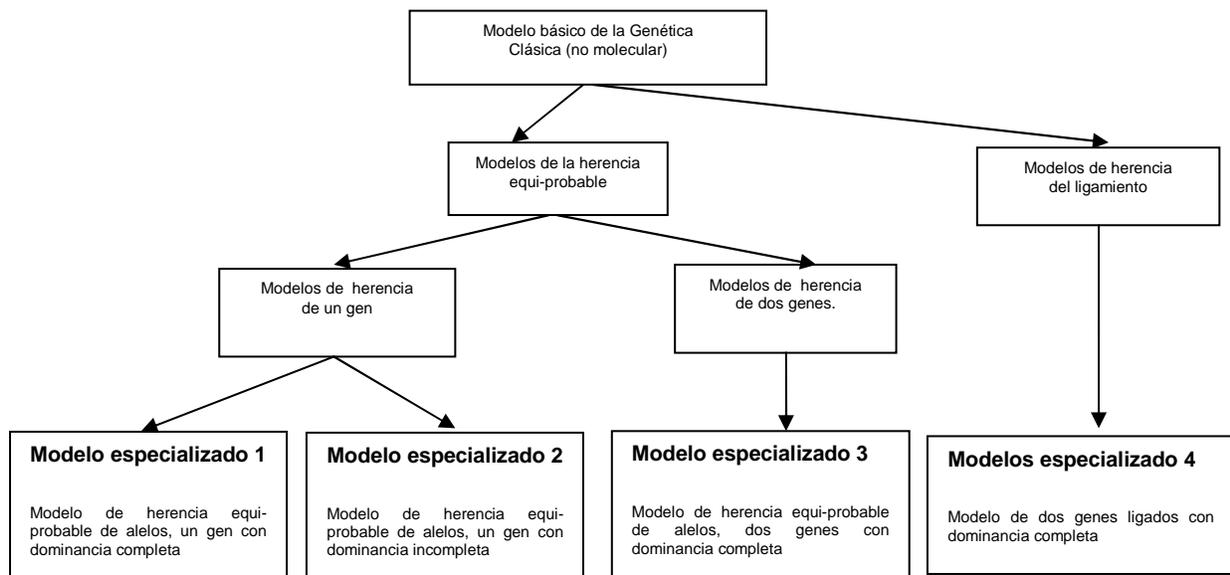


Figura 2-1. Estructura de la red teórica de la genética clásica (no molecular). Figura modificada de Balzer & Lorenzano (1997), Lorenzano (1998) y Lorenzano, (2002b).

A continuación se describen dos modelos de la teoría genética clásica (no molecular), los cuales son el modelo básico y el modelo especializado 1. Para cada uno de estos modelos se describen los componentes, descriptores y funciones de interacción según los trabajos de Balzer & Lorenzano (1997), Lorenzano, (1998), Lorenzano, (2002b). Para organizar la información en la descripción se emplea el esquema de modelo mencionado en el capítulo anterior, especificando cada una de las dimensiones de modelo. En el anexo A se describen cada uno de los otros tres modelos especializados de la teoría de la genética clásica (no molecular) no trabajados en este capítulo.

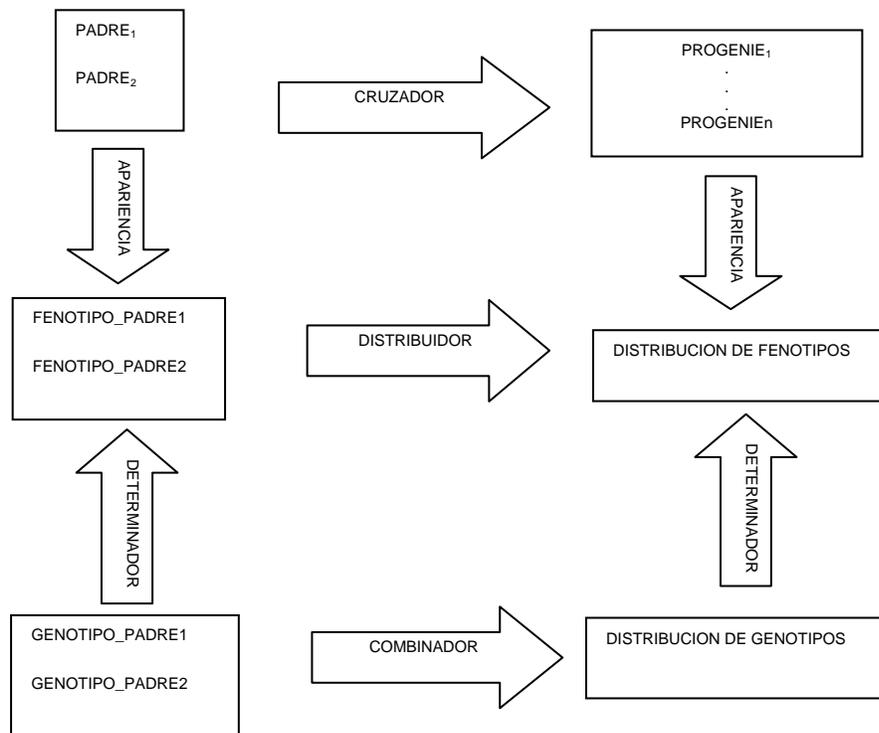


Figura 2-2. Estructura del modelo fundamental de la genética clásica (no molecular).
Figura modificada de su original en Balzer & Dawe (1997).

2.1 EL MODELO BASICO DE LA GENÉTICA CLÁSICA

A continuación se describen cada una de las cuatro dimensiones del esquema del modelo básico de la teoría genética clásica (no molecular).

2.1.1 Dimensión dominio

Este modelo tiene la pretensión de ser aplicado a todos los sistemas biológicos (especies) que se reproduzcan sexualmente. Es un modelo aun muy general para generar hipótesis comprobables experimentalmente; no ofrece explicaciones del fenotipo en termino causales materiales, pero es impórtate porque gracias a este modelo se puede definir la ley fundamental de la genética también conocida como **ley de la concordancia**.

2.1.2 Dimensión organización

Desde el enfoque semánticista las teorías científicas son concebidas como conjuntos de modelos, los cuales se organizan de forma jerárquica. Los modelos más fundamentales y menos específicos están en los niveles jerárquicos más altos de la red teórica, mientras que los modelos más complejos y específicos están en los niveles jerárquicos más bajos. En la figura 2-1 se muestra la red teórica de la teoría genética clásica (no molecular), la cual muestra la naturaleza jerárquica de la organización de los diversos modelos dentro de esta teoría científica según los trabajos de Balzer & Lorenzano, (1997); Lorenzano, (1998); Lorenzano, (2002b).

2.1.3 Dimensión composición

- **Contenido de agentes:**

Generalmente los agentes son seres humanos que de forma directa manipulan organismos permitiendo que un cruce específico se realice.

- **Contenido de objetos:**

- **Individuos genéticos:** Existe un conjunto de individuos genéticos, que poseen la posibilidad de cruzamiento y de producir descendencia.
- **Carácter fenotípico:** Existe un conjunto de características o apariencias que distinguen a los individuos genéticos, donde cada característica puede manifestar varias formas o rasgos alternativos.
- **Rasgo Fenotípico:** Formas o rasgos alternativos de un componente del fenotipo.
- **Gen:** Cada genotipo de un individuo genético consiste de una lista corta de la forma G_1, \dots, G_s de conjuntos de factores aletos, donde cada componente está compuesto por dos alelos.
- **Factor Alelo:** Son aquellos elementos teóricos que “actúan conjuntamente” en causar, total o parcialmente la aparición un rasgo particular en el fenotipo.

- **Descriptores de objetos:**

- **Tipo de Individuo genético:** Dentro del conjunto de individuos genéticos se distinguen los individuos paternos ($PADRE_1$ y $PADRE_2$), y sus descendientes ($PROGENIE_1, \dots, PROGENIE_n$, en donde n es el número de individuos genéticos distintos que ocurren en la descendencia).
 - **Dominancia del rasgo fenotípico:** hace referencia al carácter dominante o no dominante de fenotipo en particular, o en otras palabras si una apariencia en particular está relacionada con la presencia de un alelo dominante o surge cuando están presentes dos alelos recesivos.
 - **Dominancia del factor alelo:** hace referencia al carácter dominante o recesivo de un alelo en particular.
- **Descriptores de estado:**
- **Distribución de fenotipos:** Las distribuciones de los fenotipos son las frecuencias relativas de cada uno de los fenotipos en una población de individuos genéticos (ya sean padres o progenie).
 - **Distribución de genotipos:** La distribución de genotipos son las probabilidades de aparición de los diferentes genotipos posibles en una población de individuos genéticos (ya sean padres o progenie).
- **Descriptores de interacción:**
- **APARIENCIA:** Función que le asigna a cada individuo su fenotipo.
 - **CRUZADOR:** Función que les asigna a dos padres su descendencia.
 - **DISTRIBUIDOR:** Función que asigna una distribución de fenotipos a la descendencia partiendo de los fenotipos de los padres.
 - **COMBINADOR:** Función que asigna una distribución de genotipos a la descendencia partiendo de los genotipos de los padres.
 - **DETERMINADOR:** Es una función que asigna fenotipos a los genotipos.

2.1.4 Dimensión estructura

- **Faceta topológica:** Se define un sistema de referencia temporal para ubicar a los organismos en las representaciones gráficas de los modelos de la teoría genética.

- **Faceta estado:** Para los modelos especializados de herencia equi-probable de factores alelos (ver figura 2-1), se emplean las bien conocidas leyes de Mendel, a saber: Ley 1^a o ley de la uniformidad, Ley 2^a o de Ley de la segregación independiente, y Ley 3^a o de la recombinación independiente de los factores.
- **Faceta interacción:** Los descriptores de interacción son expresados con leyes de interacción precisas. Aquí se particulariza las leyes de interacción para el referente del modelo que se esté trabajando, las cuales para los modelos de la genética clásica son las funciones **DETERMINADOR** y **COMBINADOR**.
- **Faceta causa-efecto:** se emplea en esta faceta la ley fundamental de la genética.

La ley fundamental de la genética o ley de la concordancia: Para todo par parental dado que se cruce y produzca descendencia, las distribuciones genéticas de genotipos producidas por la función **COMBINADOR** y la distribución de fenotipos dadas por la función **DISTRIBUIDOR** en la descendencia de ese par coincidirán idealmente a través de la función **DETERMINADOR**, las unas con las otras.

2.2 EL MODELO ESPECIALIZADO 1.

A continuación se describe el modelo especializado 1: herencia equi-probable de factores alelos, un gen con dominancia completa.

2.2.1 Dimensión dominio

Este modelo trata de explicar la herencia de dos rasgos fenotípicos determinados por un solo gen con dos posibles alelos, en organismos cuya reproducción es sexual.

2.2.2 Dimensión organización

La relación de este modelo con otros modelos dentro de la teoría de la genética clásica (no molecular), se puede observar en la red teórica mostrada en la figura 2.1.

2.2.3 Dimensión composición

- **Objetos:** Individuos genéticos (progenitores y progenie), carácter fenotípico, rasgo fenotípico, gen y factor alelo.

Con relación a los objetos el presente modelo trabaja con las siguientes restricciones:

- a. Un solo gen, el cual manifiesta poseer 2 alelos.
 - b. Este gen determina que rasgos manifestara un solo carácter fenotípico.
- **Descriptores de los objetos:** Tipo de individuo genético, dominancia del rasgo fenotípico, dominancia del factor alelo.
 - **Descriptores de estado:** Distribución de fenotipos y distribución de genotipos.
 - **Descriptores de interacción:** Funciones **APARIENCIA**, **CRUZADOR**, **DISTRIBUIDOR**, **COMBINADOR** y **DETERMINADOR**.

2.2.4 Dimensión estructura

- **Faceta Topológica.**

Se emplea un sistema de referencia temporal, el eje horizontal o el eje vertical en una representación grafica puede ser empleado para representar apropiadamente el tiempo. Esto significa que en términos prácticos los progenitores se ubicaran cercanos en el espacio y la progenie se ubicara cercanos entre sí pero alejados de sus progenitores.

- **Faceta Estado.**

Para definir el estado del sistema modelo empleamos la primera ley de Mendel:

Si dos organismos homocigotos para una un gen relacionado a una característica fenotípica en particular se cruzan, su descendencia en un 100% será similar en apariencia para dicha característica del fenotipo.

Dos leyes similares que complementan a la anterior son:

- a. Si dos organismos heterocigotos para un gen relacionado a una característica fenotípica en particular se cruzan, su descendencia en un 75% será similar en apariencia a sus padres y un 25% manifestaran una apariencia diferente a la de sus padres.
- b. Si un organismo heterocigoto se cruza con un organismo homocigoto recesivo para un gen relacionado a una característica fenotípica en particular se cruzan, su descendencia en un 50% será similar en apariencia a uno de sus padres y el otro 50% será similar en apariencia al otro padre.

- **Faceta Interacción.**

Para explicar la interacción entre los alelos de los padres y los alelos de la progenie se emplea la segunda ley de Mendel:

Los dos alelos de un gen se distribuyen separadamente entre los gametos, de tal forma que la mitad de los gametos son portadores de un alelo y la otra mitad porta el otro alelo.

Empleando esta ley podemos concretar la forma precisa de la función **COMBINADOR**. Los genotipos investigados solo poseen un componente o gen de la forma:

$$\gamma_1 = \langle a_1, a_2 \rangle$$

$$\gamma_2 = \langle a_3, a_4 \rangle$$

Cada individuo genético (γ_1, γ_2) posee dos alelos relacionados con un solo gen a , a_1 y a_2 son los alelos del individuo genético γ_1 , a_3 y a_4 son los alelos del individuo genético γ_2 . Cada uno de los elementos a_1, a_2, a_3, a_4 , pueden tomar la forma de alguno de dos factores alelos f_1, f_2 del gen trabajado. Entonces, la función **COMBINADOR** toma la forma:

$$\mathbf{COMB} (\langle a_1, a_2 \rangle, \langle a_3, a_4 \rangle) = (\frac{1}{2}a_1 + \frac{1}{2}a_2) \times (\frac{1}{2}a_3 + \frac{1}{2}a_4) = \frac{1}{4}a_1a_3 + \frac{1}{4}a_1a_4 + \frac{1}{4}a_2a_3 + \frac{1}{4}a_2a_4$$

Donde cada término en el resultado manifiesta los posibles genotipos de cada uno de los 4 descendientes, y el coeficiente es la frecuencia relativa de dicho genotipo.

Para explicar la interacción entre los alelos de los padres y los fenotipos empleamos la siguiente ley de interacción:

Si un organismo posee un alelo dominante manifestara un rasgo fenotípico dominante, solo se manifestara un rasgo fenotípico recesivo cuando el organismo posea dos alelos recesivos.

Empleando esta ley podemos concretar la forma precisa de la función **DETERMINADOR**. Son dos los posibles fenotipos que puede manifestar la población de individuos genéticos (fenotipos señalados con P_1 y P_2). Existen dos factores alelos del gen trabajado, alelos señalados con f_1 , f_2 , siendo f_2 un factor alelo dominante sobre f_1 . En este caso la función determinador **DETERMINADOR** toma la siguiente forma:

$$\text{DET}(f_2, f_2) = P_1$$

$$\text{DET}(f_1, f_2) = P_1$$

$$\text{DET}(f_2, f_1) = P_1$$

$$\text{DET}(f_1, f_1) = P_2$$

Lo anterior significa que cada individuo genético que posea el alelo f_2 manifestara el fenotipo P_1 , y solo se manifestara el fenotipo P_2 cuando el individuo genotipo posea dos alelos f_1 .

- **Faceta Causa-Efecto.**

Dos leyes causa-efecto se emplean:

- a. Los alelos que posee un organismo determinan la apariencia del mismo organismo.
- b. Los alelos de la progenie provienen de sus padres, no puede existir en la progenie alelos que no posean sus padres.

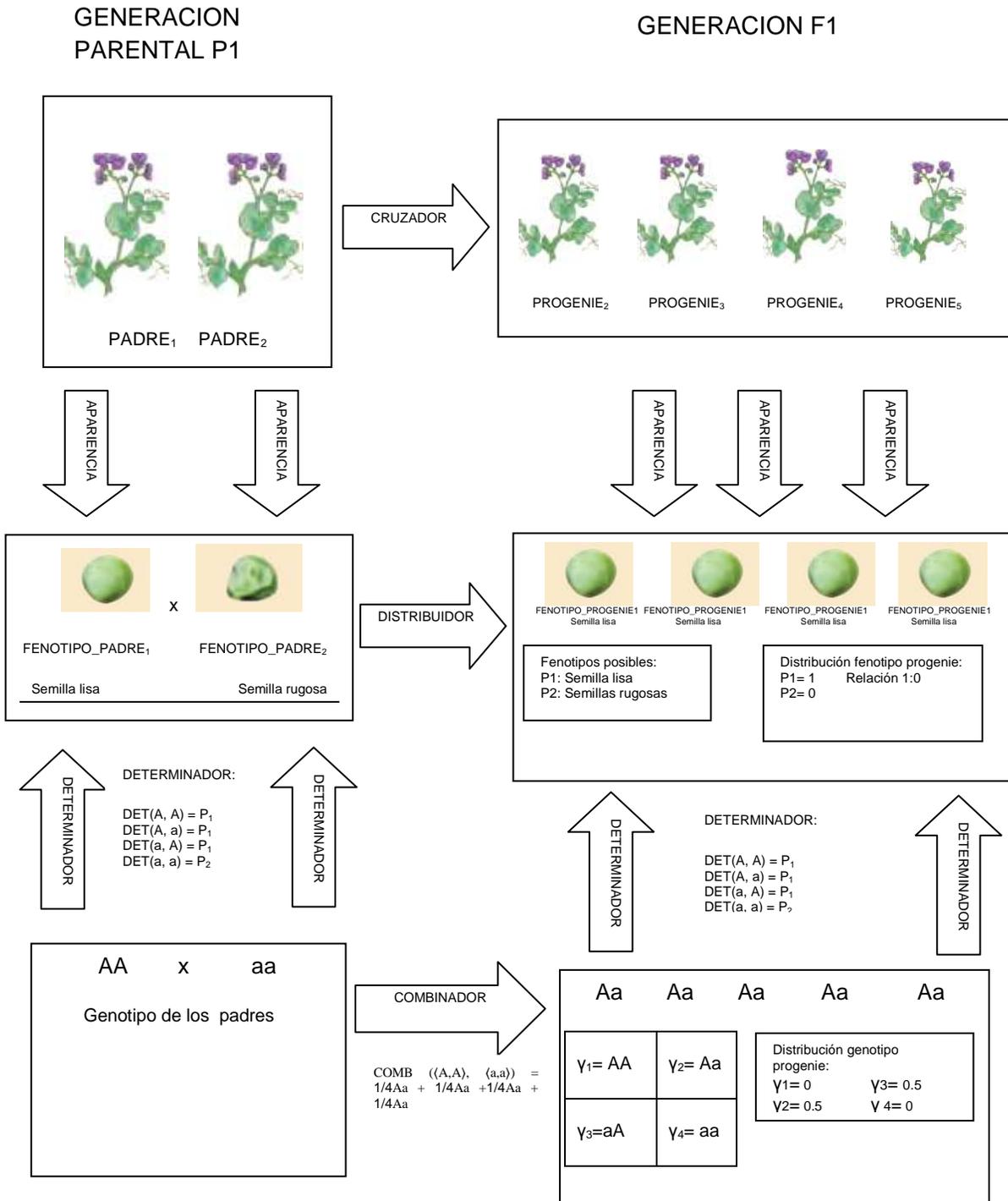


Figura 2-3. Modelo 1: cruce homocigoto dominante x homocigoto recesivo en la herencia del carácter textura de la semilla en los guisantes.

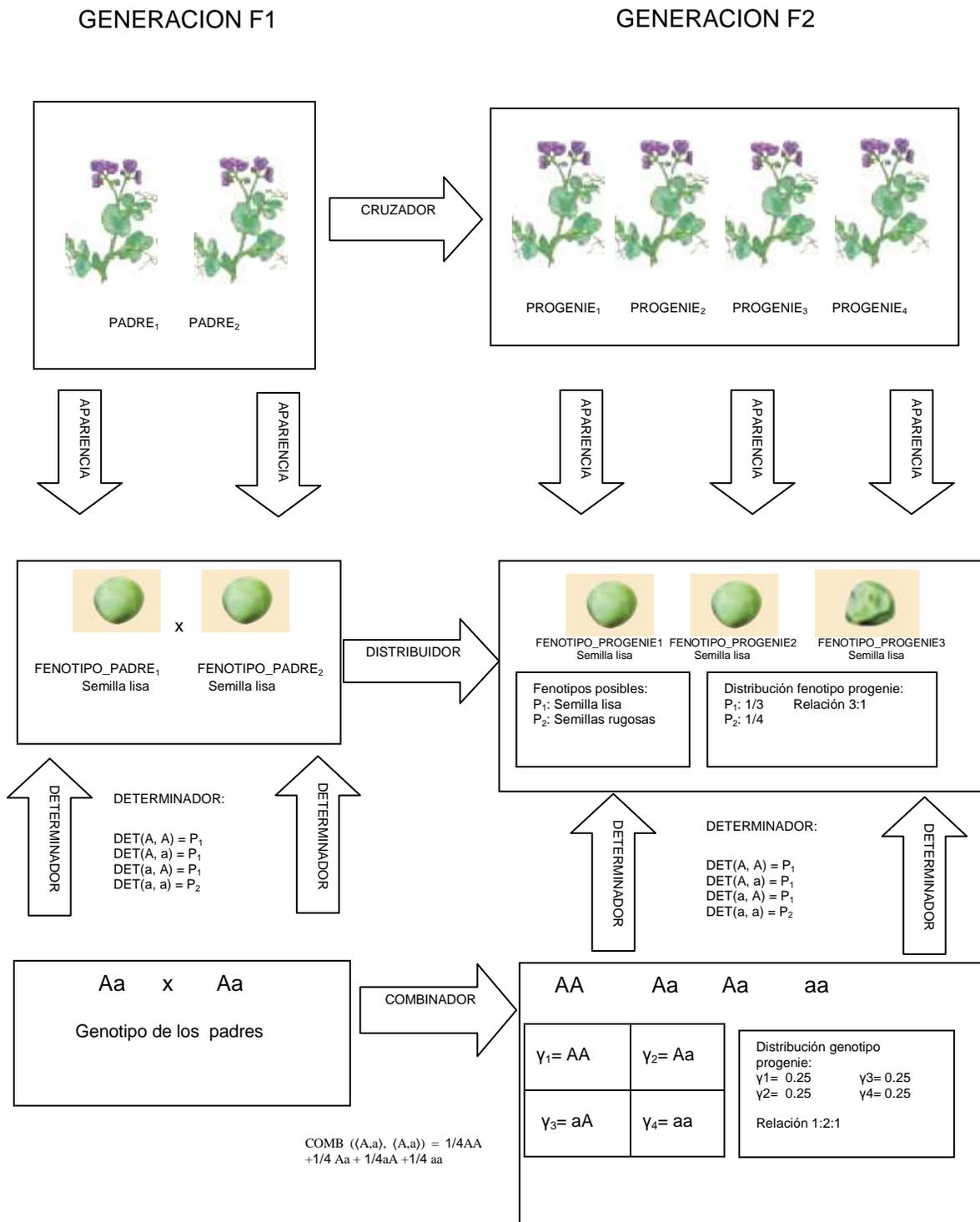


Figura 2-4. Modelo 1: cruce heterocigoto x heterocigoto en la herencia del carácter textura de la semilla en los guisantes.

2.2.5 Ejemplo de un modelo representacional relacionado con el modelo especializado 1

Las figuras 2-3 y 2-4 muestran una representación gráfica completa del modelo 1, con todas sus dimensiones desarrolladas para el caso de la herencia del carácter textura de la semilla en los guisantes. En este caso de una aplicación pretendida del modelo trabajado se deben tener las siguientes consideraciones:

1. El carácter fenotipo es textura semilla, el cual posee dos formas o rasgos alternativos P_1 : semillas lisas, y P_2 : semillas rugosas.
2. El componente genotípico es textura semilla, el cual posee dos factores alelos f_1 : semilla lisa, y f_2 : semilla rugosa. El factor alelo f_1 es dominante en presencia de f_2 .
3. Por simplicidad en la simbología hemos tomado $f_1=a$, y $f_2=A$.
4. Los objetos se encuentran ubicados en cuadros y las funciones se ubicadas en la flechas.

3.UNA PROPUESTA SEMANTICISTA PARA LA ENSEÑANZA DE LA TEORÍA GENÉTICA CLÁSICA (NO MOLECULAR)

A partir de los referentes teóricos mencionados en los dos capítulos anteriores, en especial los relacionados con el aprendizaje como evolución de perfiles paradigmáticos individuales, la concepción pedagógica de modelo científico, el modelamiento por medio de ciclos de aprendizaje y la reconstrucción de la teoría de la genética clásica (no molecular) empleando el enfoque semanticista, se desarrollo una propuesta de secuencia didáctica para la enseñanza de los modelos especializados de la genética clásica.

La propuesta para la enseñanza de la genética clásica (no molecular) asume como aplicable la metáfora del hombre común - hombre científico desarrolla por Kelly (1955). Se establece que los estudiantes de secundaria pueden ser concebidos como científicos novatos que no están en la vanguardia del desarrollo científico, los cuales se asemejan más a científicos novatos con una gran curiosidad y entusiasmo por tratar de entender cómo funciona el mundo que los rodea, pero aun carecen de las estrategias metodológicas apropiadas para resolver problemas científicos (Gil-Pérez et al., 2002). Constantemente, ya sea de forma individual o colectiva, el ser humano y sobre todo los científicos se enfrentan a un sin número de problemas los cual requieren para su solución la formulación de modelos, en este sentido la formulación y validación de modelos es una actividad central de la empresa científica (Fourez, 1994). Luego la diferencia fundamental entre un estudiante de secundaria y un científico experto radica principalmente en las metodologías y supuestos metafísicos empleados para formular, validar y usar sus modelos.

Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo (2003) afirman que los estudiantes aprende cuando formulan, validan y usan un modelo exitoso para una situación problemática de interés. Como consecuencia de ello, se propone que un adecuado aprendizaje del conocimiento

científico se logra por procesos de indagación científica dirigida a la re-creación de los modelos especializados de una teoría científica. Entendiéndose la indagación dirigida como el empleo de actividades de investigación científica como herramientas pedagógicas, pero siempre asumiendo que los estudiantes aún no han desarrollado las habilidades metodológicas, actitudinales y metacognitivas propias del científico experto, y por lo tanto el desarrollo de estas habilidades deben trabajarse explícitamente en el aula (Gil-Perez et al., 2002).

La propuesta didáctica parte del hecho de que toda actividad científica inicia con uno o varios problemas interesantes relacionados con la existencia de un patrón particular en el mundo real, el cual es poco comprendido pero lo suficientemente interesante como para motivar su estudio. El docente de ciencias naturales, es la persona llamada a formular los problemas de interés, los cuales se convertirán en el punto de partida de las actividades de construcción de modelos. Las investigaciones escolares que se presentan y se desarrollan están relacionadas con la ejecución de una ruta procedimental diseñada, la cual busca que los estudiantes logren la adecuada formulación, validación y uso de un modelo especializado perteneciente a la teoría de la genética clásica (no molecular). La ruta procedimental que se ha diseñado sigue los planteamientos de Halloun (2004) sobre los ciclos de aprendizaje. Además, siguiendo a Giere (1999) entendemos que entre los contenidos procedimentales a desarrollar en los estudiantes, es importante prestar considerable atención a la construcción de representaciones, en especial representaciones gráficas que sirvan como instrumentos para formular y desarrollar las principales concepciones involucradas en los modelos científicos (Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2003).

La propuesta didáctica reúne los elementos antes mencionados en un trabajo en el aula constituido por tres ciclos de aprendizaje. Por razones de tiempo y recursos disponibles, se proponen trabajar solo los siguientes tres modelos especializados: i) modelo de herencia equi-probable de factores alelos, un gen con dominancia completa, ii) modelo de herencia equi-probable de factores alelos, un gen con dominancia incompleta y iii) modelo de herencia equi-probable de factores alelos, dos genes con dominancia completa (ver figura 3-1). Debido a su complejidad matemática no recomendamos al nivel de secundaria la enseñanza del modelo especializado 4: herencia de dos genes ligados con dominancia completa, y se propone su trabajo como opcional en cursos especiales de profundización. En cada ciclo de aprendizaje los estudiantes aprenden un modelo

especializado de la teoría genética clásica (no molecular) por medio de actividades de indagación dirigida y de resolución de problemas, en las cuales los estudiantes son motivados a formular, validar y usar un modelo especializado de esta teoría. Las características de las actividades en cada uno de los momentos pertenecientes a cada uno de los ciclos de aprendizaje de la propuesta didáctica semanticista se estructuran de acuerdo a las fases y etapas de los ciclos de aprendizaje según la propuesta de Halloun (2004), las cuales fueron descritas en detalle en el capítulo 1 (ver figura 1-5).

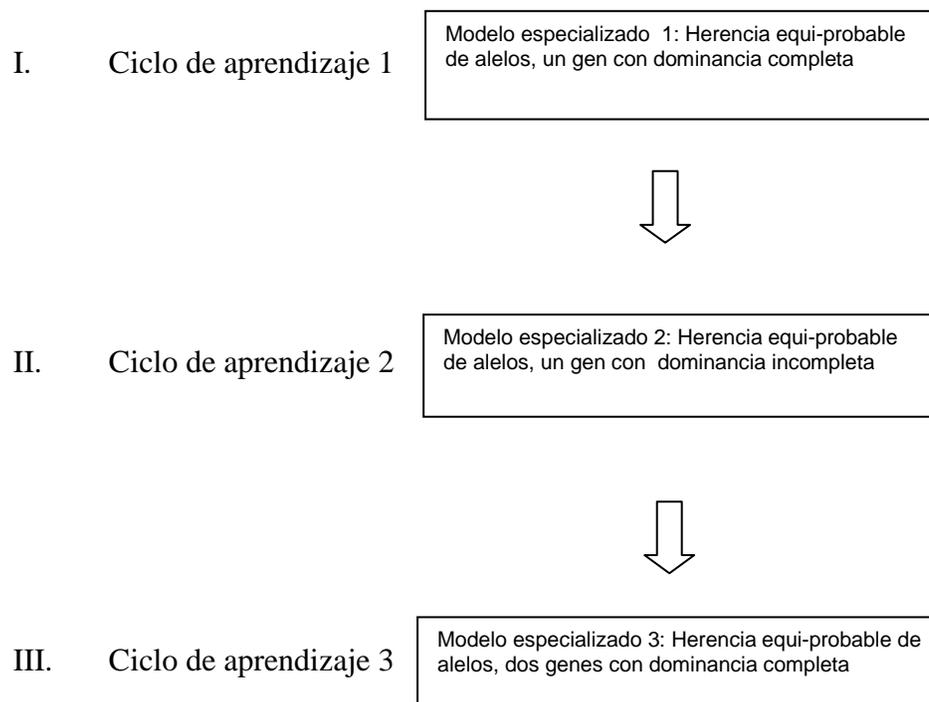


Figura 3-1. Estructura básica de la propuesta didáctica de la teoría de la genética clásica (no molecular).

En la figura 3-1 se presenta el proceder de la propuesta didáctica. En un ciclo de aprendizaje se desarrolla uno de los tres ciclos modelos especializados mencionados arriba. Para el adecuado desarrollo de cada una de las fases y etapas en cada uno de los tres ciclos de aprendizaje se han diseñado un conjunto guías de trabajo de clase, las cuales son presentadas en el anexo B. Las actividades didácticas que aparecen en las

guías de trabajo en clase, fueron diseñadas también con el objetivo de cumplir con las recomendaciones generales que deben ser tenidas en cuenta al crear una secuencia didáctica para la enseñanza de la teoría genética, recomendaciones explicadas en detalle en la sección 1.2 del capítulo 1.

3.1 ELEMENTOS DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA

La propuesta didáctica para la enseñanza de la genética clásica (no molecular) al nivel secundaria básica que se plantea en el presente trabajo toma la forma de un ambiente de aprendizaje el cual está constituido por los siguientes elementos:

1. **Población estudiantil:** 113 estudiantes de grado noveno del Colegio Gustavo Restrepo IED.
2. **Conocimiento a desarrollar:** Teoría de la genética clásica (no molecular), según el enfoque epistemológico semanticista de Balzer & Lorenzano (1997), Lorenzano (1998) y Lorenzano, (2002b). Específicamente el conocimiento a desarrollar se organiza de acuerdo a la siguiente secuencia de modelos especializados:
 - 2.1. **Modelo especializado 1:** Modelo de herencia equi-probable de factores alelos, un gen con dominancia completa.
 - 2.2. **Modelo especializado 2:** Modelo de herencia equi-probable de factores alelos, un gen con dominancia incompleta.
 - 2.3. **Modelo especializado 3:** Modelo de herencia equi-probable de factores alelos, dos genes con dominancia completa.
3. **Modelo Pedagógico:** Constructivismo pedagógico según la concepción de Gil-Perez et al. 2002. El constructivismo es el modelo pedagógico empleado por la institución educativa.
4. **Enfoque didáctico:** Modelamiento conceptual según la propuesta de los ciclos de aprendizaje de Halloun (2004).

5. **Tiempos:** La propuesta consta del desarrollo de tres ciclos de aprendizaje según la propuesta de Halloun (2004), cada uno de los cuales está dedicado al aprendizaje de un modelo especializado de genética clásica (no molecular). Se estima un tiempo mínimo para el aprendizaje de la teoría de la genética clásica de 12 semanas (24 secciones de trabajo de 120 minutos cada una). El tiempo se distribuye de la siguiente forma:

5.1. **Ciclo de aprendizaje 1:** 8 semanas de trabajo (16 secciones de trabajo).

5.2. **Ciclo de aprendizaje 2:** 2 semanas de trabajo (4 sesiones de trabajo).

5.3. **Ciclo de aprendizaje 3:** 2 semanas de trabajo (4 secciones de trabajo).

Se dedica una considerable cantidad de tiempo al desarrollo del primer ciclo de aprendizaje, esto es debido a que en este ciclo se requiere tiempo para desarrollar las concepciones fundamentales de la genética clásica como los son los conceptos de genotipo, gen, alelo, carácter fenotípico, rasgo fenotípico, fenotipo, distribución de genotipos y distribución de fenotipos; así como también es necesario caracterizar adecuadamente las funciones de interacción **DETERMINADOR** y **COMBINADOR**. Una vez lo anterior se ha logrado en el primer ciclo de aprendizaje, los demás ciclos de aprendizaje no requieren tanto tiempo ya que los otros modelos de la teoría de la genética clásica son casi idénticos al primer modelo en lo relacionado a su composición, y sus diferencias radican en las características matemáticas de la función **DETERMINADOR** y **COMBINADOR**.

6. **Recursos:** Se emplean los recursos habituales de cualquier curso dedicado a la enseñanza de la genética al nivel de educación básica secundaria, a saber salón de clase, muebles de clase, tablero, etc. Además de estos elementos básicos se emplean las guías de trabajo en clase, diseñadas para apoyar el adecuado desarrollo de cada una de las etapas en los tres ciclos de aprendizaje que hacen parte de la propuesta, y el software de simulación de experimentos de genética clásica StarGenetics desarrollado por el MIT, el cual se encuentra disponible en el sitio: <http://star.mit.edu/genetics/>.

7. **Evaluación:** La evaluación de cada ciclo de aprendizaje se realiza por mecanismos de autoevaluación, coevaluación y heteroevaluación. Se evalúa cada una de las

fases y las etapas desarrolladas en los ciclos de aprendizaje, y cada elemento de la evaluación tendrá igual peso para el cálculo de la valoración final.

3.2 GUÍAS DE TRABAJO EN CLASE

A continuación se describe las características principales de las 11 guías diseñadas para cada uno de los ciclos de aprendizaje.

3.2.1 Fase de exploración

Guías de trabajo 1 y 2 de cada ciclo de aprendizaje. La guía de trabajo 1 está dedicada a la etapa de presentación del patrón. Esta guía de trabajo se divide en dos momentos: i) en un primer momento se trabaja una situación familiar a los estudiantes que cae en el dominio de los modelos ingenuos, y en un segundo momento se trabaja la misma situación, pero alterada de tal forma que no puede ser explicada por los modelos ingenuos.

La guía de trabajo 2 está dedicada a la etapa de formulación de modelos nominales. En esta ocasión se presenta un problema interesante y una carta de resolución de problemas al estilo de García (2003). La carta de resolución de problemas permite a los estudiantes identificar los principales elementos del modelo científico trabajado en el ciclo de aprendizaje, así como también crear representaciones gráficas pertinentes y formular hipótesis de las posibles relaciones funcionales entre los elementos del modelo. El trabajo por resolución de problemas aquí planteado difiere de las propuestas de enseñanza de la genética clásica de Hafner & Culp (1996), y de Carter & Stewart (2000), en el sentido de emplear la resolución de problemas como un herramienta para la formulación de modelos científicos, y no como un medio para validar modelos ya formulados.

3.2.2 Fase de abducción del modelo

Guías de trabajo 3 y 4 de cada ciclo de aprendizaje. La guía de trabajo 3 está dedicada a la formulación de un modelo plausible. En la búsqueda a una solución al problema planteado en la guía 2, los estudiantes han identificado los principales elementos del modelo científico trabajado en el ciclo, así como también han propuesto posibles interacciones que explican la dinámica del sistema. En esta guía de trabajo se plantea un

primer momento dedicado al análisis de la viabilidad de las ideas desarrolladas por los estudiantes y si es necesario se ofrecen argumentos para que los estudiantes abandonen las ideas no viables. En un segundo momento se intenta profundizar en las ideas viables que sobre el modelo hayan desarrollado los estudiantes, se presta especial atención a la definición de descriptores de los objetos, de interacción y de estado del modelo, así como también se intenta definir de forma matemática las interacciones entre los objetos del modelo.

La guía de trabajo 4 está dedicada a la formulación de un diseño experimental. Los estudiantes son ayudados a plantear un experimento que tiene como objeto validar los planteamientos elaborados en las guías anteriores. Para el caso de la genética clásica un diseño experimental consiste en definir un tipo particular de cruce experimental, el cual ayude a validar los supuestos del modelo formulado sobre la determinación del fenotipo a partir del genotipo y como los factores alelos son heredados. El diseño experimental en cada ciclo se elabora a partir de variantes conocidas de la mosca *Drosophila melanogaster* y de las plantas *Antirrhinum majus*. Se hace un especial énfasis en el hecho de que todo experimento debe ayudar a validar los supuestos y los elementos teóricos del modelo propuesto por los estudiantes, y en consecuencia se hace necesario ayudar a los estudiantes a elaborar predicciones sobre los posibles resultados del diseño experimental planteado.

3.2.3 Fase de formulación del modelo

Guías 5, 6 y 7 de cada ciclo de aprendizaje. En la guía 5 los estudiantes con ayuda del docente realizan las simulaciones de los experimentos diseñados empleando el software StarGenetics. Los resultados son debidamente registrados y analizados dependiendo de los objetivos del diseño experimental. En esta etapa del ciclo de aprendizaje es importante ofrecer a los estudiantes una breve introducción al tema de probabilidad y de esta forma asegurar que posean los elementos conceptuales suficientes para comprender los análisis estadísticos de esta guía de trabajo.

La guía 6 esta dedica a la formulación inicial del modelo. En este momento se replantean los supuestos sobre la determinación del fenotipo a partir del genotipo y la forma precisa de cómo la herencia de los factores alelos es llevada a cabo. Si es necesario las ideas desarrolladas hasta el momento deben ser replanteadas o abandonadas por completo, y

en consecuencia será necesario el desarrollo de un nuevo conjunto de ideas, y se requerirá por supuesto de un nuevo diseño experimental que provea de información experimental que valide las nuevas ideas desarrolladas.

La guía 7 se encarga de la extrapolación racional del modelo. Por medio de preguntas sencillas se concreta cada una de las dimensiones del esquema del modelo según Halloun (2004). Se presta especial atención a concretar todos los elementos necesarios de las dimensiones estructura y composición, sin embargo la dimensión organización será trabajada desde el segundo ciclo de aprendizaje, momento en el cual los estudiantes ya han logrado desarrollar al menos dos modelos de la teoría de la genética clásica.

3.2.4 Fase de despliegue del modelo

Guías de trabajo 8 y 9, de cada ciclo de aprendizaje. La guía 8 está dedicada a trabajar el despliegue básico del modelo ya formulado en etapas previas. Por medio de ejercicios provenientes de diferentes libros de texto, se les presenta a los estudiantes una variedad de situaciones donde pueden aplicar elementos concretos del modelo formulado. En esta etapa se dedica un notable esfuerzo a completar la formulación del modelo, especialmente en lo relacionado con la faceta estado de la dimensión estructura del esquema del modelo. Es así como los ejercicios presentados en las guías 8 de todos los ciclos de aprendizaje, están encaminados a que los estudiantes desarrollen una comprensión profunda de resultados de los cruces homocigoto x homocigoto, homocigoto x heterocigoto, y heterocigoto x heterocigoto para los casos de un 1 o 2 genes. Algunos problemas de despliegue básico son adaptaciones de problemas trabajados por Thompson et al., (2007) y Griffiths et al., (2002)

La guía de trabajo 9 está dedicada al despliegue paradigmático, se les presenta a los estudiantes un problema al estilo García (2003), en el cual debe emplearse en la búsqueda de solución todas las dimensiones del esquema del modelo desarrollado hasta el momento.

3.2.5 Fase de evaluación y síntesis

Guías de trabajo 10 y 11, de cada ciclo de aprendizaje. La guía de trabajo 10 está dedicada a la evaluación racional y empírica del modelo desarrollado en el ciclo de aprendizaje.

En un primer momento se analiza la coherencia y conmensurabilidad del modelo, para luego en un segundo momento analizar su dominio de aplicación.

La guía 11 está dedicada a elaborar una síntesis paradigmática de todo el proceso llevado a cabo en ciclo de aprendizaje. Para lograr esto se les pedirá a los estudiantes que de forma individual o en grupo elaboren un reporte en el cual se consignen las principales ideas desarrolladas en el ciclo de aprendizaje. Luego se solicitará a los estudiantes que mencionen los argumentos desarrollados para superar las ideas no viables. A partir de este reporte el docente elabora un informe final que se constituirá en la síntesis paradigmática final, el cual luego será debidamente socializado en clase.

3.3 LA RELACION DE LA PROPUESTA CON LOS ESTANDARES BASICOS DE COMPETENCIAS EN CIENCIAS NATURALES

En realidad es poco lo que se puede hablar acerca de la relación de la propuesta para la enseñanza de la genética clásica (no molecular) aquí presentada con estándares básicos de competencias en ciencias naturales desarrollados por el Ministerio de Educación Nacional. El enfoque epistemológico semanticista base de la propuesta presentada asume que el conocimiento científico se organiza en teorías, las cuales se relacionan entre sí para conformar el saber propio de una disciplina científica. Por ejemplo, en biología la teoría de la genética (tanto clásica como molecular) se relaciona con las teorías de evolución darwiniana, la teoría fisiológica y la teoría ecológica, de esta forma conformando el saber propio de pensamiento biológico actual. A su vez cada teoría científica está conformada por un grupo de modelos que constituyen las representaciones idealizadas fundamentales en donde las leyes naturales identificadas son aplicables. Por otro lado, los estándares básicos de competencias en ciencias naturales asumen una visión del conocimiento científico muy diferente a la asumida por enfoque epistemológico semanticista y más relacionado con el enfoque epistemológico positivista de los años 1920s. Según el Ministerio de Educación Nacional, el conocimiento científico no se organiza en teorías y mucho menos se mencionan los modelos de alguna teoría científica en particular (Schmidt, 2006). Para los estándares de competencias en ciencias naturales la actividad científica consiste fundamentalmente en la formulación de hipótesis sobre los fenómenos naturales y su verificación experimental. Se asume entonces que el conocimiento científico consta de un conjunto de axiomas y declaraciones, las cuales se consideran verdaderas y reales. Desde el punto de vista

epistemológico, la propuesta para la enseñanza de la genética clásica (no molecular) presentada aquí se aleja notablemente de los supuestos epistemológicos manejados en los estándares básicos de competencias en ciencias naturales del Ministerio de Educación Nacional.

Los temas relacionados con el campo de la genética aparecen en los temarios de los estándares básicos de competencias del Ministerio de Educación Nacional repartidos entre los grados 6-9 de la educación básica secundaria y los grados 10 y 11 de la educación media. Es de observar que tales temas están relacionados con:

- La descripción de los procesos de reproducción celular mitosis-meiosis,
- El estudio de las formas básicas de reproducción (sexual y asexual) y su relación con los órganos reproductivos
- Identificación del ADN como molécula portadora de la información hereditaria y la relación de su estructura con la replicación y síntesis de proteínas.
- La comprensión básica de los procesos evolutivos desde la perspectiva de la mutación del ADN.

Es de resaltar que en ningún apartado del temario mencionado se recomienda la enseñanza de la teoría de la genética clásica (genética mendeliana y genética del ligamiento según Morgan), lo cual se contrasta notablemente con la importancia que recibe la enseñanza de tal teoría por investigadores prestigiosos en el campo de la didáctica de la biología (Johstone & Mahmoud, 1980; Finley et al., 1982). Además, se observa que los temas de genética que aparecen en los estándares de competencias no se encuentran articulados entre sí, por lo que un estudiante que aprenda satisfactoriamente los procesos implicados en la mitosis y meiosis difícilmente comprenderá como relacionarlos con los procesos de replicación y traducción de la información hereditaria almacenada en el ADN.

4. METODOLOGIA, RESULTADOS Y ANALISIS DE LA IMPLEMENTACION DE LA PROPUESTA PARA LA ENSEÑANZA DE LA GENETICA CLASICA

A continuación se presenta un estudio cuantitativo de la implementación de la propuesta didáctica semanticista desarrollada (enseñanza por modelamiento). La orientación del estudio es fundamentalmente cuantitativa con algunas observaciones de tipo cualitativo.

4.1 METODOLOGIA

La implementación de la propuesta se realizó por medio de una prueba piloto, la cual se llevó a cabo en el colegio Gustavo Restrepo IDE durante el primer semestre del presente año. En esta implementación se desarrolló el primer ciclo de aprendizaje propuesto para la enseñanza de la genética clásica, el cual está relacionado con el modelo especializado 1: herencia equi-probable de factores alelos, un gen con dominancia completa. Esta primera implementación tuvo con objetivos fundamentales:

- Identificar las ideas previas de los estudiantes antes del proceso de enseñanza.
- Valorar el desempeño de los estudiantes al tratar de desarrollar el ciclo de aprendizaje 1.
- Valorar los aprendizajes logrados luego del desarrollo del ciclo de aprendizaje 1, y comparar dichos aprendizajes con los logrados por medio de la aplicación de una didáctica expositiva tradicional.
- Identificar dificultades y requisitos de la implementación en el aula de la propuesta didáctica semanticista.

4.1.1 Muestra objeto de estudio

Participaron en el estudio 113 estudiantes del grado noveno en educación básica secundaria (72 chicos y 41 chicas), con edades entre 14-16 años, pertenecientes a los estratos socio-económicos 1, 2 y 3. Los estudiantes participantes no habían estudiado genética previamente.

Los estudiantes se repartieron en cuatro grupos, tres de los cuales son los grupos experimentales a los cuales se les aplicó la propuesta didáctica semanticista (denominados grupos E1, E2 y E3; n = 79, 54 chicos y 25 chicas) y un grupo control (denominado C1; n = 34, 18 chicos y 16 chicas) al cual se le aplicó una estrategia de enseñanza basada en una didáctica expositiva tradicional según lo referido por Iñiguez y Puigcerver (2013). La distribución del alumnado en los grupos fue realizada por las directivas de la institución educativa, y por lo tanto aunque no podemos afirmar que los grupos fueron contruidos completamente al azar, no se siguieron criterios de rendimiento académico para crearlos y en consecuencia las agrupaciones no están viciadas.

4.1.2 Análisis del desempeño estudiantil.

Tabla 4-1. Descripción de los indicadores empleados para valorar la implementación de la propuesta didáctica.

Momento	Categoría	Sub-categoría	Indicador
Desarrollo del modelo	1. Formular	1.1. Proponer.	Indicador A: % de estudiantes que proponen un modelo viable.
		1.2 Experimentar.	Indicador B: % de estudiantes que proponen un adecuado diseño experimental.
	2. Validar	2.1. Contrastar.	Indicador C: % de estudiantes que comparan correctamente las predicciones de su diseño experimental contra los resultados de los experimentos propuestos simulados en el computador.
Despliegue del modelo	3. Usar	3.1. Resolver problemas de aplicación.	Indicador D: Media de los puntajes obtenidos al resolver problemas de despliegue básico.

El ciclo de aprendizaje propuesto por Halloun (2004) consta básicamente de dos grandes momentos, uno inicial en donde se desarrolla el modelo objeto de trabajo en el ciclo (fases de exploración, abducción y formulación) y otro momento posterior en el cual el modelo desarrollado se despliega (etapas de despliegue básico y paradigmático). Por lo tanto, es lógico desarrollar indicadores para el análisis del desempeño estudiantil que estén relacionados con la formulación, validación y el uso de los modelos desarrollados por los estudiantes. Los indicadores propuestos son valorados para los grupos experimentales E1, E2 y E3. A continuación se presenta la descripción de los indicadores desarrollados para el estudio del desempeño estudiantil en la ejecución de la secuencia didáctica semanticista desarrollada (ver tabla 4-1).

Categoría formular.

La categoría formular consiste en la creación de representaciones graficas que establezca relaciones causa-efecto y que logren explicar el surgimiento de patrón investigado en el ciclo de aprendizaje. Esta categoría está dividida en dos sub-categorías, las cuales son proponer y experimentar.

La sub-categoría proponer hace referencia a la capacidad que poseen los estudiantes para formular un modelo viable que logre explicar satisfactoriamente el patrón de herencia manifestado en el problema presentado en la guía 2. La sub-categoría proponer consiste en la creación de una representación grafica la cual contenga los elementos fundamentales del modelo especializado trabajado en el ciclo de aprendizaje. Para que se considere a un estudiante como proponente de un modelo viable, el modelo desarrollado en la guía 3 (más específicamente valorado en la actividad del punto 13) debe manifestar poseer los elementos básicos de las dimensiones composición y estructura (sección 2.2 del capítulo 2). De la dimensión composición los modelos estudiantiles deben manifestar poseer (i) los objetos: individuos genéticos, los fenotipos, los genotipos, (ii) los descriptores de objetos: tipo de individuo genético, rasgo fenotípico y factor alelo, y (iii) los descriptores de interacción: funciones **DETERMINADOR** y **COMBINADOR**. El indicador A mencionado en la tabla 4-1, se emplea para analizar la capacidad propositiva de estudiantes que con relación al total del grupo experimental lograron correctamente formular un modelo viable.

La sub-categoría experimentar consiste en la creación de una representación grafica de una situación experimental que permita validar o rechazar los supuestos del modelo

desarrollado por los estudiantes. En este punto, los estudiantes definen un cruce experimental empleando como modelo biológico la mosca de la fruta y realizan predicciones verificables experimentalmente sobre las características fenotípicas de la progenie producto de dicho cruce. El indicador B mencionado en la tabla 4.1, es desarrollado para estudiar cuantos estudiantes poseen las destrezas de experimentación. Un diseño experimental valido debe contener los elementos ya mencionados para el indicador A, así como también la formulación de una predicción sobre la distribución fenotípica en la progenie producto del cruce propuesto. El indicador B se valora analizando el trabajo del los estudiantes en los puntos 2.5, 2.6, 3.3 y 3.6 de la guía de trabajo 4.

Categoría validar.

La categoría validar consiste en el rechazo o no de los supuestos del modelo desarrollado atendiendo a los resultados empíricos del diseño experimental propuesto. Esta categoría solo posee la sub-categoría contrastar. Esta sub-categoría se relaciona con la capacidad que poseen los estudiantes para comparar los resultados esperados de su diseño experimental (predicciones elaboradas en la guía de trabajo 4) contra los resultados reales de dichos experimentos (experimentos simulados en computador). El indicador C mencionado en la tabla 4.1, es desarrollado para analizar la citada capacidad de comparación. La comparación tiene como posterior resultado la validación o no del modelo formulado en la guía de trabajo 3. El indicador C se valora analizando el trabajo de los estudiantes en el punto 7 de la guía de trabajo 5.

Categoría Usar.

La categoría usar consiste en la creación de representaciones graficas que explique el surgimiento del patrón investigado en el ciclo de aprendizaje en una variedad de situaciones problema. Esta categoría al igual que la categoría anterior solo posee una sub-categoría, la cual es la resolución de problemas. En la guía de trabajo 8 se les presenta a los estudiantes un conjunto de problemas, los cuales deben ser resueltos empleando el modelo formulado y validado en las guías de trabajo 1 al 7. El indicador D mencionado en la tabla 4.1, se propone con el objetivo de cuantificar el desempeño general estudiantes que habiendo formulado y validado un modelo viable pueden resolver adecuadamente situaciones problema de despliegue básico. Se valora el

indicador D calculando los puntajes medios por grupo experimental obtenidos por los estudiantes al resolver individualmente los problemas de despliegue básico presentados en la guía de trabajo 8. El puntaje total obtenido por cada estudiante al desarrollar la guía de trabajo 8, será el número de problemas resueltos correctamente durante un tiempo de dos secciones de trabajo en clase.

4.1.3 Valoración de los aprendizajes relacionados con la teoría genética.

Para el estudio de los aprendizajes empleamos una metodología similar a la desarrollada por Iñiguez & Puigcerver (2013) y Banet & Ayuso (2003). Empezamos definiendo una hipótesis de trabajo:

Ha: La propuesta didáctica semanticista para la enseñanza de la genética clásica (no molecular) será capaz de producir en los estudiantes una construcción de significados más completos y correctos que en los estudiantes que han recibido una enseñanza basada en una didáctica expositiva tradicional. La diferencia se reflejaría en el hecho de que estudiantes que han recibido una enseñanza con la propuesta didáctica semanticista obtendrían puntajes superiores al responder un instrumento diagnóstico, en comparación con estudiantes que han recibido una enseñanza basada en la didáctica expositiva tradicional.

Ho: La propuesta didáctica semanticista para la enseñanza de la genética clásica (no molecular) será incapaz de producir en los estudiantes una construcción de significados más completos y correctos que en los estudiantes que han recibido una enseñanza basada en una didáctica expositiva tradicional.

Para valorar los conocimientos relacionados con la teoría de la genética clásica se diseñó una prueba diagnóstica. Se construyó la prueba diagnóstica adaptando algunas preguntas previamente validadas de los cuestionarios diseñados por Caballero (2008), Lewis et al. (2000) y Banet & Ayuso (1995), los cuales tuvieron como objetivo evidenciar las ideas previas de los estudiantes de secundaria con relación a la teoría genética. El instrumento diagnóstico elaborado consta de dos cuestionarios, el primer cuestionario consta de 12 preguntas encargadas de interrogar a los estudiantes sobre el conocimiento de algunos objetos de la teoría de la genética clásica (gen, alelos, gametos, etc.) y sobre los tipos de reproducción encontrados en una variedad de organismos. El segundo

cuestionario consta de 6 preguntas encargadas de interrogar a los estudiantes sobre diversas formas de interacción de algunos objetos los objetos de la teoría genética y además se presentan actividades de resolución de problemas tipos efecto-causa. La máxima valoración posible del primer cuestionario es de 30 puntos y la del segundo cuestionario es de 10 puntos, para un total de 40 puntos como valoración máxima posible. En el anexo C se describe en detalle las valoraciones y las opciones de respuesta correctas para cada una de las preguntas de la prueba diagnóstica. Los cuestionarios fueron resueltos por cada uno de los estudiantes en momentos previos y posteriores al trabajo de enseñanza. La aplicación del instrumento anterior a la actividad didáctica se denomino pre-test y la aplicación posterior se denomino post-test.

Para verificar la hipótesis de trabajo hemos realizado un experimento con 4 grupos trabajados, un solo grupo control denominado C1 al cual le aplicamos una metodología didáctica expositiva tradicional y tres grupos experimentales a los cuales se les aplico la propuesta didáctica semanticista. Para valorar los aprendizajes logrados en cada uno de los grupos trabajados se realizaron comparaciones pareadas del los resultados pre-test versus post-test. Por otro lado, para valorar si los aprendizajes logrados por medio de las dos estrategias didácticas empleadas son significativamente diferentes se analizan los resultados del pos-test, comparando el desempeño de los grupos experimentales (E1, E2 y E3) versus el grupo control (C1). Los resultados fueron analizados empleando el software estadístico OpenStat (Miller, 2013)

4.1.4 El proceso de enseñanza.

La propuesta didáctica para la enseñanza de la genética clásica (no molecular) fue implementada con una prueba piloto que inicio el día 13 de febrero y finalizo el día 2 de mayo del año 2014 (16 secciones de trabajo en clase). Esta prueba piloto consistió en el desarrollo del primer ciclo de aprendizaje de la teoría genética clásica (no molecular) en los grupos experimentales E1, E2 y E3, ciclo en el cual se trabaja el modelo de herencia equi-probable de factores alelos, un gen con dominancia completa. En su implementación se emplearon las guías de trabajo en clase presentadas en el anexo B.1. En ningún momento se realizo en los grupos experimentales algún tipo de exposición de conocimientos científicos por parte del docente, toda la actividad didáctica se fundamento en el trabajo de los estudiantes al resolver las guías del ciclo 1.

En el grupo control C1 se realizó una práctica didáctica expositiva tradicional equivalente conceptualmente a los contenidos manejados en ciclo de aprendizaje 1 trabajado en los grupos experimentales. Se realizaron presentaciones PowerPoint, en donde el docente explicaba de la forma más clara posible los siguientes temas:

- Reproducción sexual y asexual
- Meiosis y mitosis
- Reproducción en mamíferos, aves, reptiles, peces y plantas.
- Leyes de Mendel 1 y 2.

Luego se proveyó a los estudiantes de materiales de lectura adecuada según los temas trabajados y cuestionarios tradicionales de resolución de problemas.

4.2 RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACION

A continuación se presentan los resultados de la implementación de la propuesta didáctica semanticista desarrollada.

4.2.1. Desempeño estudiantil.

En la figura 4-1 se muestra los resultados de las valoraciones de los indicadores A, B y C para los grupos E1, E2 y E3. Como se puede observar, más de un 80% de los estudiantes en los grupos experimentales son capaces de formular un modelo viable y de proponer un diseño experimental adecuado para validar dicho modelo. Además, entre un 70% y un 90% de los estudiantes en los grupos experimentales son capaces de contrastar los resultados de sus diseños experimentales (simulaciones) contra las predicciones realizadas con anterioridad.

La figura 4-2 muestra los resultados de las valoraciones del indicador D, también para los grupos experimentales E1, E2 y E3. Se encontró que los estudiantes en los grupos trabajados con la propuesta didáctica semanticista son capaces de resolver en promedio entre 4 a 6 problemas de despliegue básico, esto logrado sin ninguna ayuda por parte del docente y sin instrucción previa en resolución de problemas.

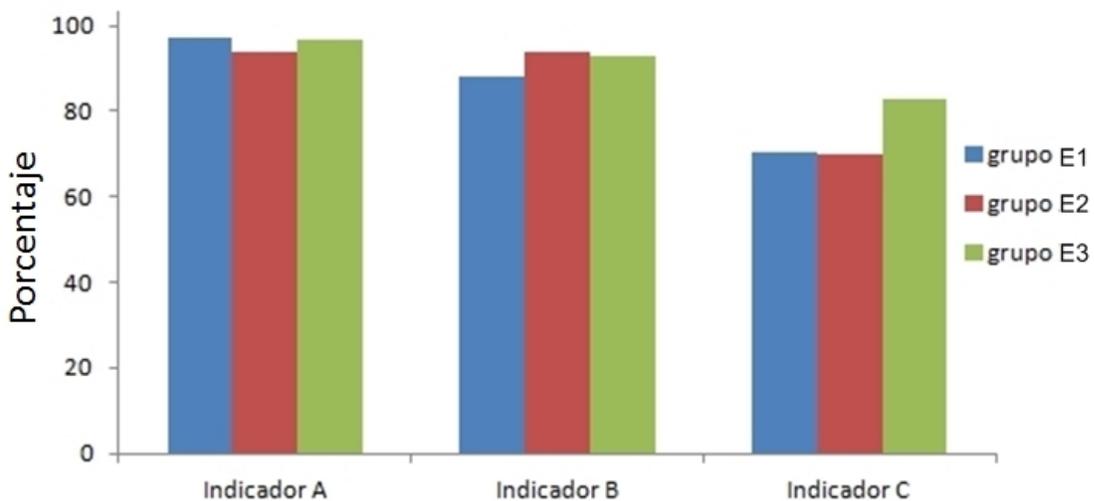


Figura 4-1. Valoración de los indicadores A, B y C.

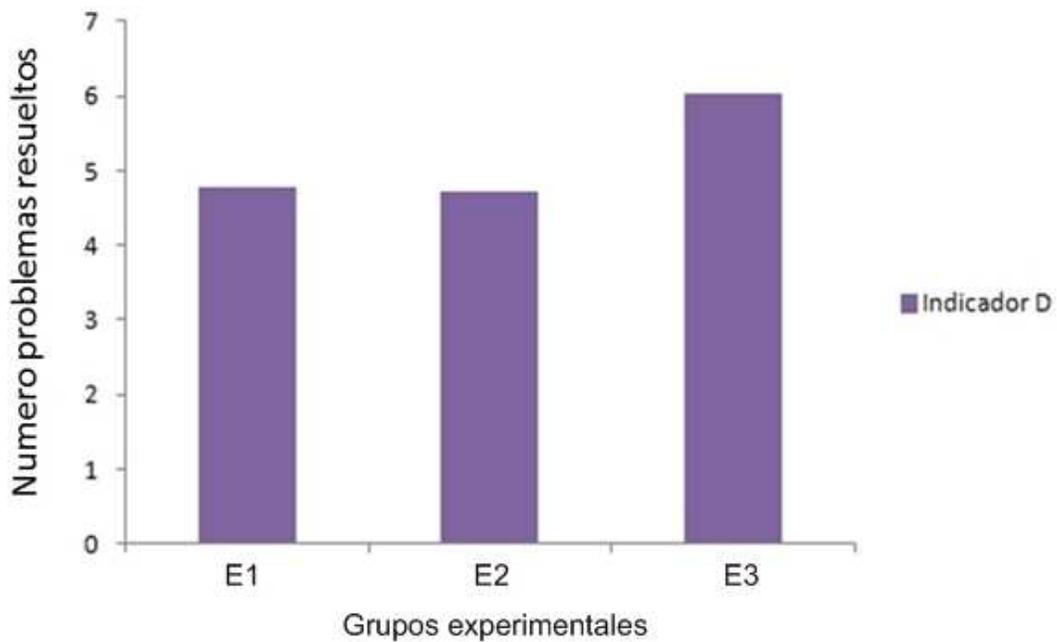


Figura 4-2. Valoración del indicador D.

4.2.2. Resultados del pre-test.

Los resultados estadísticos para la variable puntaje total de la prueba diagnóstica en el pre-test en cada uno de los grupos experimentales y el control son mostrados en la tabla 4-2. Es importante recordar que la prueba diagnóstica de conocimientos relacionados con la genética consta de dos cuestionarios, los cuales se respondieron uno después de otro en una misma sección de trabajo en clase. El puntaje total de esta prueba diagnóstica simplemente será la suma de los puntajes obtenidos en el primer y segundo cuestionario.

Tabla 4-2. Resultados estadísticos para la variable puntaje total pre-test.

Grupos	n ¹	Media	Varianza	Desviación estándar	Prueba de normalidad ²
C1	34	21,94	20,12	4,49	Fuerte evidencia en contra de la normalidad
E1	32	20,59	19,47	4,41	No evidencia en contra de la normalidad
E2	26	20,77	13,22	3,64	No evidencia en contra de la normalidad
E3	21	22,10	16,89	4,11	No evidencia en contra de la normalidad

¹ n es la cantidad de estudiantes por grupo.

² resultado de normalidad según las pruebas estadísticas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilks.

Aunque todos los grupos trabajados manifestaron valores de media, varianza y desviación estándar similares para la variable puntaje total pre-test, debido a que en el grupo control C1 la variable mencionada no sigue un comportamiento de distribución normal es imposible el empleo de pruebas paramétricas como el análisis ANOVA para el estudio de la variabilidad entre los grupos (para el estudio de la normalidad de las muestras se emplearon las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilks). Para el estudio de las semejanzas entre las medias grupales se empleo la prueba estadística no paramétrica Kruskal-Wallis (Chan & Walmsley, 1997; Chao, 1978). Para los cuatro grupos trabajados, al realizar la prueba no paramétrica Kuskal-Wallis de obtuvo un valor $H = 1,761$. En consecuencia no podemos rechazar la hipótesis nula de que las medias para la variable puntaje total pre-test en los diversos grupos trabajados son estadísticamente similares ($p > 0,05$). Al analizar por separado los puntajes del primer y segundo cuestionario del instrumento diagnostico en el pre-test se obtuvieron resultados

similares de homogeneidad entre los grupos trabajados. En consecuencia, es posible afirmar que los estudiantes de los grupos trabajados manifestaban poseer conocimientos similares sobre la teoría genética en momentos previos a la enseñanza.

La homogeneidad entre los grupos experimentales permite unir la información de los grupos experimentales E1, E2 y E3 en un solo grupo el cual denominamos grupo Eagrupado1. La tabla 4-3 muestra como se encontraban distribuidos los estudiantes de los grupos control C1 y experimental E5 según sus puntajes totales en el pre-test.

Tabla 4-3. *Distribución de los estudiantes de acuerdo a los puntajes totales del pre-test.*

Rangos (puntajes totales pre-test) ¹	Grupo control C1	Grupo experimental Eagrupado1
1 a 10 puntos	0%	0%
11 a 20 puntos	47%	44%
21 a 30 puntos	47%	54%
31 a 40 puntos	6%	2%

¹ en terminos de los conocimientos manifestados los rangos pueden ser clasificados en: de 1 a 10 puntos conocimiento bajo; de 11 a 20 puntos conocimiento basico; de 21 a 30 puntos conocimiento alto y de 31 a 40 puntos conocimiento superior.

4.2.3. Resultados del post-test.

En la tabla 4-4 son mostrados los resultados estadísticos para la variable puntaje total de la prueba diagnóstica en el post-test en cada uno de los grupos experimentales y en el control C1.

Tabla 4-4. *Resultados estadísticos para la variable puntaje total post-test.*

Grupos	n ¹	Media	Varianza	Desviación estándar	Prueba de normalidad ²
C1	34	25,29	19,37	4,40	No evidencia en contra de la normalidad
E1	32	23,69	26,67	5,16	Suficiente evidencia en contra de la normalidad
E2	26	24,92	12,55	3,54	Suficiente evidencia en contra de la normalidad
E3	21	25,95	16,05	4,01	Suficiente evidencia en contra de la normalidad

¹ n es la cantidad de estudiantes por grupo

² resultado de normalidad según las pruebas estadísticas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilks.

Debido a que en esta ocasión los resultados para la variable puntaje total post-test en los grupos E1, E2 y E3 no se distribuye normalmente, en consecuencia de nuevo emplearemos la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis para el estudio de la semejanza entre las medias (para el estudio de la normalidad de las muestras de nuevo se emplearon las pruebas estadísticas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilks). Para los grupos trabajados se obtuvo un valor $H = 3,11$. En consecuencia no podemos rechazar la hipótesis nula de que las medias muestrales para la variable puntaje total pre-test en los diversos grupos trabajados son estadísticamente similares ($p > 0,05$). Al analizar por separado los puntajes del primer y segundo cuestionario del instrumento diagnóstico en el post-test, se obtuvieron resultados un poco disímiles. Para la variable puntaje del primer cuestionario se obtuvo un valor $H = 5,24$, por lo tanto no se puede rechazar la hipótesis de homogeneidad entre los grupos según esta variable ($p > 0,05$). Sin embargo, para la variable puntaje del segundo cuestionario se obtuvo un valor $H = 13,31$, en consecuencia se rechaza la hipótesis de homogeneidad entre los grupos ($p < 0,05$). Un análisis de comparación múltiple entre los grupos trabajados arrojó que la media de la variable puntaje del segundo cuestionario en el grupo control C1 es diferente significativamente de los valores de las medias de los grupos E1, E2 y E3. En consecuencia, se puede afirmar que si bien los grupos trabajados son homogéneos entre sí según la variable puntaje total post-test, la didáctica semanticista tuvo un impacto diferencial al producir mejores resultados en la variable puntaje de segundo cuestionario post-test.

La homogeneidad entre los grupos experimentales según el post-test, nos permite reunir la información de los grupos experimentales E1, E2 y E3 en un solo grupo el cual denominamos grupo E6. La tabla 4-5 muestra como se encontraban distribuidos los estudiantes de los grupos control C1 y experimental Eagrupado2 según sus puntajes totales en el pre-test.

Tabla 4-5. *Distribución de los estudiantes de acuerdo a los puntajes totales del post-test.*

Rangos (puntajes totales post-test) ¹	Grupo control C1	Grupo experimental Eagrupado2
1 a 10 puntos	0%	0%
11 a 20 puntos	18%	16%
21 a 30 puntos	76%	74%
31 a 40 puntos	6%	10%

¹ en terminos de los conocimientos manifestados los rangos pueden ser clasificados en: de 1 a 10 puntos conocimiento bajo; de 11 a 20 puntos conocimiento basico; de 21 a 30 puntos conocimiento alto y de 31 a 40 puntos conocimiento superior.

4.2.4. Comparación pre-test vs post-test.

En la tabla 4-6 se muestran los resultados del estadístico Z según la prueba estadística no paramétrica de Wilcoxon, para cada una de las comparaciones pareadas pre-test versus post-test en los grupos trabajados. Empleando un $\alpha = 0,05$, un análisis de dos colas rechazaría la hipótesis de que las medias en el pre-test y en el post-test son iguales para la variable puntaje total si el valor del estadístico Z es inferior al valor $z_{\alpha/2} = -1,96$.

Tabla 4-6. *Resultado del análisis Wilcoxon cuando se comparan los puntajes totales de la prueba diagnóstica pre-test vs post-test.*

Grupos	Pre-test vs post-test (Z)
C1	-3,75
E1	-3,78
E2	-3,37
E3	-3,40

Para la variable puntaje total observamos que el estadístico Z en todos los grupos trabajados es inferior a -1,96, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula de que las medias del pre-test y el post-test son similares estadísticamente ($p < 0,05$). Un análisis empleando la prueba de Wilcoxon de una cola arrojó que todas las medias para la variable puntaje total son superiores en el post-test en cada uno de los grupos trabajados. Resultados similares se obtuvieron al analizar por separado las variables puntaje del primer cuestionario y puntaje del segundo cuestionario.

4.3 IDEAS PREVIAS DE LOS ESTUDIANTES

Se emplearon las respuestas a las preguntas del pre-test para poder caracterizar algunas de las ideas previas de los estudiantes con relación a los conocimientos de la teoría genética. En las tablas 4-7, 4-8 y 4-9 que se muestran a continuación se detallan algunas de las ideas previas encontradas en el estudio.

Tabla 4-7. *Ideas previas de los estudiantes con relación a algunos organismos eucariotas.*

Ideas previas	Humanos	Mamíferos	Insectos	Arboles	Hongos
Se reproducen sexualmente	100%	100%	70%	3,2%	0%
Son organismos multicelulares	86%	86%	54%	62%	22%
Poseen información hereditaria	98%	89%	52%	32%	18%
Poseen genes	95%	87%	51%	29%	11%

Los porcentajes indican la cantidad relativa de estudiantes que aceptan las afirmaciones mencionadas en la columna de las ideas previas.

Tabla 4-8. *Ideas previas de los estudiantes con relación a los arboles.*

Ideas previas	Aceptación¹
Poseen órganos sexuales	60%
Identifican a las flores como órganos sexuales	10%
Poseen gametos	9%

¹ los porcentajes indican la cantidad relativa de estudiantes que aceptan las afirmaciones mencionadas en la columna de las ideas previas.

Tabla 4-9. Ideas previas de los estudiantes con relación a las bacterias.

Ideas previas	Aceptación ¹
No se reproducen sexualmente	60 %
Son organismos unicelulares	54 %
Poseen información hereditaria	27 %
Poseen genes	13 %

¹ Los porcentajes indican la cantidad relativa de estudiantes que aceptan las afirmaciones mencionadas en la columna de las ideas previas.

Otras ideas previas encontradas al estudiar los resultados del pre-test son:

- La herencia biológica reside en la sangre. Solo un 12% de los estudiantes están seguros de que la herencia biológica no reside en la sangre.
- Las diferentes células de un organismo poseen genes diferentes. Solo un 15% de los estudiantes aceptan que todas las células de un organismo multicelular comparten la misma información hereditaria.

Otros hallazgos del estudio son:

- Solo un 29% de los estudiantes pueden ordenar correctamente según su tamaño las siguientes estructuras biológicas: Organismo, célula, núcleo, ADN y gen.
- Solo un 19% de los estudiantes comprenden como los gametos son empleados para transportar los alelos al cigoto y en consecuencia a la siguiente generación.
- El 80% de los estudiantes aceptan que la información hereditaria proviene del padre y de la madre en porcentajes de 50% y 50%, y que los hijos se pueden diferenciar entre sí debido a que toda la información hereditaria no se manifiesta por igual.
- El 83% de los estudiantes aceptan que los hijos pueden manifestar rasgos fenotípicos diferentes a los manifestados por sus padres, siendo esto un evento poco frecuente.

- El 60% de los estudiantes creen que la apariencia es definida por la información hereditaria y no por el medio ambiente.

Resumiendo, la mayoría de los estudiantes poseen ideas previas que dificultan la enseñanza de la teoría genética, por ejemplo la creencia de que solo los humanos y otros organismos cercanos evolutivamente como los mamíferos y réptiles son organismos multicelulares, y que solo ellos se reproducen sexualmente y contienen genes. Para la gran mayoría de los estudiantes, las características biológicas mencionadas están ausentes en otros organismos más alejados de los humanos en términos evolutivos, por ejemplo niegan sistemáticamente que los insectos, arboles y hongos se reproduzcan sexualmente. Los hallazgos sobre las ideas previas de los estudiantes de secundaria son similares a los reportados en otros estudios similares (Banet & Ayuso, 1995, Wood-Robinson et al., 1998; Caballero, 2008). Por otro lado, los estudiantes manifiestan poseer algunas ideas previas viables que pueden facilitar en algún grado la enseñanza de la teoría de genética (nunca antes reportadas en algún estudio), como lo son la creencia en que cada padre le hereda la misma cantidad de material genético a cada de sus hijos o la creencia en la poca influencia que posee el medio ambiente en la determinación de la apariencia física de los organismos.

De acuerdo a las respuestas a cada una de la preguntas en los cuestionarios del post-test, se observa que los estudiantes en todos los grupos trabajados modifican en parte sus ideas previas con relación a la reproducción en las plantas e insectos, pero solo los estudiantes de los grupos experimentales mejoran notable su desempeño al emplear el conocimiento conceptual aprendido en la resolución de situaciones problema (problemas del segundo cuestionario en el post-test).

4.4 ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

A partir las valoraciones de cada uno de los indicadores de desempeño estudiantil (resultados mostrados en las graficas 4-1 y 4-2), se puede inferir que:

- La mayoría de los estudiantes de grado noveno en educación básica secundaria objeto de la intervención pedagógica pueden autónomamente formular, validar y emplear modelos científicos relacionados con la teoría de la genética clásica (no

molecular). La población estudiantil objeto de estudio es capaz de crear conocimiento y aprenden significativamente de él.

- La propuesta didáctica semanticista desarrolla promueve que la población estudiantil objeto de intervención pedagógica logre formular, validar y emplear adecuadamente modelos científicos relacionados con la teoría genética clásica (no molecular).
- La propuesta didáctica semanticista desarrollada logro en un alto grado motivar a los estudiantes objeto de estudio en el desarrollo del ciclo de aprendizaje 1 propuesto. Por el momento, no podemos afirmar si la motivación manifestada por los estudiantes es de naturaleza intrínseca (deseos de aprender y entender el mundo) o extrínseca (deseos de obtener buenas valoraciones para aprobar el curso de ciencias naturales).

Por el momento las inferencias se realizaron con relación a la población estudiantil intervenida pedagógicamente, esperamos en un futuro desarrollar implementaciones de la propuesta en diversos ambientes escolares con el fin validar nuestras inferencias en un contexto más general. Como consecuencia de las inferencias realizadas rechazamos los planteamientos de Lawson (1983) y de Mitchell & Lawson (1988), sobre la imposibilidad de un aprendizaje adecuado de la genética por parte de alumnos de secundaria, ya que según estos autores los estudiantes de secundaria aun no poseen un desarrollo adecuado de las habilidades de pensamiento formal. La experiencia en la implementación piloto, fue que la mayoría de los estudiantes intervenidos manifestaban al inicio del proceso de enseñanza poco desarrollo de las habilidades de pensamiento formal como el razonamiento probabilístico, proporcional y combinatorio, y el análisis hipotético-deductivo. Sin embargo, tales dificultades fueron solucionadas por medio del empleo de didácticas promotoras del desarrollo de las habilidades de pensamiento formal (como el empleo de resolución de problemas del tipo efecto-causa), siendo estas didácticas parte de la propuesta didáctica semanticista desarrollada. Un aprendizaje de la teoría de la genética clásica (no molecular) es posible por parte del alumnado de secundaria, siempre que se empleen estrategias didácticas adecuadas que fomenten el desarrollo de las habilidades de pensamiento formal (Walker et al., 1980).

La tabla 4-10 resume los principales resultados obtenidos al analizar los puntajes obtenidos por los estudiantes en el pre-test y el pos-test.

Tabla 4-10. Principales resultados en el análisis de los aprendizajes y su interpretación.

Resultado	Interpretación
1. Homogeneidad entre todos los grupos trabajados según el pre-test (puntaje total, puntaje del primer y segundo cuestionario).	1. Antes del proceso de enseñanza los estudiantes de los grupos trabajados compartían concepciones similares relacionadas con la teoría genética.
2. Homogeneidad entre todos los grupos trabajados en el post-test (de acuerdo al puntaje total y el puntaje primer cuestionario).	2. La propuesta didáctica semanticista tuvo igual impacto que la didáctica expositiva tradicional en los aprendizajes estudiantiles percibidos.
3. Heterogeneidad de los grupos experimentales versus el grupo control en el post-test (de acuerdo a los puntajes del segundo cuestionario).	3. Los estudiantes de los grupos experimentales emplean mejor sus aprendizajes en la resolución de problemas que los estudiantes del grupo control C1.
4. En cada uno de los grupos trabajados, los resultados del post-test fueron superiores a los resultados del pre-test (de acuerdo a las comparaciones pareadas empleando la prueba Wilcoxon y los cambios en la distribución de los estudiantes por rangos de puntajes totales, esto último percibido al comparar las tablas 4-3 y 4-5).	4. En cada grupo los estudiantes manifestaron haber logrado aprendizajes luego del proceso de enseñanza.

Los estudiantes en su mayoría comparten un conjunto de ideas previas (modelos ingenuos) con relación a la teoría de la genética, concepciones estas muy difíciles pero no imposibles de reversar (resultado 1 en la tabla 4-12). Las ideas previas detectadas son similares a las previamente encontradas en otros estudios similares (Banet & Ayuso, 1995, Wood-Robinson et al., 1998; Caballero, 2008). La evidencia obtenida de los superiores puntajes totales en el post-test con relación a los puntajes totales en el pre-test en cada uno de los grupos trabajados, es un indicativo de que varias ideas previas sufrieron modificación durante el proceso de enseñanza (resultado 4 en la tabla 4-12). Sin embargo, no es posible validar la hipótesis de trabajo formulada en la sección 4.1.3, la cual hace mención de la superioridad de los aprendizajes logrados por medio de la aplicación en el aula de la propuesta didáctica semanticista en comparación con los resultados de aprendizaje logrados por medio del empleo de didácticas expositivas tradicionales (resultado 2 en la tabla 4-12). Si la hipótesis formulada fuera verdadera

esperaríamos puntajes totales más altos en los post-test de los estudiantes pertenecientes a los grupos experimentales versus el grupo control C1, hecho que no sucedió. Es importante resaltar que el empleo de la propuesta didáctica semanticista produjo aprendizajes significativos, esto manifestado en el hecho de que los estudiantes pertenecientes a los grupos experimentales emplearon mejor su conocimiento en situaciones de resolución de problemas en comparación a los estudiantes pertenecientes al grupo control C1 (resultado 3 y 4 en la tabla 4-12).

A pesar de que no es posible demostrar que los aprendizajes logrados al emplear la propuesta didáctica semanticista son superiores a los logrados empleando propuestas didácticas expositivas tradicionales, aun es posible afirmar que la propuesta didáctica desarrollada es apropiada para un adecuado aprendizaje de la teoría genética, por las siguientes consideraciones:

- La propuesta didáctica promueve el desarrollo de competencias científicas como el desarrollo de hipótesis, la formulación de modelos, la experimentación como estrategia para validar formulaciones teóricas y el uso eficiente de modelos en diversos contextos.
- Se postula que el aprendizaje manifestado por los estudiantes del grupo control C1 es el máximo posible empleando la didáctica expositiva tradicional. En cambio, aprendizajes más completos y correctos pueden ser logrados empleando la propuesta didáctica semanticista, esto debido a que es posible mejorar tanto el material de las guías de trabajo en clase como el desempeño del docente. Por ejemplo, se puede adicionar al ciclo de aprendizaje 1 el requerimiento de la elaboración un segundo diseño experimental empleando como modelo biológico una especie vegetal, y de esta forma mejorar la comprensión de la reproducción vegetal por parte de los estudiantes.

4.5 DIFICULTADES Y REQUISITOS

A partir de la información del diario de campo (instrumento empleado para llevar registro de todas las observaciones notables del proceso de enseñanza-aprendizaje llevado a cabo en cada una de las secciones de trabajo), se puede afirmar que las dificultades más relevantes que se manifestaron durante el proceso de implementación de la propuesta didáctica semanticista fueron:

- Las ideas previas de los estudiantes. Como se evidencio, los estudiantes usualmente llegan a un curso de genética con ideas previas claramente contrarias al conocimiento científico oficial, dichas concepciones dificultan la enseñanza de la genética ya que obligan a realizar aclaraciones constantes de temas tratados en otros cursos anteriores de ciencias naturales.
- Frente al poco desarrollo de habilidades de pensamiento formal como el análisis hipotético-deductivo, el manejo de operaciones de combinatoria y probabilidad, el docente debe realizar algunas intervenciones directas con el fin de que los estudiantes comprendan como se calcula correctamente un porcentaje o una combinatoria.
- Respecto a las actitudes manifiestas hacia el aprendizaje significativo, aunque no fue el objeto del presente estudio, se percibió que los estudiantes en todos los grupos trabajados manifestaban poseer las características mencionadas por Cavallo & Schafer (1994) acerca de las diferentes orientaciones posibles hacia el aprendizaje significativo.

Estas dificultades constituían aproximadamente el 80% de las anotaciones en el diario de campo. Se propone para una posterior implementación de la propuesta didáctica semanticista cuantificar de forma precisa como cada una de estas dificultades percibidas afectan el proceso de aprendizaje de la genética clásica (no molecular).

Por otro lado, son pocos los requisitos necesarios para la implementación de la propuesta didáctica semanticista, de los cuales los más relevantes son:

- Un conocimiento profundo tanto de la didáctica por modelamiento como también de la teoría genética basada en el enfoque semanticista por parte del docente encargado de la enseñanza.
- El material de las guía de trabajo en clase. Es requisito que todos los estudiantes dispongan del material de las guías de trabajo en clase, si dicho material no se encuentra disponible en su debido momento o es compartido entre varios

estudiantes, la eficacia de la propuesta didáctica semanticista estaría fuertemente comprometida.

1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Las principales conclusiones del presente trabajo son:

- A partir de la revisión teórica, se evidenció que en la actualidad el Ministerio de Educación Nacional no recomienda la enseñanza de la teoría de la genética clásica (no molecular) en cursos de ciencias naturales al nivel de básica secundaria, lo cual se contrapone a las recomendaciones de los pedagogos especialistas en enseñanza de la biología.
- Las ideas previas de los estudiantes relacionadas con la genética clásica (no molecular) detectadas son similares a las previamente reportadas por Banet & Ayuso (1995), Wood-Robinson et al., (1998) y Caballero (2008).
- Es posible proponer una secuencia didáctica para la enseñanza de la genética clásica (no molecular) basada en el modelamiento por ciclos de aprendizaje según Halloun (2004).
- Los estudiantes de grado noveno de educación básica secundaria pertenecientes a los grupos experimentales poseen las capacidades necesarias y suficientes para la formulación, validación y usos de modelos científicos pertenecientes a la teoría de la genética clásica (no molecular). Esto evidenciado en los altos valores obtenidos para los indicadores de desempeño estudiantil.
- La propuesta didáctica semantocéntrica para la enseñanza de la teoría genética clásica (no molecular) logra producir aprendizajes significativos en los estudiantes pertenecientes a los grupos experimentales. Esto evidenciado en los resultados de las comparaciones pareadas pre-test versus post-test en los grupos experimentales.
- Los aprendizajes obtenidos por medio del empleo de la propuesta didáctica semantocéntrica son similares a los logrados al emplear una propuesta didáctica

expositiva tradicional en la población estudiantil objeto de estudio. Esto evidenciado en los resultados de las comparaciones de los grupos experimentales versus el grupo control en el post-test.

- Las principales dificultades para la implementación de la propuesta semanticista para la enseñanza de la genética clásica (no molecular) son: i) Las ideas previas erróneas; ii) el poco desarrollo de habilidades de pensamiento formal y iii) las actitudes manifiestamente negativas hacia el aprendizaje significativo.

5.2 RECOMENDACIONES

A partir de la experiencia obtenida tanto al diseñar como al implementar en el aula la propuesta didáctica semanticista, permitió percibir la necesidad de:

- Modificar en algunos aspectos las guías de trabajo en clase pertenecientes al ciclo de aprendizaje 1, adicionando el requerimiento de la elaboración de diseños experimentales que involucren organismos vegetales.
- Determinar el grado del desarrollo de las habilidades de pensamiento formal previo a las actividades de enseñanza, esto con el fin de poder determinar cómo dicho factor afecta los procesos de aprendizaje de la genética clásica (no molecular).
- Catalogar a los estudiantes dependiendo de sus actitudes manifiestas al aprendizaje significativo previo a las actividades de enseñanza, esto con el fin de poder determinar cómo estas actitudes afectan los procesos de aprendizaje de la genética clásica (no molecular).
- La necesidad del diseño de actividades lúdicas que involucren juegos serios para las fases de abducción y formulación de los modelos en los diversos ciclos de aprendizaje. Esto ocasionaría que la exploración que se realiza en dichas fases fuera más agradable y hasta divertida. Instrumentos lúdicos como los videos juegos, las simulaciones y la realidad virtual son elementos que hoy en día hay que tener en cuenta en el desarrollo de cualquier propuesta de enseñanza de las ciencias naturales, y estos pueden ser adecuadamente trabajados con una finalidad pedagógica dentro ciclos de aprendizaje propuestos para la enseñanza de la genética clásica (no molecular).

BIBLIOGRAFÍA

- Adúriz-Bravo, A. (2010). Concepto de modelo científico: Una mirada epistemológica de su evolución. En L. Galagovsky (Ed.), *Didáctica de las ciencias naturales: El caso de los modelos científicos* (pp. 141-161). Buenos Aires: Lugar Editorial.
- Ariza, Y., Lorenzano, P., & Adúriz-Bravo, A. (2010). Dificultades para la introducción de la “familia semanticista” en la didáctica de las ciencias naturales. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 6(1), 59-74.
- Bachelard, G. (2003). *La filosofía del no*. Buenos Aires: Amorrortu Editores.
- Balzer, W., & Dawe, C. M. (1997). *Models for Genetics*. Frankfurt: Peter Lang.
- Balzer, W., & Lorenzano, P. (1997). The logical structure of classical genetics. *Journal for General Philosophy of Science*, 31(2), 243-266.
- Banet, E., & Ayuso, E. (1995). Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y bachillerato: I. Contenidos de enseñanza y conocimiento de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), 137-153.
- Banet, E., & Ayuso, E. (2003). Teaching of biological inheritance and evolution of living beings in secondary school. *International Journal of Science Education*, 25(3), 373-407.
- Bugallo, A. (1995). La didáctica de la genética: Revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(3), 379-385.
- Burian, R. (2013). On Gene Concepts and Teaching Genetics: Episodes from Classical Genetics. *Science & Education*, 22(2), 325-344.
- Caballero, M. (2008). Algunas ideas del alumnado de secundaria sobre conceptos básicos de genética. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(2), 227-243.

- Cartier, J. L., & Stewart J. (2000). Teaching the Nature of Inquiry: Further Developments in a High School Genetics Curriculum. *Science & Education*, 9(3), 247-267.
- Cavallo, A., & Schafer, L. (1994). Relationships between student's meaningful learning orientation and their understanding of genetics topics. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(4), 393-418.
- Chamizo, J. A. (2010). Una Tipología de los Modelos para la Enseñanza de las Ciencias. *Revista Eureka de Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(1), 26-41.
- Chan, Y., & Walmsley, R. (1997). Learning and Understanding the Kruskal-Wallis One-Way Analysis-of-Variance-by-Ranks Test for Differences Among Three or More Independent Groups. *Physical Therapy*, 77(12), 1755-1761.
- Chao, L. (1978). *Estadística para las ciencias Administrativas*. Bogotá: Editorial McGraw-Hill.
- Cho, H.M., Kahle, J.B., & Nordland, F.H. (1985). An investigation of high School biology textbooks as sources of misconceptions and difficulties in genetics and some suggestions for teaching genetics. *Science Education*, 69(5), 707-719.
- Clement, J. J. (2008). *Model Based Learning and Instruction in Science*. New York: Springer.
- de Zubiria, J. (2001). *De la escuela nueva al constructivismo: un análisis crítico*. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio.
- Develaki, M. (2007). The model-based view of scientific theories and the structuring of school science programmes. *Science & Education*, 16(7), 725-749.
- Finley, F., Stewart, J., & Yaroch, W. (1982). Teacher's perceptions of important and difficult science content: The report of a survey. *Science Education*, 66(4), 51-57.
- Fourez, G. (1994). *La construcción del conocimiento científico: Filosofía y ética de la ciencia*. Madrid: Narcea.
- Galagovsky, L. (Ed.). (2010). *Didáctica de las ciencias naturales: el caso de los modelos*. Buenos Aires: Lugar.

- Gallego, R. (2004). Un concepto epistemológico de Modelo para la Didáctica de las Ciencias Experimentales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3(3) 301-319.
- García, J. (2003). *Didáctica de las ciencias: Resolución de problemas y desarrollo de la creatividad*. Bogotá: Didácticas Magisterio.
- Giere, R. N. (1988). *Explaining science: A cognitive approach*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Giere, R. N. (1999). *Science without laws*. Chicago: University of Chicago Press.
- Giere, R.N. (2006). *Scientific Perspectivism*. Chicago: University of Chicago Press.
- Gilbert, J., & Boulter, C. (Ed.). (2000). *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer.
- Gil-Pérez, D., Guisasola J., Moreno, A., Cachapuz, A., Pessoa de Carvalho, A. M., Torrefrosa, J.,...Gallego, R. (2001). Defending Constructivism in Science Education. *Science & Education*, 11(6), 557-571.
- Griffiths, A., Miller, J., Suzuki, D., Lewontin, R., & Gelbart, W. (2002). *Genética*. Madrid: McGraw-Hill.
- Hackling, M.W., & Treagust, D. (1984). Research data necessary for meaningful review of grade ten high school genetics curricula. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(7), 531-546.
- Hafner, R., & Culp, S. (1996). Elaborating the Structure of a Science Discipline to Improve Problem-Solving Instruction: An Account of Classical Genetics' Theory Structure, Function, and Development. *Science and Education*, 5 (4), 331-355.
- Halloun, I. A. (2004). *Modeling theory in science education*. Dordrecht: Kluwer.
- Halloun, I. A. (2007). Mediated modeling in science education. *Science & Education*, 16(7) 653-697.
- Halloun, I. A. (2011). From Modeling Schemata to the Profiling Schema: Modeling Across the Curricula for Profile Shaping Education. En M. S. Khine & I. M. Saleh (Ed.), *Model and modeling: Cognitive tools for scientific inquiry* (pp. 77-98). Dordrecht: Springer.

- Iñiguez, F., & Puigcerver, M. (2013). Una propuesta didáctica para la enseñanza de la genética en la Educación Secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10(3), 307-327.
- Izquierdo-Aymerich, M., & Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12(1), 27-43.
- Johnstone, A.H., & Mahmoud. (1992). Isolating topics of high perceived difficulty in school biology. *Journal of Biological Education*, 14(2), 163-166.
- Johnson-Laird, P. N. (1980). Mental models in Cognitive Science. *Cognitive Science*, 4(1), 71-115.
- Johnson, S. K., Stewart, J. (1990). Using philosophy of science in curricula development: an example from high school genetics. *International Journal of Science Education*, 12(3), 297-307.
- Justi, R. (2006). La Enseñanza de Ciencias Basada en la Elaboración de Modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- Kelly, G. A. (1955). *The Psychology of Personal Constructs, Volumen 1*. New York: W. W. Norton & Co. Inc.
- Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: The University Press.
- Lawson, A.E. (1983). Predicting science achievement: The role of development level, disembedding ability, mental capacity, prior knowledge, and beliefs. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(2), 117-129.
- Lewis, J., Leach, J., & Wood-Robinson, C. (2000). All in the genes? Young people's understanding of the nature of genes. *Journal of Biological Education*, 34(2), 74-79.
- Lorenzano, P. (1998). Hacia una reconstrucción estructural de la genética clásica y de sus relaciones con el mendelismo. *Episteme*, 3(5), 89-117.
- Lorenzano, P. (2002a). La Concepción Estructuralista en el Contexto de la Filosofía de las Ciencia del Siglo XX. En J. A, Diez & P. Lorenzano (Ed.), *Desarrollos Actuales de la Metateoría Estructuralista: Problemas y Discusiones* (pp. 13-78). Buenos Aires: Editorial Universidad Nacional de Quilmes.

- Lorenzano, P. (2002b). *La Teoría del Gen y la Red Teórica de la Genética*. En J. A. Diez & P. Lorenzano (Ed.), *Desarrollos Actuales de la Metateoría Estructuralista: Problemas y Discusiones* (pp. 263-304). Buenos Aires: Editorial Universidad Nacional de Quilmes.
- Lombardi, O. (2011). Los modelos como mediadores entre teoría y realidad. En L. Galagovsky (Ed.), *Didáctica de las Ciencias Naturales: El caso de los modelos* (pp. 83-94). Buenos Aires: Lugar.
- Martinez-Chavanz, R. (2010). La Noción de Modelo en el Enfoque Semántico de las Teorías. *Praxis Filosófica*, 1(31), 169-185.
- Miller, W. (2013). *OpenStat Reference Manual*. New York: Springer.
- Mitchell, A., & Lawson, A. E. (1988). Predicting Genetics achievement in nonmajors college biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(1), 551-553.
- Pozo, J. I., & Gómez, M. A. (2009). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.
- Radford, A., & Bird-Stewart, J. A. (1982). *Teaching genetics in schools*. *Journal of Biological Education*, 16(3), 177-1980.
- Ramagoro, G., & Wood-Robinson, C. (1995). Botswana children's understanding of biological inheritance. *Journal of Biological Education*, 29(1), 60-71.
- Schmidt, M. (2006). Estándares Básicos de Competencias en Lenguaje, Matemáticas, Ciencias y Ciudadanas. Recuperado de:
<http://www.mineducacion.gov.co/1621/article-116042.html>
- Simmons, P. E., & Lunetta, V. L. (1993). Problem-solving during genetics computer simulation: Beyond the expert/novice dichotomy. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(2), 153-173.
- Stewart, J. (1988). Potential learning outcomes from solving genetics problems: A typology of problems. *Science Education*, 72(2), 237-254.
- Sturtevant, A. (1965). *A history of genetics*. New York: Harper & Row Publishers.
- Suppe, F. (2000). Understanding scientific theories: An Assessment of Developments, 1969-1998. *Philosophy of science* 67, S102-S115 (Proceedings).

Thompson, J., Hellack, J., Braver, G., & Durica, D. (2007). *Primer of Genetics Analysis: A Problems Approach*. Cambridge: Cambridge University Press.

Walker, R.A., Hendrix, J.R., & Mertens, T.R. (1980). Sequenced instruction in genetics and Piagetian cognitive development. *The American Biology Teacher*, 42(2), 104-108.

Wendel, P. J. (2008). Models and Paradigms in Kuhn and Halloun. *Science & Education*, 17(1), 131-141.

Wood-Robinson, C., Lewis, J., Leach, J., & Driver, R. (1998). Genética y formación científica: Resultados de un proyecto de investigación y sus implicaciones sobre los programas escolares y la enseñanza. *Enseñanza de las ciencias*, 16(1), 43-61.

A. Anexo: Modelos especializados de la teoría genética clásica (no molecular)

A.1 MODELO ESPECIALIZADO 2.

A continuación se describe el modelo especializado 2: herencia equi-probable de factores alelos, un gen con dominancia incompleta. Las dimensiones dominio y composición de este modelo especializado son idénticas a las del modelo especializado 1. La dimensión organización se puede observar claramente en la figura 2-1. La dimensión estructura de este modelo especializado es similar a la dimensión estructura del modelo especializado 1, se diferencian solo en las facetas estados e interacción. A continuación se detallan estas diferencias.

A.1.1 Dimensión estructura

- **Faceta Estado.**

Para definir el estado del sistema modelo empleamos la primera ley de Mendel:

Si dos organismos homocigotos para una un gen relacionado a una característica fenotípica en particular se cruzan, su descendencia en un 100% será similar en apariencia en dicha característica del fenotipo.

Dos leyes similares que complementan a la anterior son:

- a. Si dos organismos heterocigotos para una un gen relacionado a una característica fenotípica en particular se cruzan, su descendencia en un 50%

será similar en apariencia a sus padres y un 50% manifestaran apariencias diferente a la de sus padres.

- b. Si un organismo heterocigoto se cruza con un organismo homocigoto recesivo para un gen relacionado a una característica fenotípica en particular se cruzan, su descendencia en un 50% será similar en apariencia a uno de sus padres y el otro 50% será similar en apariencia al otro padre.

- **Faceta Interacción.**

Para explicar la interacción entre los alelos de los padres y los alelos de la progenie se emplea la segunda ley de Mendel:

Los dos alelos de un gen se distribuyen separadamente entre los gametos, de tal forma que la mitad de los gametos son portadores de un alelo y la otra mitad porta el otro alelo.

Empleando esta ley podemos concretar la forma precisa de la función **COMBINADOR**. Los genotipos investigados solo poseen un componente o gen de la forma:

$$\gamma_1 = \langle a_1, a_2 \rangle$$

$$\gamma_2 = \langle a_3, a_4 \rangle$$

Cada individuo genético (γ_1, γ_2) posee dos alelos relacionados con un solo gen a , a_1 y a_2 son los alelos del individuo genético γ_1 , a_3 y a_4 son los alelos del individuo genético γ_2 . Cada uno de los elementos a_1, a_2, a_3, a_4 , pueden tomar la forma de alguno de dos factores alelos f_1, f_2 del gen trabajado. Entonces, la función **COMBINADOR** toma la forma:

$$\text{COMB} (\langle a_1, a_2 \rangle, \langle a_3, a_4 \rangle) = (\frac{1}{2}a_1 + \frac{1}{2}a_2) \times (\frac{1}{2}a_3 + \frac{1}{2}a_4) = \frac{1}{4}a_1a_3 + \frac{1}{4}a_1a_4 + \frac{1}{4}a_2a_3 + \frac{1}{4}a_2a_4$$

Donde cada término en el resultado manifiesta los posibles genotipos de cada uno de los 4 descendientes, y el coeficiente es la frecuencia relativa de dicho genotipo en la distribución fenotípica.

Para explicar la interacción entre los alelos de los padres y los fenotipos empleamos la siguiente ley de interacción:

Los organismos heterocigotos manifestaran un fenotipo particular intermedio al manifestado por los organismos homocigotos dominantes y recesivos.

Empleando esta ley podemos concretar la forma precisa de la función **DETERMINADOR**. Son tres los posibles fenotipos que puede manifestar la población de individuos genéticos J (fenotipos señalados con P_1 , P_2 y P_3). Existen dos factores alelos del gen trabajado, alelos señalados con f_1 , f_2 . En este caso la función determinador **DET** toma la siguiente forma:

$$\text{DET}(f_1, f_1) = P_1$$

$$\text{DET}(f_1, f_2) = P_2$$

$$\text{DET}(f_2, f_1) = P_2$$

$$\text{DET}(f_2, f_2) = P_3$$

Lo anterior significa que cada individuo genético que posea dos alelo f_2 manifestara el fenotipo P_1 , cada individuo genético que posea los alelos f_2 y f_1 manifestara el fenotipo P_2 y solo se manifestara el fenotipo P_3 cuando el individuo genotipo posea dos alelos f_1 .

A.1.2 Ejemplo de un modelo representacional relacionado con el modelo especializado 2

Un referente de este modelo lo encontramos en la herencia del color de las hojas en las plantas de género *Coleus* (figuras A-1 y A-2). En esta aplicación pretendida del modelo trabajado, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

El carácter fenotipo es color de las hojas, el cual posee tres formas o rasgos alternativas P_1 : hojas verdes, P_2 : hojas pardas y P_3 : hojas purpuras.

2. El componente genotípico o gen es color hoja, el cual posee dos factores alelos f_1 : color verde, y f_2 : color purpura.

3. Por simplicidad en la simbología hemos tomado $f_1 = Y$, y $f_2 = y$.

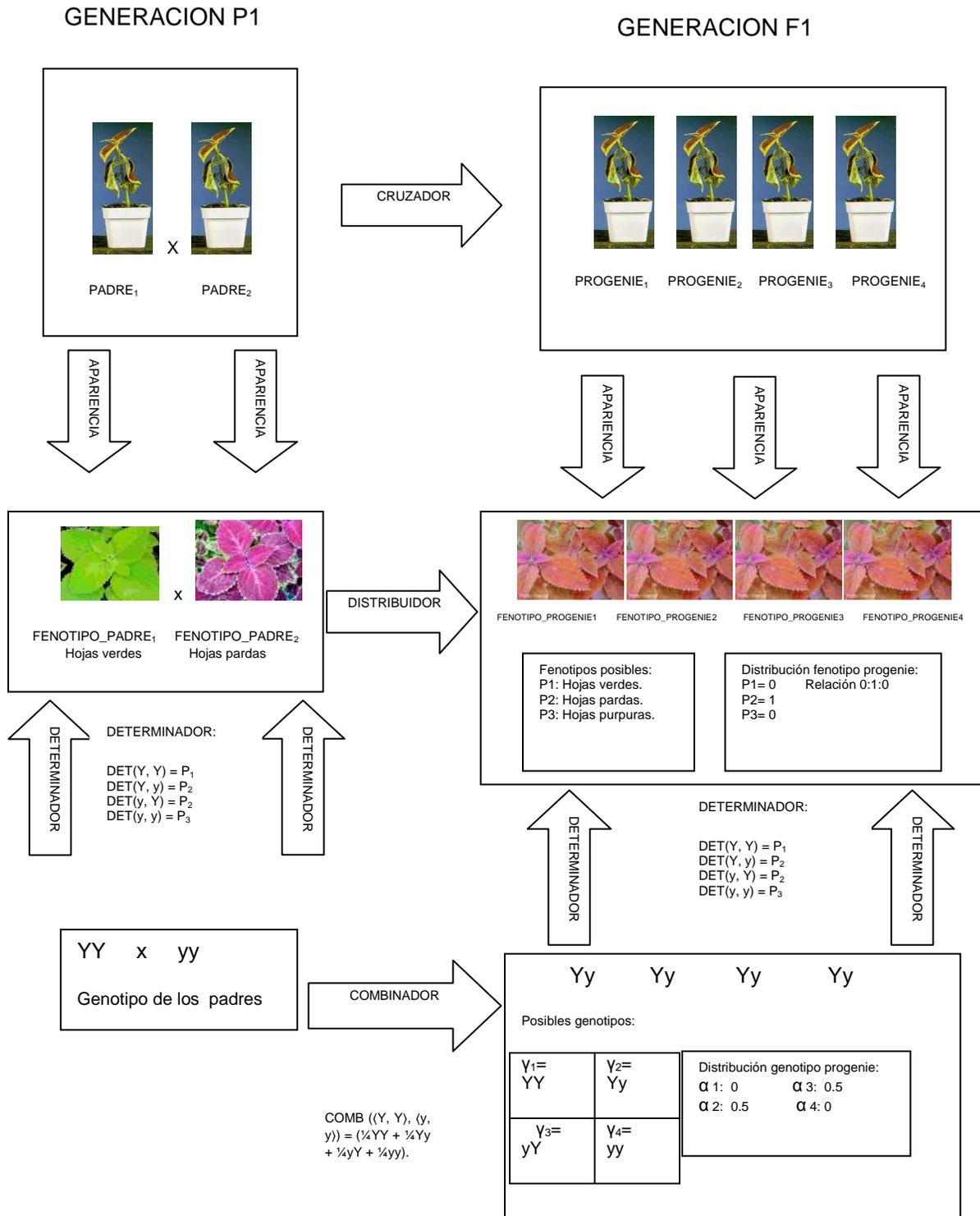


Figura A-1. Modelo especializado 2: cruce homocigoto x homocigoto en la herencia del carácter color de las hojas en plantas del genero *Coleus*.

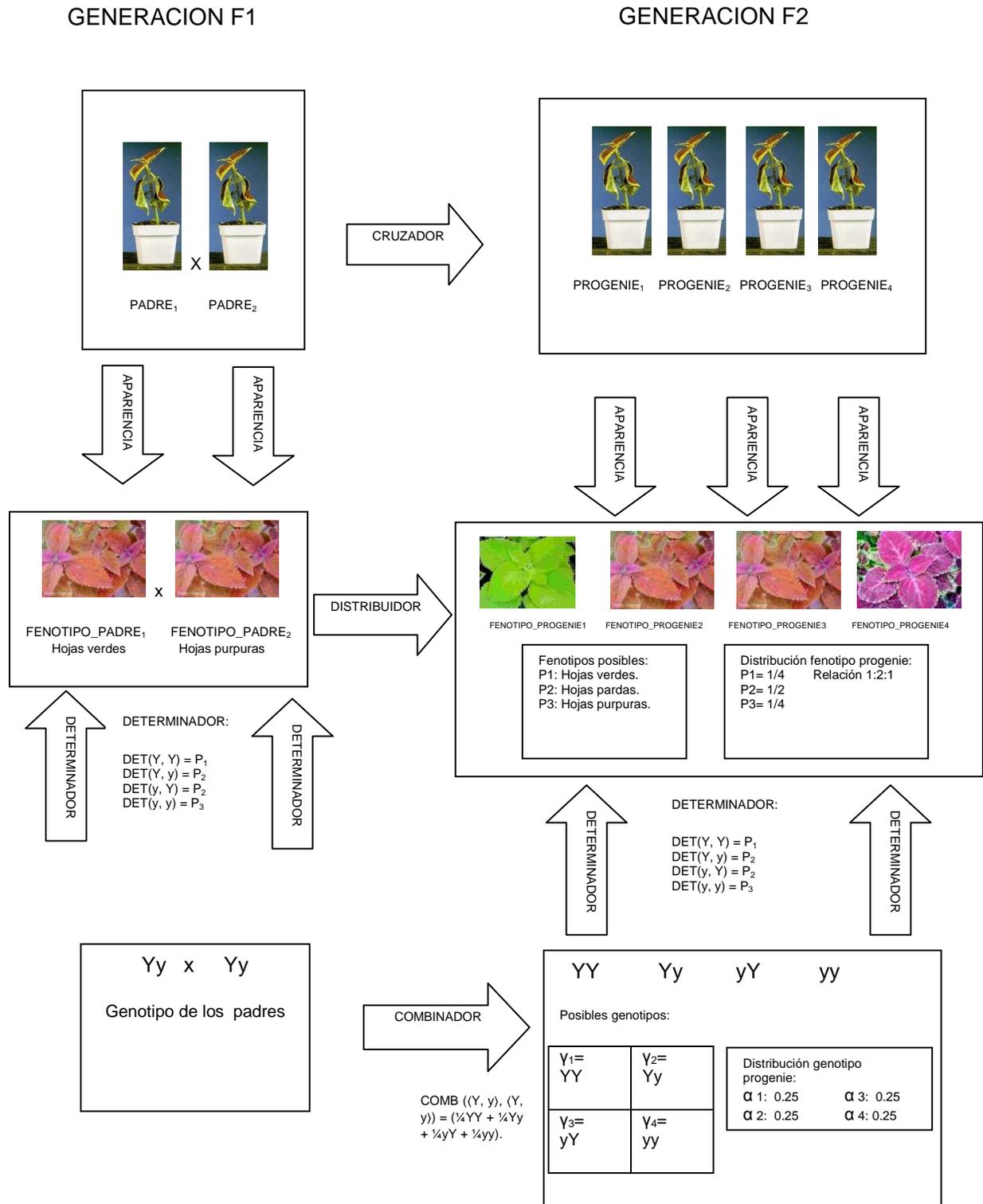


Figura A-2. Modelo especializado 2: cruce heterocigoto x heterocigoto en la herencia del carácter color de las hojas en plantas del genero *Coleus*.

A.2 MODELO ESPECIALIZADO 3.

A continuación se describe el modelo especializado 3: herencia equi-probable de factores alelos, dos genes con dominancia completa. La dimensión dominio de este modelo especializado es idéntica a la del modelo especializado 1. La dimensión organización se puede observar claramente en la figura 2-1. La dimensión composición es similar a la del modelo especializado 1, se diferencian solo en las siguientes restricciones y especificaciones:

- a. Se trabajan solo dos genes, los cuales manifiestan poseer dos alelos cada uno de ellos.
- b. Uno de los dos genes determina que rasgos manifestara un solo carácter fenotípico, de esta forma el otro gen determina que rasgo manifestara otro carácter fenotípico.

La dimensión estructura de este modelo especializado es similar a la dimensión estructura del modelo especializado 1, se diferencian en las facetas estados e interacción. A continuación se detallan estas diferencias.

A.2.1 Dimensión estructura

- **Faceta Estado.**

Para definir el estado del sistema modelo empleamos la primera ley de Mendel:

Si dos organismos homocigotos para cada uno de los dos genes relacionados con dos características fenotípicas en particular se cruzan, su descendencia en un 100% será similar en apariencia para dichas características del fenotipo.

Dos leyes similares que complementan a la anterior son:

Si dos organismos heterocigotos para una de los dos genes relacionados con dos características fenotípicas en particular se cruzan, su descendencia manifestara una diversidad en el fenotípico según la relación 9:3:3:1

- **Faceta Interacción.**

Para explicar la interacción entre los alelos de los padres y los alelos de la progenie se emplea la segunda ley de Mendel:

Los dos alelos de un gen se distribuyen separadamente entre los gametos, de tal forma que la mitad de los gametos son portadores de un alelo y la otra mitad porta el otro alelo.

Empleando estas leyes, podemos concretar la forma precisa de la función **COMBINADOR**. Para el caso concreto de genotipos que posean dos componentes de la forma:

$$\gamma_1 = \langle (a_1, a_2), (b_1, b_2) \rangle$$

$$\gamma_2 = \langle (a_3, a_4), (b_3, b_4) \rangle$$

Donde cada uno de los elementos a_1, a_2, a_3, a_4 pueden tomar la forma de alguna de dos factores alelos f_1, f_2 del gen 1 y cada uno de los elementos b_1, b_2, b_3 y b_4 pueden tomar la forma de alguno de los dos factores alelos f_3, f_4 del gen 2. La función combinador **COMB** toma la forma:

$$\text{COMB}(\gamma_1, \gamma_2) = (\frac{1}{4}a_1b_1 + \frac{1}{4}a_1b_2 + \frac{1}{4}a_2b_1 + \frac{1}{4}a_2b_2) (\frac{1}{4}a_3b_3 + \frac{1}{4}a_3b_4 + \frac{1}{4}a_4b_3 + \frac{1}{4}a_4b_4) = \frac{1}{16}a_1a_3b_1b_3 + \frac{1}{16}a_1a_3b_1b_4 + \dots + \frac{1}{16}a_2a_4b_2b_3 + \frac{1}{16}a_2a_4b_2b_4$$

Para explicar la interacción entre los alelos y los fenotipos empleamos la siguiente ley de interacción:

Si un organismo posee un alelo dominante manifestara un rasgo fenotípico dominante, solo se manifestara un rasgo fenotípico recesivo cuando el organismo posea dos alelos recesivos.

Empleando esta ley podemos concretar la forma precisa de la función **DETERMINADOR**. Son cuatro los posibles fenotipos que manifestaran la población de individuos genéticos J (fenotipos señalados con P_1, P_2, P_3 y P_4). Existen dos componentes del genotipo G_1 o genes, con dos factores alelos para cada uno de ellos. f_1, f_2 son factores alelos del gen 1, siendo f_2 un factor alelo

dominante sobre f_1 , y f_3 , f_4 son factores alelos para el gen 2, siendo f_4 un factor alelo dominante sobre f_3 . Entonces, la función determinador **DET** toma la siguiente forma:

$$\begin{array}{l}
 \text{DET}(f_1, f_2, f_3, f_4) = P_1 \quad \text{DET}(f_1, f_1, f_3, f_4) = P_2 \quad \text{DET}(f_1, f_2, f_3, f_3) = P_3 \quad \text{DET}(f_1, f_1, f_3, f_3) = P_4 \\
 \text{DET}(f_1, f_2, f_4, f_3) = P_1 \quad \text{DET}(f_1, f_1, f_4, f_3) = P_2 \quad \text{DET}(f_2, f_1, f_3, f_3) = P_3 \\
 \text{DET}(f_2, f_1, f_3, f_4) = P_1 \quad \text{DET}(f_1, f_1, f_4, f_4) = P_2 \quad \text{DET}(f_2, f_2, f_3, f_3) = P_3 \\
 \text{DET}(f_2, f_1, f_4, f_3) = P_1 \\
 \text{DET}(f_1, f_2, f_4, f_4) = P_1 \\
 \text{DET}(f_2, f_1, f_4, f_4) = P_1 \\
 \text{DET}(f_2, f_2, f_4, f_4) = P_1 \\
 \text{DET}(f_2, f_2, f_4, f_3) = P_1 \\
 \text{DET}(f_2, f_2, f_3, f_4) = P_1
 \end{array}$$

A.2.2. Ejemplo de un modelo representacional relacionado con el modelo especializado 3

Las figuras A-3 y A-4 muestran una representación grafica completa del modelo 3, con todas las dimensiones del esquema del modelo desarrolladas para el caso de la herencia de dos caracteres, la textura y color de las semillas en los guisantes trabajados por Mendel. En este caso de una aplicación pretendida del modelo, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Las plantas guisantes pueden manifestar cuatro diferentes fenotipos:
 - P1: Semilla lisa y color amarillo.
 - P2: Semilla lisa y color verde.
 - P3: Semilla rugosa y color amarillo.
 - P4: Semilla rugosa y color verde.
2. Existen dos genes, el primero es textura semilla, el cual posee dos factores alelos f_1 : semilla lisa, y f_2 : semilla rugosa, siendo el factor alelo f_1 es dominante en presencia de f_2 . El segundo gen es color semilla, el cual posee dos factores alelos f_3 : semilla amarilla, y f_4 : semilla verde, siendo el factor alelo f_1 es dominante en presencia de f_2 .
3. Por simplicidad en la simbología hemos tomado $f_1=a$, $f_2=A$, $f_3=b$, $f_4=B$.
4. Los objetos se encuentran ubicados en cuadros y las funciones se ubicadas en la flechas.

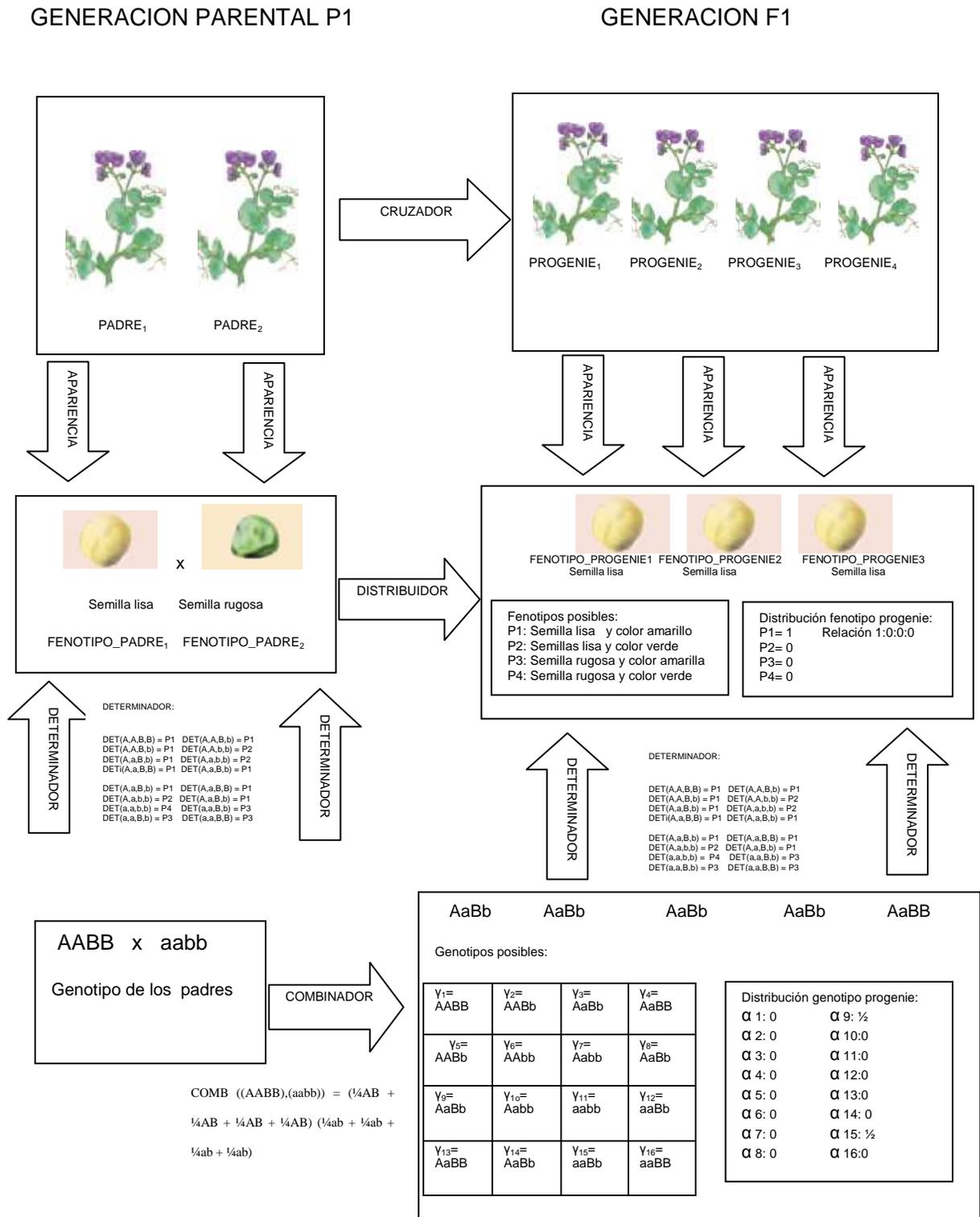


Figura A-3. Modelo especializado 3: cruce doble homocigoto dominante x doble homocigoto recesivo en la herencia del los caracteres textura de la semilla y color de la semilla en los guisantes.

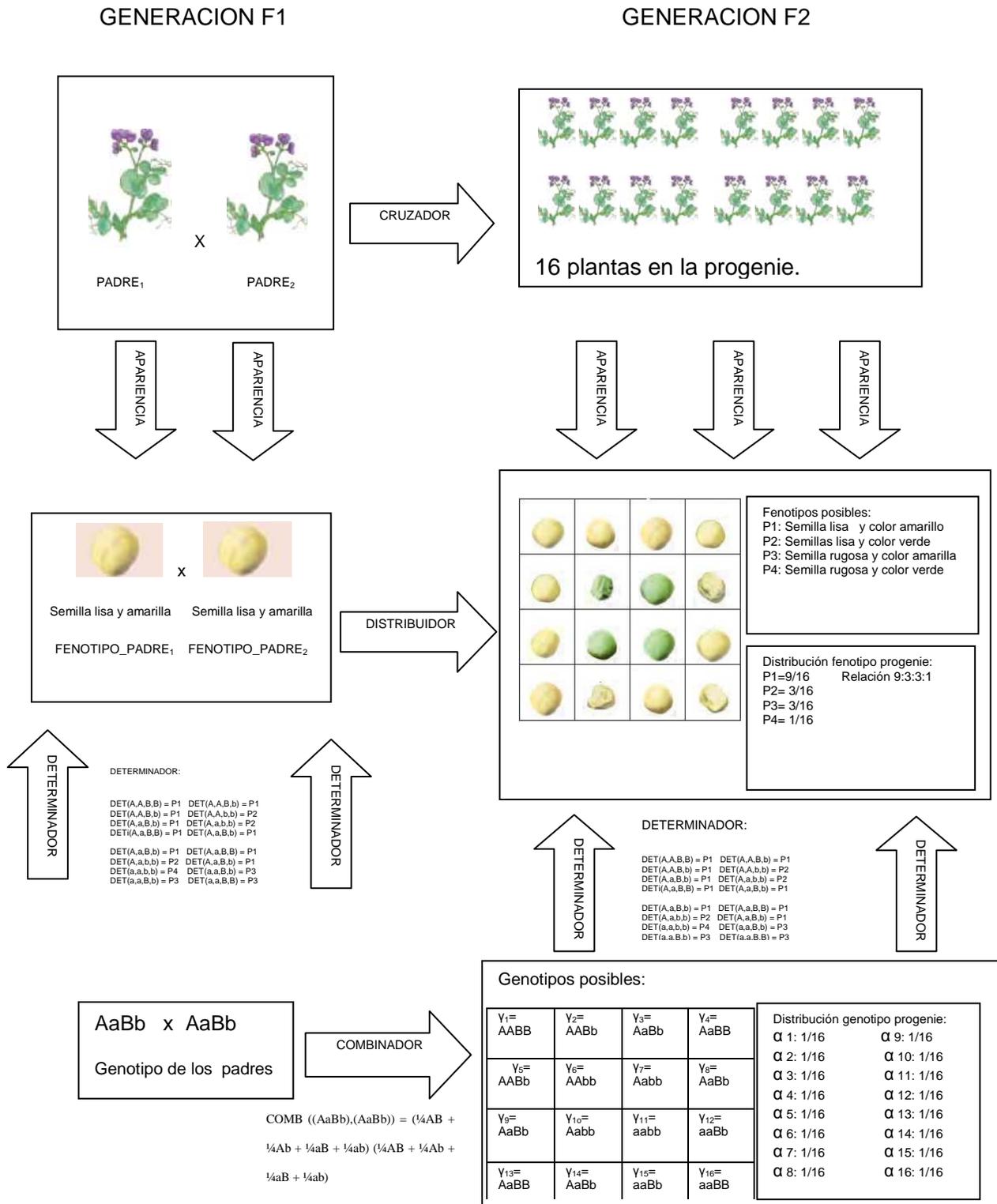


Figura A-4. Modelo especializado 3: cruce doble heterocigoto x doble heterocigoto en la herencia del los caracteres textura de la semilla y color de la semilla en los guisantes.

A.3 MODELO ESPECIALIZADO 4.

A continuación se describe el modelo especializado 4: herencia de factores alelos ligados, dos gen con dominancia completa. Las dimensiones dominio y composición de este modelo especializado son idénticas a las del modelo especializado 3. La dimensión organización se puede observar claramente en la figura 2-1. La dimensión estructura de este modelo especializado es similar a la dimensión estructura del modelo especializado 3, se diferencian en las facetas estado e interacción. A continuación se detallan estas diferencias.

A.3.1 Dimensión estructura

- **Faceta Estado.**

Para definir el estado del sistema modelo empleamos la primera ley de Mendel:

Si dos organismos homocigotos para cada uno de los dos genes relacionados con dos características fenotípicas en particular se cruzan, su descendencia en un 100% será similar en apariencia para dichas características del fenotipo.

Dos leyes similares que complementan la anterior son:

a. Para dos genes están ubicados en cromosomas distintos o en el mismo cromosoma pero muy alejados entre sí, se cumplirá lo siguiente:

Si dos organismos heterocigotos para una de los dos genes relacionados con dos características fenotípicas en particular se cruzan, su descendencia manifestara una diversidad en el fenotípico según la relación 9:3:3:1.

b. Para dos genes están ubicados relativamente cerca en el mismo cromosoma, se cumplirá lo siguiente:

Si dos organismos heterocigotos para una de los dos genes relacionados con dos características fenotípicas en particular se cruzan, su descendencia manifestara una diversidad en el fenotípico diferente a la relación 9:3:3:1.

- **Faceta Interacción.**

Para el caso de sistemas con dos genes, los cuales tienen sus alelos ubicados en posiciones específicas o loci en dos cromosomas homólogos. Ya que los alelos

de diferentes genes se encuentran ubicados en una estructura común conocida como cromosoma homólogo, estos alelos no se pueden heredar de forma independiente (figura A-5). De esta forma dos alelos de dos genes diferentes que este ubicados en un mismo cromosoma homólogos se heredaran como un solo conjunto, salvo suceda el fenómeno de entrecruzamiento durante la división meiotica. Mientras más cercanos se encuentren entre sí los dos locus de los genes trabajados, tanto mayor será la ligadura de estos dos alelos y menor la frecuencia de entrecruzamiento.

Cuando dos genes están ligados, la distribución fenotípica observada de un cruce de dihibridos se aleja notablemente de la relación 9:3:3:1 estudiada en el modelo 2. En el modelo 3 los alelos se segregaban de forma independiente, por lo que un organismo heterocigoto para dos genes podía generar 4 tipos diferentes de gametos, todos producidos con una probabilidad de 1/4. Debido al ligamiento de alelos, un organismo heterocigoto para dos genes puede generar en principio 4 tipos de gametos distintos, pero dichos gametos no serán producidos la probabilidad de 1/4. Serán más abundantes los gametos que contengan los cromosomas homólogos parentales intactos, y los filamentos nuevos producidos en el proceso de recombinación cromosómica serán escasos, siendo su producción directamente proporcional a la distancia entre los loci.

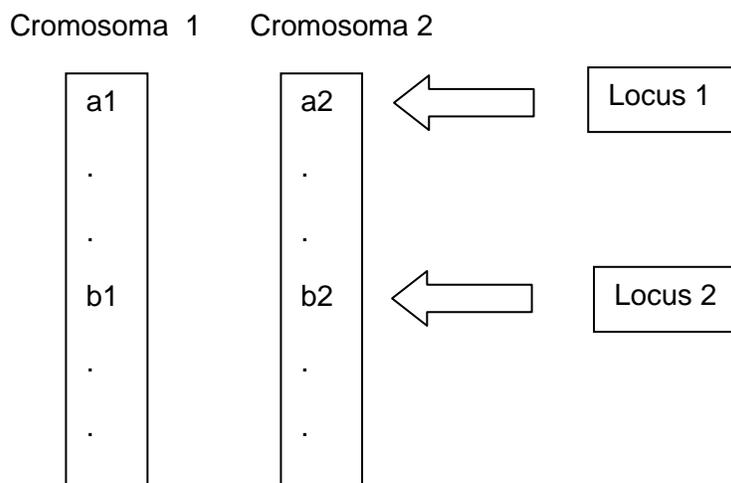


Figura A-5. Ligamiento de genes en un par de cromosomas homólogos.

Atendiendo a las consideraciones del ligamiento de los dos genes podemos afirmar que para todos los genotipos que tienen la forma:

$$\gamma_1 = \langle \langle a_1, a_2 \rangle, \langle b_1, b_2 \rangle \rangle$$

$$\gamma_2 = \langle \langle a_3, a_4 \rangle, \langle b_3, b_4 \rangle \rangle$$

Donde cada uno de los elementos a_1, a_2, a_3, a_4 pueden tomar la forma de alguna de dos formas alelos f_1, f_2 del gen 1 y cada uno de los elementos b_1, b_2, b_3 y b_4 pueden tomar alguna de las dos formas alelos f_3, f_4 del gen 2. Además, los alelos mencionados están ubicados en cromosomas homólogos de la forma como es mostrado en la figura A-7. En este caso la función combinator COMB toma la forma:

$$\text{COMB}(\gamma_1, \gamma_2) = [(1/2 - \text{FRC}/2) \cdot a_1b_1 + (\text{FRC}/2) \cdot a_1b_2 + (\text{FRC}/2) \cdot a_2b_1 + (1/2 - \text{FRC}/2) \cdot a_2b_2]$$

$$\times [(1/2 - \text{FRC}/2) \cdot a_3b_3 + (\text{FRC}/2) \cdot a_3b_4 + (\text{FRC}/2) \cdot a_4b_3 + (1/2 - \text{FRC}/2) \cdot a_4b_4]$$

Donde FRC es la frecuencia de recombinación entre los loci 1 y 2.

Para explicar la interacción entre los alelos y los fenotipos empleamos la misma función **DETERMINADOR** trabajada en el modelo especializado 3.

A.3.2 Ejemplo de un modelo representacional relacionado con el modelo especializado 4

Un referente del modelo 4 lo encontramos en los trabajos de William Bateson y R. C. Punnett sobre la herencia del color de flor y la forma de los granos de polen en una variedad de guisante (figuras A-6 y A-7). En este caso de una aplicación pretendida del modelo 4, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Las plantas guisantes pueden manifestar cuatro diferentes fenotipos:

P1: Flores purpura y polen alargado.

P₂: Flores purpuras y polen redondo.

P3: Flores rojas y polen alargado.

P4: Flores rojas y polen redondo.

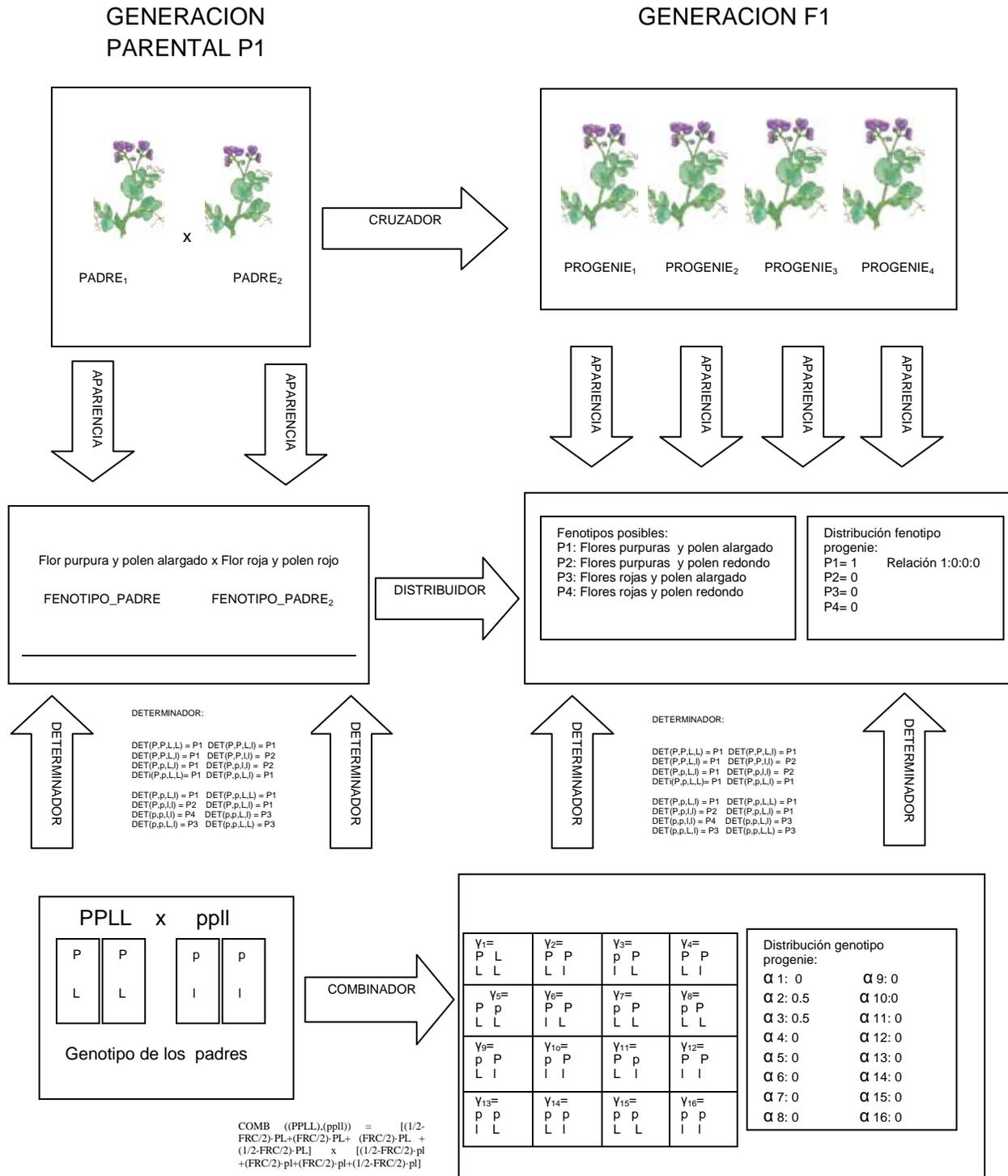


Figura A-6. Modelo especializado 4: cruce doble homocigoto dominante x doble homocigoto recesivo en la herencia de los caracteres color flor y forma del polen en los guisantes.

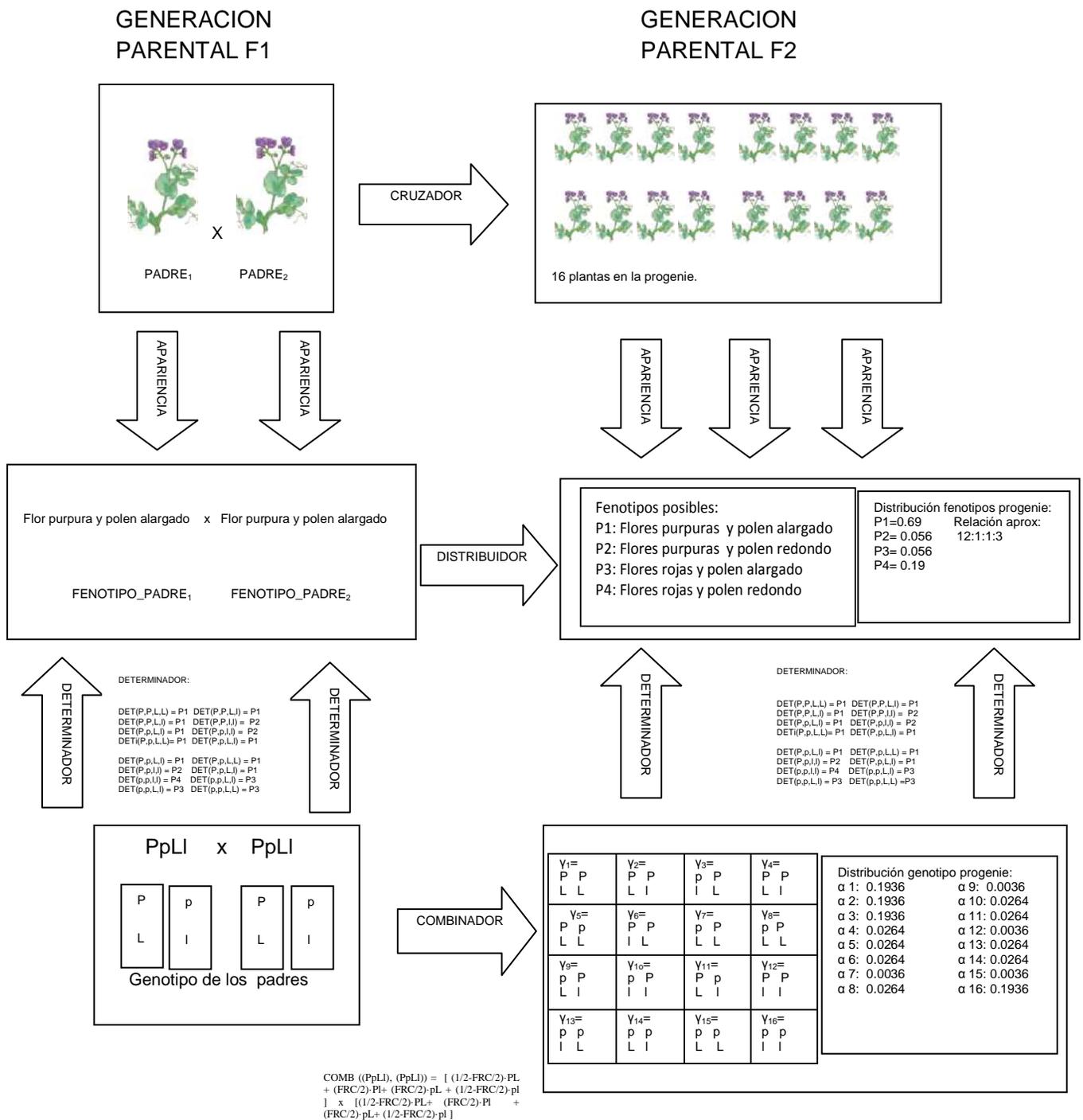


Figura A-7. Modelo 4: cruce doble heterocigoto x doble heterocigoto en la herencia del los caracteres color flor y forma del polen en los guisantes.

2. Existen dos genes, el primero es color flor, el cual posee dos factores alelos f_1 : flor purpura, y f_2 : flor roja, siendo el factor alelo f_1 es dominante en presencia de f_2 . El segundo gen la forma de semilla, el cual posee dos factores alelos f_3 : semilla amarilla, y f_4 : semilla verde, siendo el factor alelo f_1 es dominante en presencia de f_2 .
3. Los dos genes trabajados se encuentra ubicados en el mismo par de cromosomas homólogos, y en entre ellos existe una frecuencia de recombinación $FRC = 0.12$, lo cual equivale a una distancia física en el cromosoma de 12 centiMorgan (cM).
4. Por simplicidad en la simbología hemos tomado $f_1=p$, $f_2=P$, $f_3=l$, $f_4=L$.
5. Los objetos se encuentran ubicados en cuadros y las funciones se ubicadas en la flechas.

B. Anexo: Guías de trabajo en clase para los ciclos de aprendizaje

B.1 Guías ciclo de aprendizaje 1

Se han elaborado 11 guías de trabajo para cada uno de los tres ciclos de aprendizajes. Cada guía está relacionada con una etapa en el ciclo de aprendizaje como es indicado en la parte inicial de cada una de ellas. A continuación se presentan las 11 guías de trabajo para el primer ciclo de aprendizaje, ciclo en el cual se trabajara el desarrollo del modelo 1: herencia equi-probable de factores alelos, un gen y dominancia completa. Al final de la guía de trabajo 1 se suministran imágenes para la presentación del patrón a los estudiantes y la discusión en clase sobre las respuestas a esa guía de trabajo.

B.1.1 Guía de trabajo 1.

Fase 1: Exploración.

Valoración.

Puntos a obtener:

Puntos obtenidos:

Etapa 1: Presentación del patrón.**Rol del docente:** Moderador.

Curso: _____ Fecha: _____

Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

3: _____ 4: _____

Objetivo de la guía: Presentar el patrón a trabajar en el ciclo de aprendizaje y hacer explícitas las ideas previas que sobre la herencia posean los estudiantes.

1. A continuación se presentan imágenes de cuatro niños. Recortar las imágenes.



2. En el cuadro de la derecha se debe pegar una sola imagen de alguno de los niños, el cual según el consenso del grupo de trabajo creen que pertenece a la familia de la imagen a la izquierda.

Familia 1.



Imagen seleccionada:

Luego de pegar la imagen en el cuadro de la derecha, por favor completar el siguiente cuadro.

Escriban cinco razones que justifiquen la elección:

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

5. _____

3. En el cuadro de la derecha pegar una sola imagen de alguno de los niños, el cual según el consenso del grupo de trabajo creen que pertenece a la familia de la imagen a la izquierda.

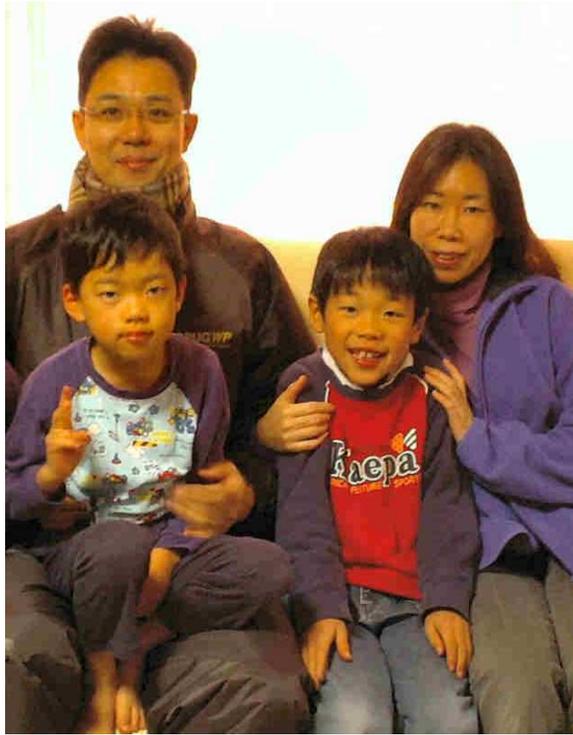


Imagen seleccionada:

Luego de pegar la imagen en el cuadro de la derecha, por favor completar el siguiente cuadro.

Escriban cinco razones que justifique la elección:

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

5. _____

4. En el cuadro de la derecha pegar una sola imagen de alguno de los niños, el cual según el consenso del grupo de trabajo creen que pertenece a la familia de la imagen a la izquierda.



Imagen seleccionada:

Luego de pegar la imagen en el cuadro de la derecha, por favor completar el siguiente cuadro.

Escriban cinco razones que justifiquen la elección:

1. _____

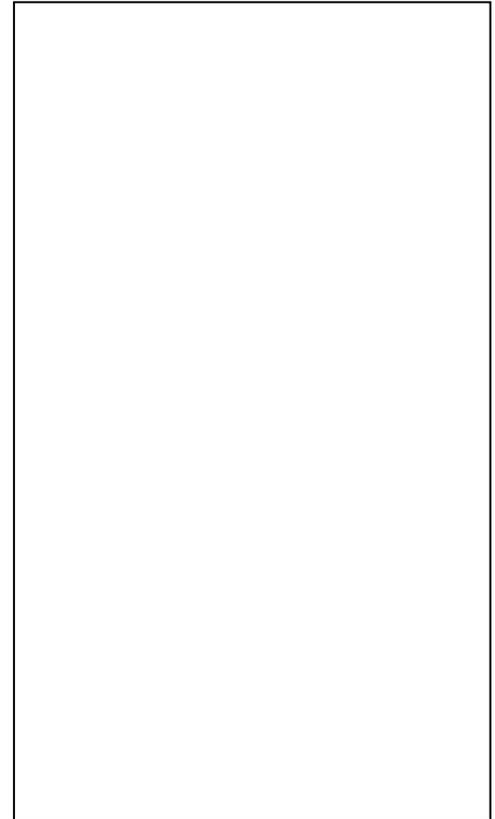
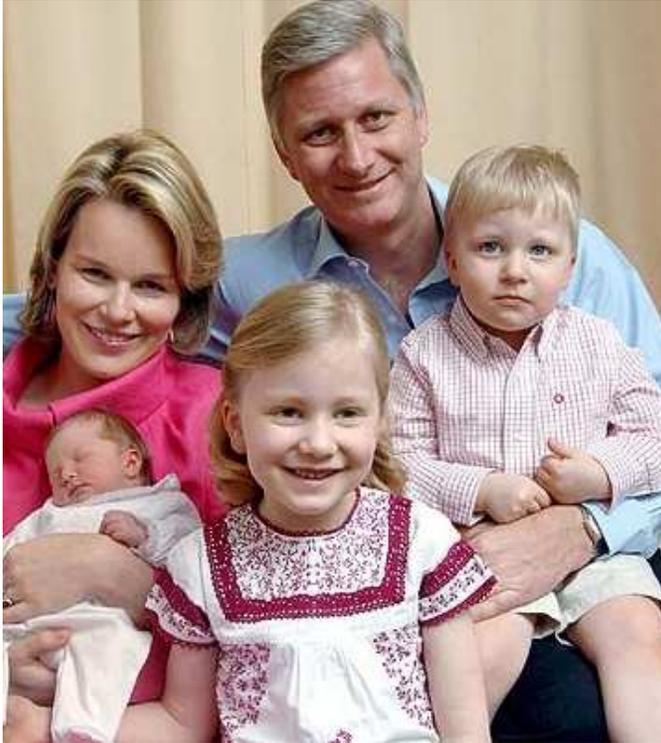
2. _____

3. _____

4. _____

5. _____

5. En el cuadro de la derecha pegar una sola imagen de alguno de los niños, el cual según el consenso del grupo de trabajo creen que pertenece a la familia de la imagen a la izquierda.



Luego de pegar la imagen en el cuadro de la derecha, por favor completar el siguiente cuadro.

Escriban cinco razones que justifiquen la elección:

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

5. _____



Señalar con una X en el cuadro de la izquierda la pareja que creen son los padres de niño mostrado arriba.



Escribe cinco razones justificando tu elección:

1. _____

2. _____

3. _____



Guía de trabajo 2.

Fase 1: Exploración.

<p>Valoración.</p> <p>Puntos a obtener:</p> <p>Puntos obtenidos:</p>

Etapa 2: Proposición de modelos nominales.

Rol del docente: Moderador.

Curso: _____ Fecha 1: _____ Fecha 2: _____ Fecha 3: _____

Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

3: _____ 3: _____

Objetivo de la guía: Promover el desarrollo de modelos nominales.

A continuación se presenta un problema el cual requiere una solución:

Juan tiene ojos café oscuros, y se casa con Ana que también tiene ojos color café oscuros. Esta pareja tiene 4 hijos: Andrés (10 años), Manuel (8 años), Sofía (4 años) y Lorena (recién nacida). Andrés, Manuel y Sofía tienen ojos color café oscuros, contrario a lo que sucede con Lorena, la cual tiene ojos color azul claros. Debido al color de ojos de Lorena, Juan piensa que Lorena no es su hija biológica, y por lo tanto le pide el divorcio a Ana, argumentando que ella le ha sido infiel. Ana es hija de Pedro que tiene ojos color azul claros y de Carmen que tiene ojos color café oscuros, y todos los cinco hermanos varones de Ana tienen los ojos color café oscuros. Por otro lado, todos los miembros de la familia de Juan tienen ojos color café oscuros. Ana te pide ayuda a tu grupo de trabajo, para explicarle a Juan que sus argumentos para pedirle el divorcio no tienen fundamento científico. Plantea en grupo una solución efectiva a este problema siguiendo para ello las indicaciones de la carta de resolución de problemas que a continuación se presenta.

1. Lean de forma cuidadosa como mínimo 5 veces el planteamiento del problema.

3. Definir cuál es el objetivo del problema, preguntándose: ¿Qué es lo que el problema pide que resuelvan?

4. Elaboren una lista de los datos que se presentan en el problema planteado:

Datos:	Nombre	Apariencias
Persona1:	_____	características: _____
Persona2:	_____	características: _____
Persona3:	_____	características: _____
Persona4:	_____	características: _____
Persona5:	_____	características: _____
Persona6:	_____	características: _____
Persona7:	_____	características: _____
Persona8:	_____	características: _____
Persona9:	_____	características: _____
Persona10:	_____	características: _____
Persona11:	_____	características: _____
Persona12:	_____	características: _____

5. Construyan una representación grafica tipo **árbol genealógico**, en donde se muestre toda la información del problema planteado. La representación grafica debe ser lo más clara y concreta posible con relación a la información del problema planteado.



7. Elaboren una corta descripción de cada uno de los elementos que aparecen en la representación grafica del punto 5.

¿Los dibujos que representan?:

Dibujo tipo1_____

Dibujo tipo 2_____

¿Cómo se representan las diferencias en la apariencia de los individuos del problema?:

¿Las líneas o flechas que representan?

8. ¿Cuales relaciones que aparecen en la representación grafica elaborada en el punto 5 consideran importantes para resolver el problema planteado?

9. Elaboren 5 hipótesis (posibles soluciones al problema), y evalúen cada una de ellas en relación a su capacidad para solucionar el problema planteado.

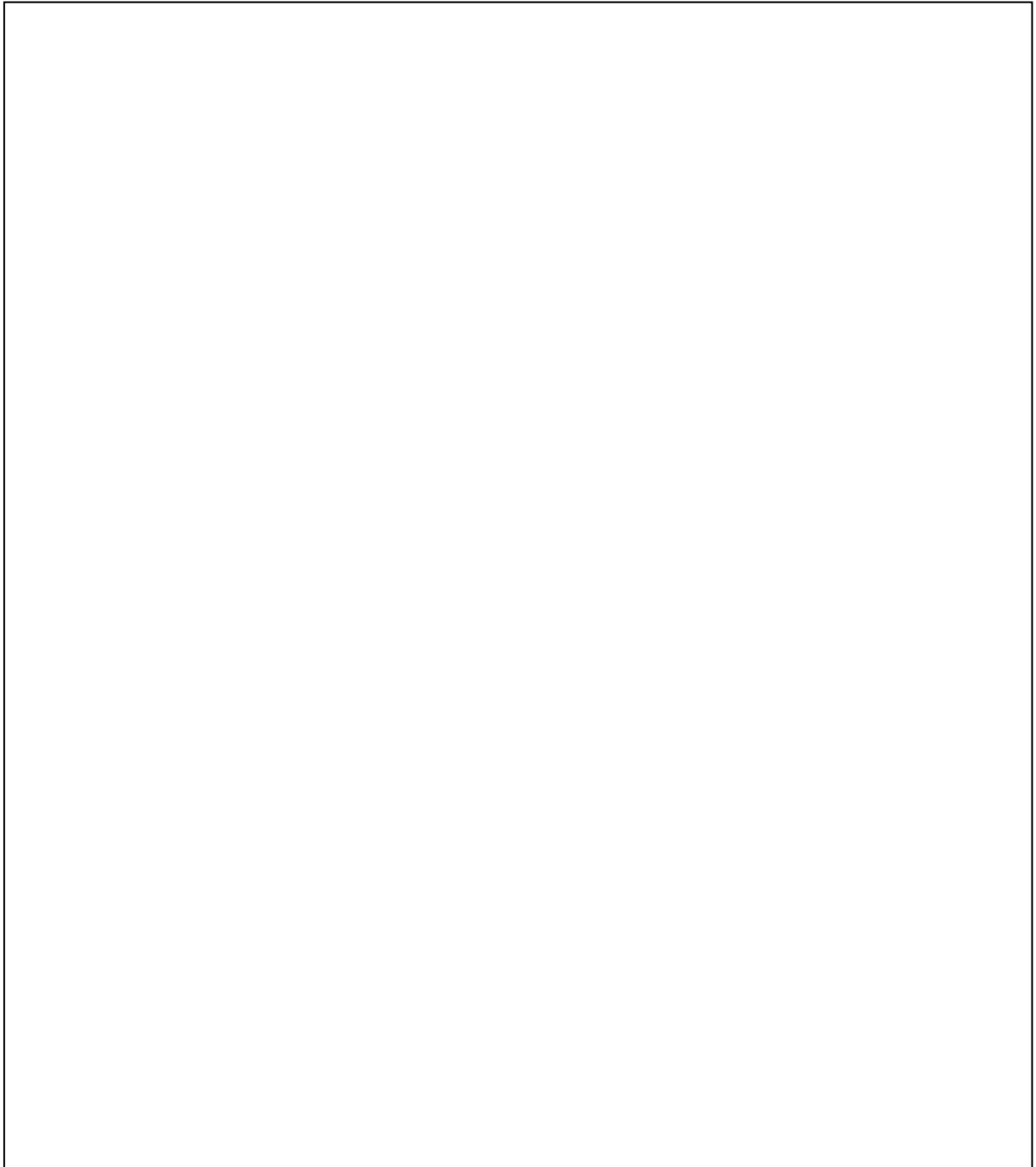
1: Lorena tiene ojos azules porque _____ _____ ()
2: Lorena tiene ojos azules porque _____ _____ ()
3: Lorena tiene ojos azules porque _____ _____ ()
4: Lorena tiene ojos azules porque _____ _____ ()
5: Lorena tiene ojos azules porque _____ _____ ()

10. Evalúa cada una de estas hipótesis según la siguiente escala:

- 1 Punto: La hipótesis es una explicación muy regular y poco probable.
- De 2 a 3 puntos: La hipótesis es una buena explicación y probable.
- De 4 a 5 puntos: la hipótesis es una muy buena explicación y muy probable.

En los paréntesis del cuadro anterior anota la valoración de cada hipótesis según la anterior escala. Dos hipótesis no pueden tener la misma valoración.

- 11.** Elaboren nuevamente la representación gráfica del punto 5, pero en esta ocasión involucren los elementos de la hipótesis más prometedora del punto 9.



Nota: generalmente se adiciona una hipótesis suponiendo la existencia de una nueva entidad (previamente desconocida), una nueva relación entre los elementos conocidos y/o una nueva propiedad de elementos conocidos.

12. Describan las características de cada uno de los nuevos elementos adicionados en la representación grafica del punto 11.

Elementos adicionados:

1. Nombre del elemento: _____

Propiedades:

- a. ¿Pueden ser fácilmente observados? Si ____ No ____
- b. ¿Todos los organismos los poseen? Si ____ No ____
- c. ¿Dónde se encuentran en el organismo? _____
- d. ¿Todos los organismos los poseen en igual cantidad? Si ____ No ____
- e. ¿Cuántos elementos posee cada organismo? _____
- f. ¿Cuántos provienen del padre y cuantos de la madre? _____

2. Nombre del elemento: _____

Propiedades:

- a. ¿Pueden ser fácilmente observados? Si ____ No ____
- b. ¿Todos los organismos los poseen? Si ____ No ____
- c. ¿Dónde se encuentran en el organismo? _____
- d. ¿Todos los organismos los poseen en igual cantidad? Si ____ No ____
- e. ¿Cuántos elementos posee cada organismo? _____
- f. ¿Cuántos provienen del padre y cuantos de la madre? _____

3. Nombre del elemento: _____

Propiedades:

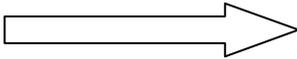
- a. ¿Pueden ser fácilmente observados? Si ____ No ____
- b. ¿Todos los organismos los poseen? Si ____ No ____
- c. ¿Dónde se encuentran en el organismo? _____
- d. ¿Todos los organismos los poseen en igual cantidad? Si ____ No ____
- e. ¿Cuántos elementos posee cada organismo? _____
- f. ¿Cuántos provienen del padre y cuantos de la madre? _____

13. ¿Cómo se relacionan los elementos nuevos de la representación gráfica del punto 11 con la apariencia (características observables) de los organismos del problema.

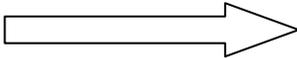
1. Nombre del elemento 1: _____

Propiedades:

- a. ¿Este elemento es la causa de la apariencia del organismo? Si ____ No ____

Elemento1  Apariencia

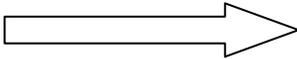
- b. ¿La apariencia es la causa del elemento1? Si ____ No ____

Apariencia  Elemento1

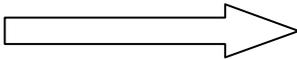
2. Nombre del elemento 2: _____

Propiedades:

- a. ¿Este elemento es la causa de la apariencia del organismo? Si ____ No ____

Elemento2  Apariencia

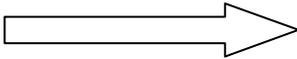
- b. ¿La apariencia es la causa del elemento2? Si ____ No ____

Apariencia  Elemento2

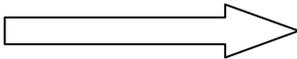
3. Nombre del elemento 3: _____

Propiedades:

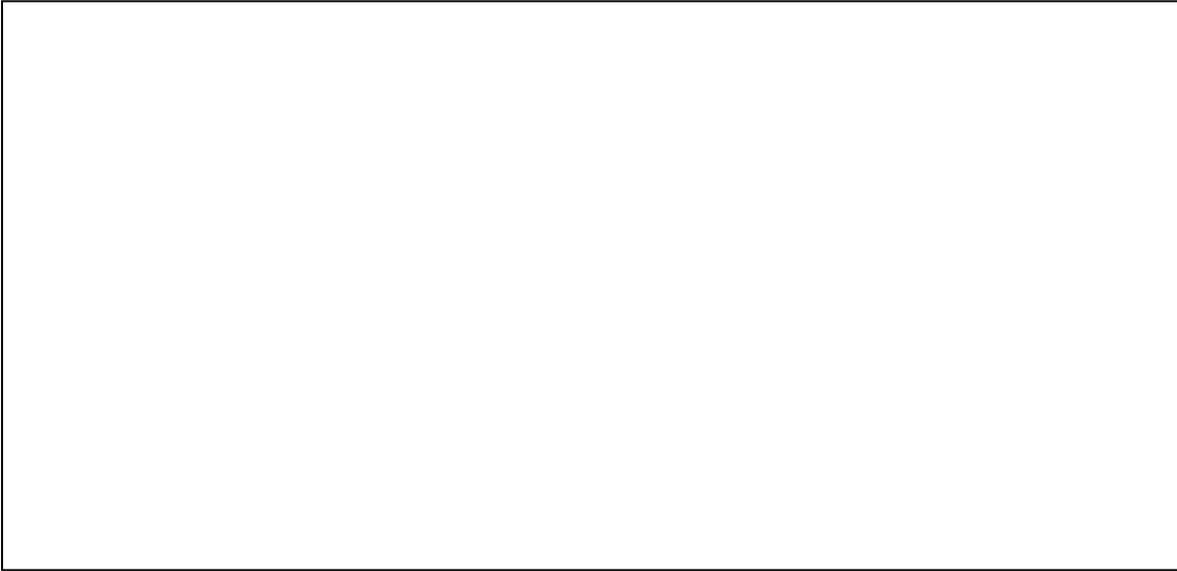
- a. ¿Este elemento es la causa de la apariencia del organismo? Si ____ No ____

Elemento3  Apariencia

- b. ¿La apariencia es la causa del elemento3? Si ____ No ____

Apariencia  Elemento3

14. Elaboren una representación gráfica de solución al problema planteado, empleando para ello solo la parte de gráfica elaborada en el punto 11 que les indique el profesor.



15. Redacten empleando sus propias palabras la solución planteada en el cuadro anterior.

¿Lorena posee ojos azules porque?

Guía de trabajo 3.

Fase 2: Abducción del modelo

<p>Valoración.</p> <p>Puntos a obtener:</p> <p>Puntos obtenidos:</p>

Etapa 3: Proposición de un modelo plausible.

Rol del docente: Arbitro.

Curso: _____ Fecha 1: _____ Fecha 2: _____ Fecha 3: _____

Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

3: _____ 3: _____

Objetivo de la guía: Promover el desarrollo de un modelo viable relacionado con el patrón estudiado en el ciclo de aprendizaje.

Contenido:

El docente revisara el modelo desarrollado en la guía anterior, y actuara como árbitro en el sentido de pedirles a los estudiantes que profundicen o replanteen algunas ideas. El docente debe presentar argumentos para descartar los modelos no viables presentados en la guía anterior, y les solicitara a los estudiantes que analicen sus argumentos en profundidad.

1. Argumentos del docente a favor del modelo que se trabajara a profundidad y en contra de los modelos o concepciones no viables:

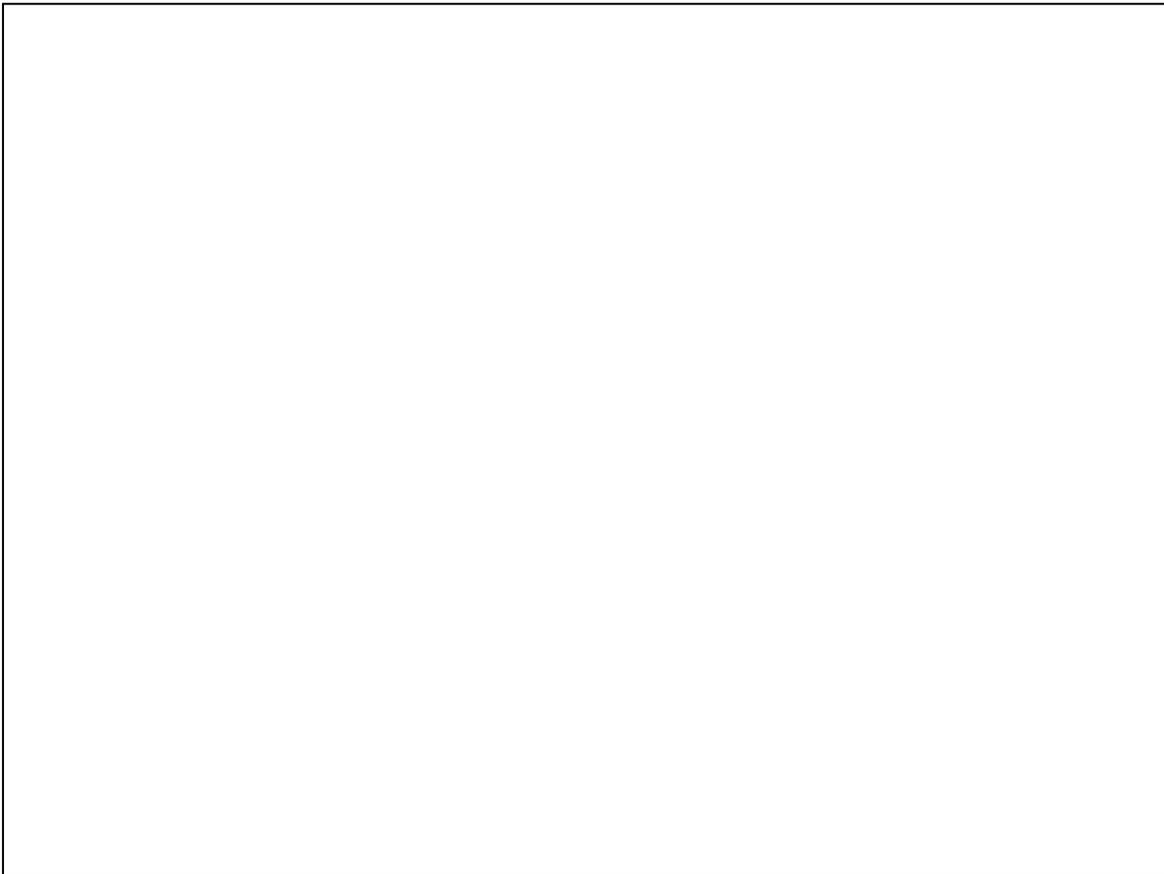
1:	_____

2:	_____

3:	_____

4:	_____

2. Repita la grafica del punto 14 de la guía anterior, pero no empleen en esta ocasión ningún nombre propio.



3. El docente revisara la grafica del punto 2 y les pedirá a los estudiantes que resuelvan sus posibles fallos de coherencia, adicione elementos faltantes y/o replanteen ideas no viables.
4. Mencione todos los elementos (tanto vivos como no vivos) que aparecen en la grafica del punto 2.

1:	_____
2:	_____
3:	_____
4:	_____
5:	_____
6:	_____
7:	_____
8:	_____

5. ¿Cuáles elementos mencionados en el punto anterior están relacionados o son la causa para que alguna **apariencia** en particular se manifestara en uno de los seres vivos de la grafica del punto 2?

1:	_____

2:	_____

3:	_____

6. ¿De qué formas diferentes pueden aparecer agrupados dentro de un mismo ser vivo los elementos mencionados en el punto anterior?

Elemento tipo 1	Elemento tipo 2
Elemento tipo 3	Elemento tipo 4

7. ¿Cuáles son las diversas apariencias que pueden manifestar los seres vivos del problema trabajado?

Apariencia 1: _____
Apariencia 2: _____
Apariencia 3: _____
Apariencia 4: _____
Apariencia 5: _____

8. Relacione las diversas formas en la cuales pueden aparecer agrupados los elementos mencionados en el punto 6 con los diversas **apariencias** que pueden manifestar los organismos del problema planteado.

Función Determinador:

Elemento 1: Apariencia

_____ : _____

_____ : _____

_____ : _____

_____ : _____

_____ : _____

Elemento 2: Apariencia

_____ : _____

_____ : _____

_____ : _____

_____ : _____

_____ : _____

Elemento 3: Apariencia

_____ : _____

_____ : _____

_____ : _____

_____ : _____

_____ : _____

Elemento 4: Apariencia

_____ : _____

_____ : _____

_____ : _____

_____ : _____

_____ : _____

Habrán notado que algunos de los elementos mencionados en las preguntas anteriores los poseen tanto los padres como los hijos, y que los hijos heredan estos elementos de sus padres. Debido a lo anterior hablaremos de estos elementos como la **herencia biológica**. En el punto anterior tratamos de establecer como es la relación entre la

herencia biológica y la **apariencia** que pueden manifiestan los seres vivos, ahora trataremos de entender como es el proceso por el cual se transfieren los elementos de la **herencia biológica** de los padres a los hijos.

9. ¿Como están organizados los elementos de la herencia biológica en los hijos de Juan y Ana?

_____ + _____ + _____ + _____
 Hijo 1 Hijo 2 Hijo 3 Hijo 4

10. ¿Como están organizados los elementos de la herencia biológica en Juan y Ana?

_____ + _____
 Madre Padre

11. A continuación se les pedirá que realicen las siguientes operaciones algebraicas, empleando como argumento los elementos de la herencia biológica de Juan y Ana.

Elemento 1.

1. (_____ + _____) + (_____ + _____) =
 Herencia Madre Herencia padre

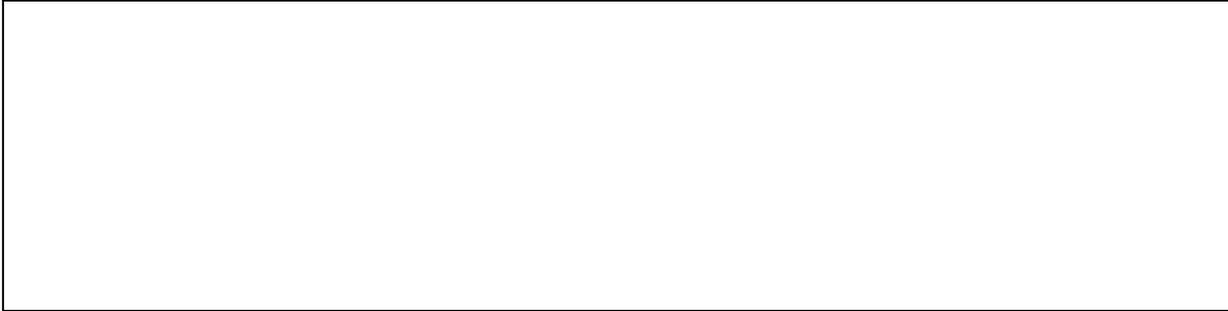
2. (_____ + _____) - (_____ + _____) =
 Herencia Madre Herencia padre

3. (_____ + _____) x (_____ + _____) =
 Herencia Madre Herencia padre

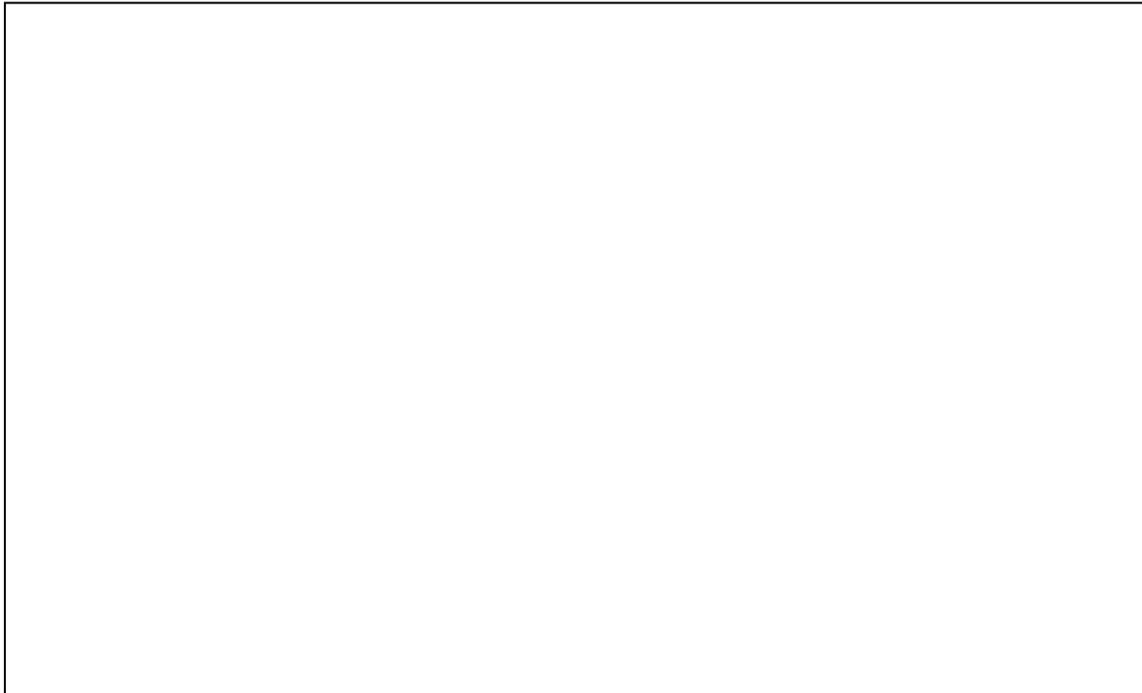
4. (_____ + _____) ÷ (_____ + _____) =
 Herencia Madre Herencia padre

12. ¿Cuál de las operaciones realizadas en el punto anterior representan mejor el proceso de transmisión de la **herencia biología** de los padres a los hijos?

Función Combinador:



13. Repitan la grafica del punto 2, pero en esta ocasión no empleen palabra alguna para indicar las relaciones, solo empleen las formulaciones matemáticas del puntos 8 y 12.



Guía de trabajo 4.

Fase 2: Abducción del modelo.

Valoración.

Puntos a obtener:

Puntos obtenidos:

Etapa 4: Diseño de investigación.

Rol del docente: Arbitraje.

Curso: _____ Fecha 1: _____ Fecha 2: _____ Fecha 3: _____

Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

3: _____ 4: _____

Objetivo de la guía: Proponer un diseño experimental que ayude a validar o rechazar los supuestos básicos del modelo desarrollado en guías de trabajo anteriores.

Contenido:

Para verificar los postulados del modelo desarrollado se planteara la realización de diversos experimentos que los verifiquen. Emplearemos por facilidad de experimentación como modelo biológico la especie *Drosophila Melanogaster*. A continuación se ofrece una pequeña descripción de la morfología de esta especie, tanto de los organismos silvestres como de algunos mutantes disponibles para experimentación.

Drosophila melanogaster, es una especie de díptero braquícero de la familia Drosophilidae. El cuerpo de los organismos de *Drosophila Melanogaster* se dividen en tres segmentos básicos: cabeza, tórax y abdomen. En la cabeza se encuentran los ojos y las antenas, mientras que en el tórax se encuentran las alas y las seis patas. En el abdomen se encuentran ubicados los órganos reproductivos los cuales permiten la copula y el apareamiento. En la figura 1 se muestra la ubicación de los principales elementos morfológico de la mosca de la fruta.

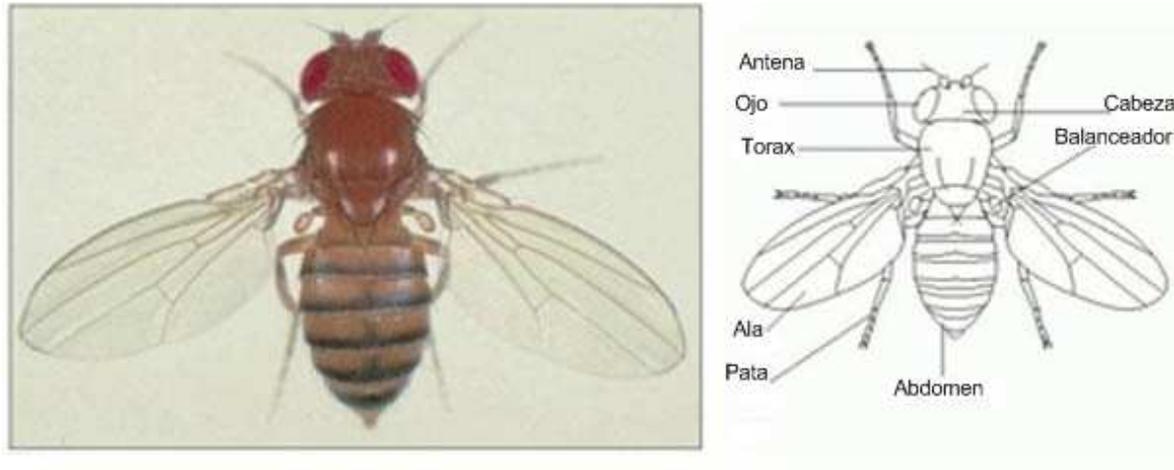


Figura 1. Morfología de la mosca *Drosophila Melanogaster*.

Se han identificado muchas variedades mutantes de la mosca de la fruta, pero para el diseño de un experimento contaremos solo con las siguientes variedades:

Mutante sin alas:

Variante fenotípica provocada por una mutación recesiva en el cromosoma 2 en la ubicación 55.2, conocida como Apterous (ap).



Mutante cuerpo amarillo:

Variante fenotípica provocada por una mutación recesiva en el cromosoma 1 en la ubicación 0.0, conocida como yellow (y).



Mutante antenas cortas:

Variante fenotípica provocada por una mutación recesiva en el cromosoma 1 en la ubicación 0.0, conocida como aristaless antennae (al).



Notación en *Drosophila*:

Los alelos de la moscas del tipo silvestre se designan con “+” y los otros alelos son dados por una abreviación. Las abreviaciones comienzan con una letra minúscula para indicar que el rasgo es recesivo (por ejemplo “y” para cuerpo color amarillo), mientras abreviaciones que comienzan con una letra mayúscula (por ejemplo “B” para ojos tipo bar), son alelos dominantes. El genotipo del organismo mutante de color de cuerpo amarillo sería entonces yy, mientras que el mutante de antenas cortas tendría un genotipo alal.

Planteamiento del diseño de investigación:

Objetivo general: Obtener información que permita validar y/o mejorar los planteamientos del modelo desarrollado en la guía anterior.

1. Objetivo específico:

Validar o rechazar los siguientes planteamientos sobre la herencia biológica:

1.1. Planteamientos sobre la transferencia de elementos hereditarios:

- ¿Cuáles son los elementos de la herencia biológica? _____
 - ¿Pueden ser fácilmente observados? Si ____ No ____
 - ¿Todos los organismos los poseen? Si ____ No ____
 - ¿Todos los organismos los poseen en igual cantidad? Si ____ No ____
 - ¿Cuántos elementos de herencia biológica posee cada organismo? _____
 - ¿Cuántos provienen del padre y cuantos de la madre? _____
 - ¿Cuál es la fórmula matemática que permite conocer como son los elementos hereditarios en los hijos a partir de los elementos hereditarios de los padres?
-

1.2.Planteamientos sobre la determinación de las características de la apariencia:

- ¿Existe elementos de la herencia biológica más fuertes o dominantes que otros?
Si ____No ____
- Re-escriban la función determinador del punto 8 de la guía anterior, empleando para ello las siguientes expresiones:
 - Herencia dominante y herencia recesiva, para los elementos fuertes y débiles de la herencia biológica.
 - Apariencia1, Apariencia2, Apariencia3, Apariencia4, para cada una de las diferencias apariencias.

Función Determinador:

Elementos hereditarios	: Apariencia
	:
	:
	:
	:
	:

2. Cruce experimental 1:

A continuación diseñaran un experimento para poder observar la herencia de ciertas características físicas en las moscas de las fruta, y en consecuencia poseer argumentos para validar o no la ideas sobre la herencia biológica desarrolladas en las guías anteriores. Realizamos esto porque suponemos que la herencia biológica en moscas de la fruta y en los humanos es similar.

Función Determinador:

Herencia biológica: Apariencia

_____ : _____

_____ : _____

_____ : _____

_____ : _____

_____ : _____

2.4. Empleando la **Función Combinador** determinen como sería la herencia biológica en cada una de las posibles moscas hijas.

2.5. Elaboren una representación gráfica del cruce planteado empleando todos los elementos y relaciones de la gráfica del punto 13 de la guía de trabajo 3.



2.6. Según el modelo desarrollado como sería la progenie del cruce planteado:

Apariencia 1: _____ %: _____ Apariencia 2: _____ %: _____

Apariencia 3: _____ %: _____ Apariencia 4: _____ %: _____

Como calcular el porcentaje (%):

Como se habrán dado cuenta, empleando la función **Combinador** siempre tendrán como resultado cuatro términos matemáticos, cada uno de los cuales indicará como es la herencia biológica en cada uno de los cuatro posibles hijos. El porcentaje se calcula fácilmente así:

$$\% = (\text{número de hijos con la apariencia estudiada} / 4) \times 100$$

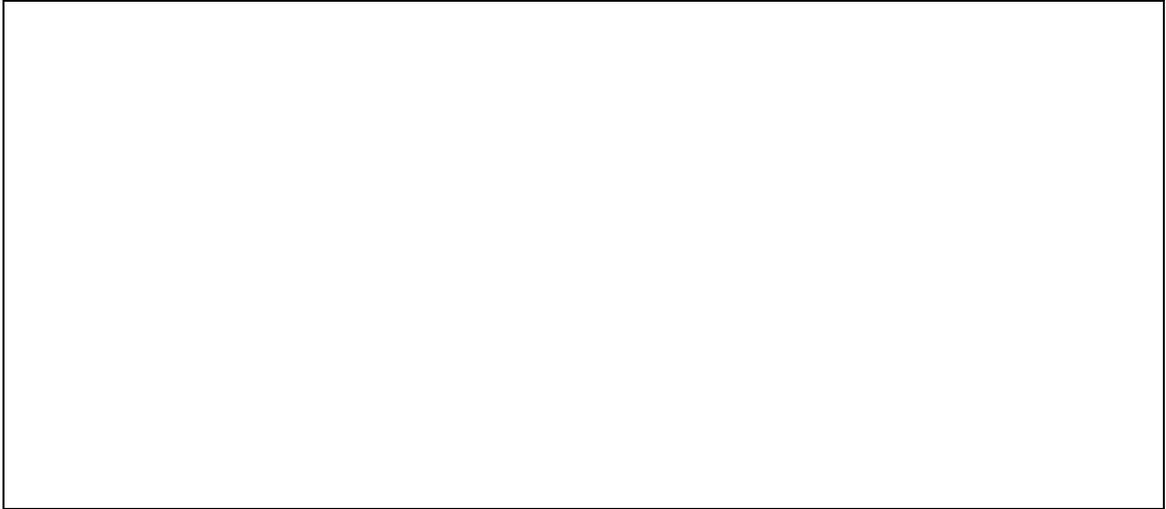
- 2.7. Las moscas hijas de este cruce son iguales en apariencia a uno de sus padres,
¿Por qué sucede esto?

3. Cruce experimental 2:

- 3.1. En cada uno de los cuadros dibujen los progenitores a cruzar en el experimento
2, los cuales corresponden a dos organismos hijos resultantes del primer cruce:

<div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 150px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"><p>Progenitor</p></div>	X	<div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 150px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"><p>Progenitor</p></div>
<hr/> <p>Herencia biológica</p>		<hr/> <p>Herencia biológica</p>
<hr/> <p>Apariencia</p>		<hr/> <p>Apariencia</p>

3.2. Empleando la **Función Combinador** determinen como sería la herencia biológica en cada una de las posibles moscas hijas.



3.3. Elaboren una representación gráfica del cruce planteado empleando todos los elementos y relaciones de la gráfica del punto 13 de la guía de trabajo 3.



3.4. Según el modelo desarrollado en la guía anterior como sería la progenie del cruce experimental 2:

Apariencia 1: _____ %: _____ Apariencia 2: _____ %: _____

Apariencia 3: _____ %: _____ Apariencia 4: _____ %: _____

Como calcular el porcentaje (%):

Como se habrán dado cuenta, empleando la función **COMBINADOR** siempre tendrán como resultado cuatro términos matemáticos, cada uno de los cuales indicara como es la herencia biológica en cuatro posibles hijos. El porcentaje se calcula fácilmente:

$$\% = (\text{número de hijos con la apariencia estudiada} / 4) \times 100$$

3.5 La mayoría de las moscas hijas de este cruce son iguales en apariencia a uno de sus padres, ¿Por qué sucede esto?

3.6 Si de este cruce solo se obtuviera una sola mosca hija, ¿Cómo sería la apariencia más probable para dicha mosca? ¿Por qué sería así?

4. Expliquen porque los cruces planteados les permite validar o rechazar las hipótesis mencionadas en los objetivos específicos.

<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>

Guía de trabajo 5.

Fase 3: Abducción del modelo

Valoración.

Puntos a obtener:

Puntos obtenidos:

Etapa 5a. Investigación.

Rol del docente: Arbitro.

Curso: _____ Fecha 1: _____ Fecha 2: _____ Fecha 3: _____

Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

3: _____ 4: _____

Objetivo de la guía: Ejecutar el diseño experimental planteado en la guía anterior, así como también realizar un adecuado análisis de los resultados experimentales obtenidos.

Contenido:

Los experimentos diseñados se llevaran a cabo en el mundo virtual, empleando para ello el programa de simulación StarGenetics desarrollado por el MIT, el cual se encuentra disponible en el sitio <http://star.mit.edu/genetics/>.

1. Con la ayuda del docente los estudiantes realizaran las simulaciones de los cruces planteados (10 apareamientos por tipo de cruce) y llenaran adecuadamente la hoja de registro que a continuación se muestra.

2. Información Base:

- a. Apariencia parentales (moscas padres):

Apariencia macho _____ Apariencia Hembra _____

b. Apariencias posibles en la progenie (moscas hijas):

Apariencia 1: _____ Apariencia 2: _____

Apariencia 3: _____ Apariencia 4: _____

3. La siguiente tabla será llenada con la información proveniente de las simulaciones en computador de los apareamientos de las moscas según el cruce 1 diseñado por los estudiantes.

	Número de individuos hasta el cruce:						Frecuencia obtenida
	2	4	6	8	9	10	
Apariencia 1							
Apariencia 2							
Apariencia 3							
Apariencia 4							
Total							

- a. Total de individuos se consigna en el cuadro azul, el cual es igual a la suma de todo los individuos hijos en cada uno de cruces.
- b. Frecuencia obtenida = número de individuos que manifiestan un fenotipo en particular / total de individuos
Se calcula por fila en la tabla anterior, se toma el número del cuadro amarillo y se divide por el número del cuadro azul. Luego el valor resultante se consigna en el cuadro café según sea el caso.

4. Según el experimento 1 diseñado en la guía anterior como sería la progenie (respuesta pregunta 2.6 de la guía anterior):

Apariencia 1: _____ %: _____ Apariencia 2: _____ %: _____

Apariencia 3: _____ %: _____ Apariencia 4: _____ %: _____

5. La siguiente tabla será llenada con la información proveniente de las simulaciones en computador de los apareamiento de las moscas según el cruce 2 diseñado por los estudiantes.

	Número de individuos hasta el cruce:						Frecuencia obtenida
	2	4	6	8	9	10	
Apariencia 1							
Apariencia 2							
Apariencia 3							
Apariencia 4							
Total							

- a. Total de individuos se consigna en el cuadro azul, el cual es igual a la suma de todo los individuos hijos en cada uno de cruces.
- b. Frecuencia obtenida = número de individuos que manifiestan un fenotipo en particular dividido por el total de individuos. Se calcula por fila en la tabla anterior, se toma el número del cuadro amarillo y se divide por el número del cuadro azul. Luego el valor resultante se consigna en el cuadro gris según sea el caso.

6. Según el experimento diseñado en la guía anterior como sería la progenie del cruce planteado (respuesta pregunta 3.4 de la guía anterior):

Apariencia 1: _____ %: _____ Apariencia 2: _____ %: _____

Apariencia 3: _____ %: _____ Apariencia 4: _____ %: _____

7. Análisis de resultados.

Los estudiantes compararan las frecuencias esperadas para cada fenotipo posible en la descendencia y la frecuencia obtenida por las simulaciones en computador del

B.1.6 Guía de trabajo 6.

Fase 3: Abducción del modelo

<p>Valoración.</p> <p>Puntos a obtener:</p> <p>Puntos obtenidos:</p>

Etapa 5b. Formulación inicial del modelo:

Rol del docente: Arbitro.

Curso: _____ Fecha 1: _____ Fecha 2: _____ Fecha 3: _____

Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

3: _____ 4: _____

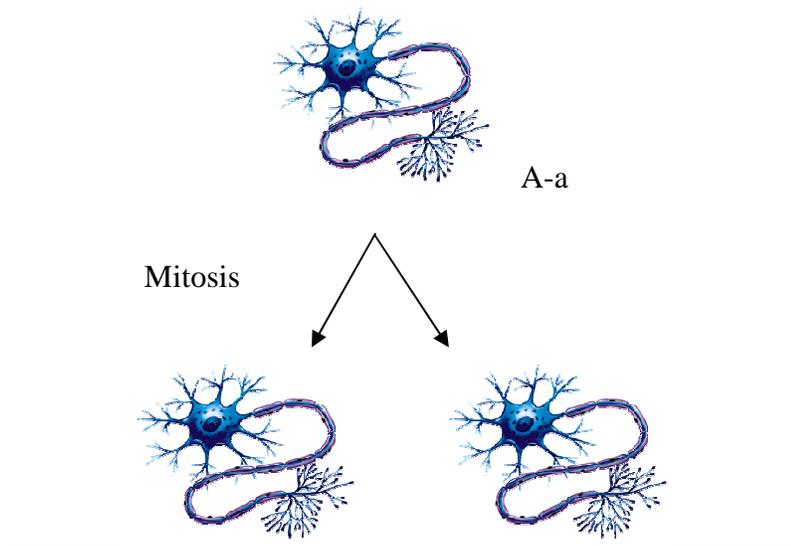
Objetivo de la guía: Replantear las ideas formuladas sobre el modelo a la luz de los resultados experimentales.

Entendamos mejor la función **Combinador**:

Todos los organismos conocidos están contruidos por células, ya sean organismos unicelulares (constituidos de una sola célula) como las bacterias o organismos multicelulares como las plantas, los mamíferos, reptiles, anfibios, peces, gusanos, insectos y demás. Las células de todos los organismos multicelulares pueden duplicarse por dos mecanismos conocidos como mitosis y meiosis.

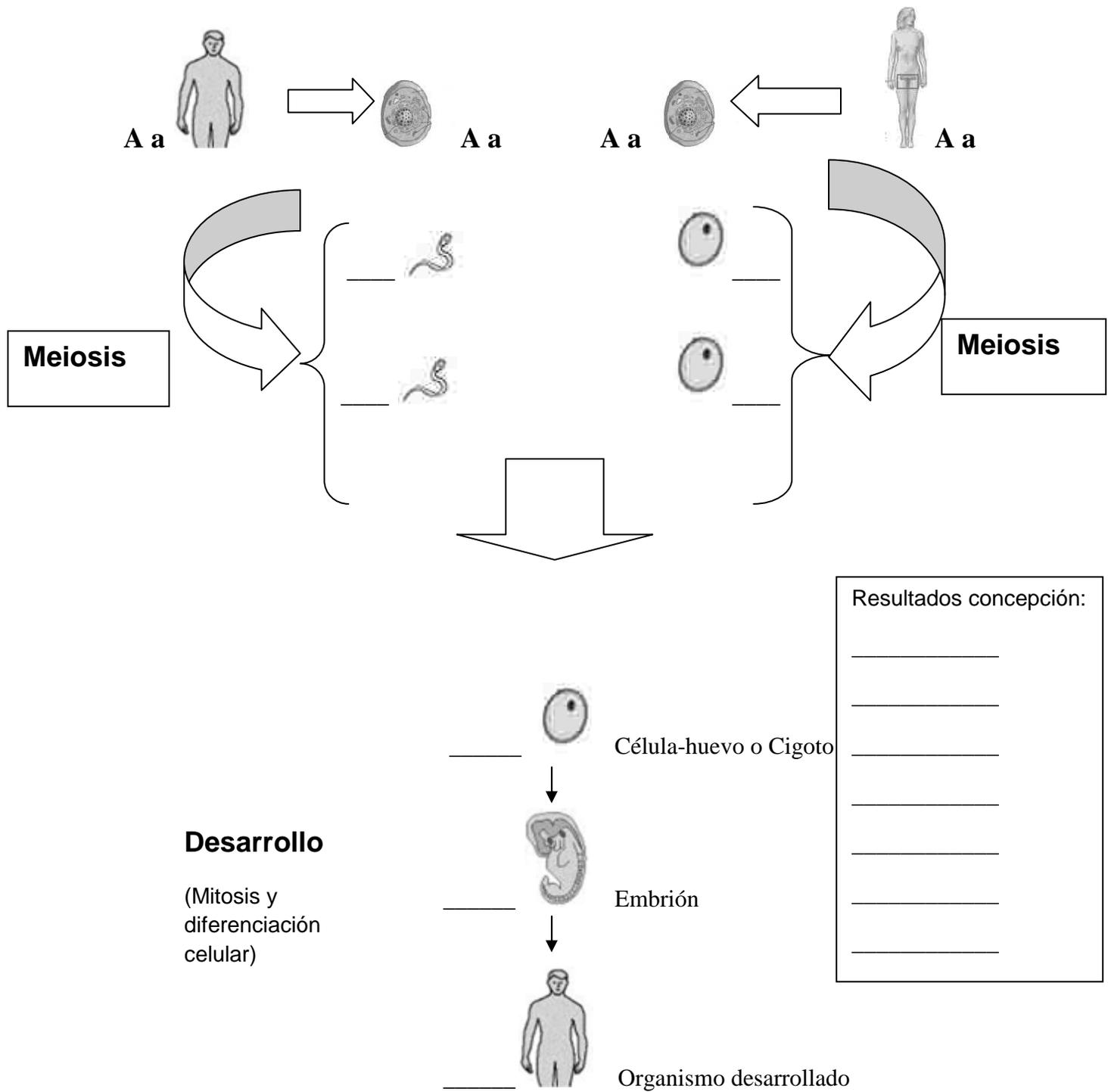
La principal diferencia entre la mitosis y meiosis está relacionada con los productos de cada mecanismo de duplicación. En la mitosis se producen dos células hijas con el mismo contenido de información hereditaria que poseía la célula madre.

1. A continuación te presentamos una célula nerviosa con un contenido de información hereditaria indicado con las letras A-a. ¿Cómo será el contenido de información hereditaria de las células hijas?



A diferencia de la mitosis, en la meiosis a partir de una célula madre se producen cuatro células hijas, con la mitad del contenido de información hereditaria que poseía la célula madre. La principal función de la mitosis es producir las células reproductivas (gametos) que permitirán la reproducción **sexual** de los organismos. Por lo tanto en todos aquellos organismos que se reproduzcan sexualmente se presentara el fenómeno de meiosis.

2. A continuación presentamos un diagrama en el cual aparecerán células que se duplicara por meiosis (provenientes de dos organismos diferentes, uno macho y el otro hembra), la cuales pertenecen a organismos con información hereditaria A-a.



Responder las siguientes cuestiones:

- a. Al lado de cada gameto (espermatozoide y ovulo) anotar la información hereditaria que poseen.
 - b. ¿Cuáles son las posibles uniones de espermatozoides y óvulos? Indicar con una flecha la unión y un número sobre la fecha.
 - c. ¿Cuál sería el contenido de información hereditaria en la célula-huevo o cigoto, que se forma después de la unión específica de un espermatozoide con un ovulo específica? Anotar la información en el cuadro de la derecha.
 - d. ¿Cuál será el contenido de información hereditaria en las células del embrión y en el adulto completamente desarrollado?
3. De acuerdo con la función **Combinador** trabajada en las guías anteriores ¿Cómo sería la herencia genética de unos padres A-a y A-a?
- _____
4. ¿Los resultados de la concepción en la pregunta 2 son los mismos resultados de la pregunta 3? Si _____ No _____
- ¿Porqué? _____
- _____
- _____
5. Según la investigación realizada cuales de los siguientes supuestos del modelo son verdaderos o falsos (respuesta de la preguntas 1.1 y 1.2 de la guía 4). En el paréntesis escribir V si es verdadero o F si es falso el supuesto.
- a. Planteamientos confirmados sobre la transferencia de elementos hereditarios:
 - ¿Cuáles son los elementos de la herencia biológica? _____ ()
 - ¿Pueden ser fácilmente observados? Si _____ No _____ ()

- ¿Todos los organismos los poseen? Si ____ No ____ ()
- ¿Todos los organismos los poseen en igual cantidad? Si ____ No ____ ()
- ¿Cuántos elementos de herencia biológica posee cada organismo? _____ ()
- ¿Cuántos provienen del padre y cuantos de la madre? _____ ()
- ¿Cuál es la fórmula matemática que permite conocer como son los elementos hereditarios en los hijos a partir de los elementos hereditarios de los padres?

_____ ()

b. Planteamientos sobre la determinación de las características de la apariencia:

- ¿Existe elementos de la herencia biológica más fuertes o dominantes que otros?
Si ____ No ____ ()
- La función que relaciona los elementos de la herencia con la apariencia es:

Función Determinador:

Elementos hereditarios	: Apariencia
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Esta función es verdadera o falsa ()

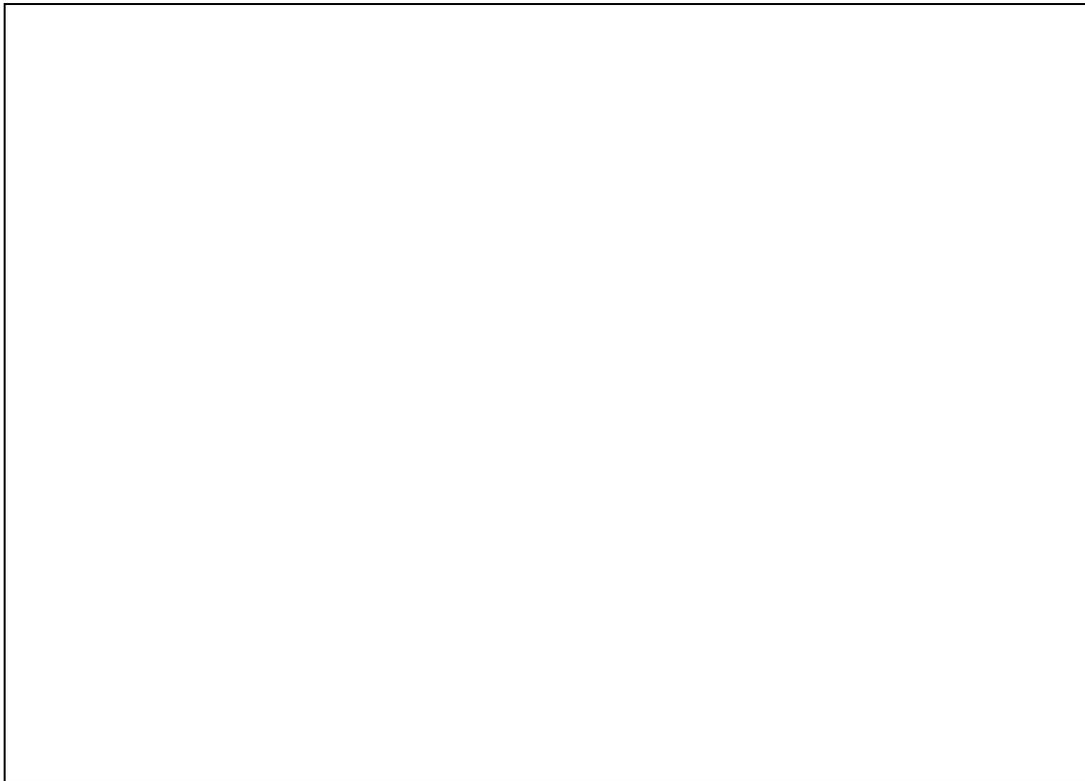
6. Cuales planteamientos nuevos reemplazaran a los planteamientos falsos del punto 5.

1. _____

2. _____

3. _____

7. Repitan la grafica del punto 13 de la guía 3, en esta ocasión tengan en cuenta los hallazgos de la investigación realizada. En este grafico no deben aparecer los planteamientos rechazados por la investigación y en su lugar deben estar los planteamientos nuevos.



Si existen dudas sobre la valides de los nuevos planteamientos, por favor diseñar un nuevo experimento que los ayuden a confirmar o rechazar dichos planteamientos (repetir guía 4 y 5 si es necesario).

B.1.7 Guía de trabajo 7.

Fase 3: Abducción del modelo.

Valoración.

Puntos a obtener:

Puntos obtenidos:

Etapa 6. Extrapolación racional del modelo.

Rol del docente: árbitro o intervención directa si es necesario.

Curso: _____ Fecha 1: _____ Fecha 2: _____ Fecha 3: _____

Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

3: _____ 4: _____

Objetivo de la guía: Concretar cada uno de los elementos del esquema del modelo.

Responder

1. Definición del dominio del modelo:

- ¿A cuáles son organismos vivos se les puede aplicar el modelo?

Organismos pluricelulares Si ___ No ___

Organismos unicelulares Si ___ No ___

Organismos vegetales (plantas) Si ___ No ___

Organismos animales Si ___ No ___

Organismos invertebrados Si ___ No ___

Organismos vertebrados Si ___ No ___

Organismos que se reproducen exclusivamente de forma asexual Si ___ No ___

Organismos que se reproducen exclusivamente de forma sexual Si ___ No ___

- ¿En estos seres vivos cual patrón o comportamiento intenta explicar el modelo desarrollado?

2. Definición de la composición del modelo:

- ¿Cuáles son los elementos primarios del modelo?

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

5. _____

- ¿Cuales conceptos fueron empleados para caracterizan los objeto mencionados arriba?

1. _____

2. _____

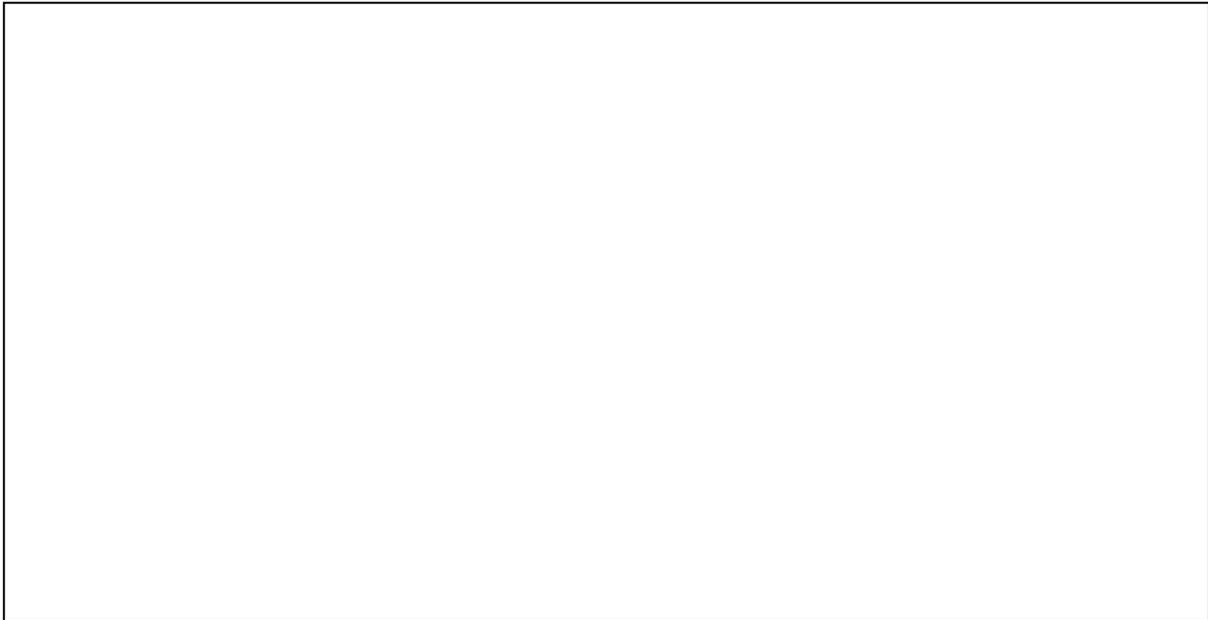
3. _____

4. _____

5. _____

- ¿Cuales conceptos fueron empleados para caracterizar el sistema estudiado?

- ¿Cuales símbolos, imágenes, diagramas o representaciones graficas pueden ser convenientemente usados para describir todos los objetos y descriptores anteriores?



3. Definición de la estructura del modelo:

- ¿Cuáles son las formulas matemáticas empeladas para determinar la apariencia a partir de la herencia biológica?



- ¿Cuáles son las formulas matemáticas empleadas para determinar cómo la herencia biológica se heredada a la progenie (hijos)?

- ¿Cuál es la relación entre **Apariencia** y la **Herencia Biológica** en este modelo?

- ¿Cuales símbolos, imágenes, diagramas o representaciones graficas pueden ser convenientemente usados para describir todo lo anterior?

B.1.8 Guía de trabajo 8.

Fase 4: Despliegue del modelo.

Valoración.

Puntos a obtener:

Puntos obtenidos:

Etapa 7: Despliegue básico.

Rol del docente: Moderador, arbitro o intervención directa si es necesario.

Curso: _____ Fecha 1: _____ Fecha 2: _____ Fecha 3: _____

Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

3: _____ 4: _____

Objetivo de la guía: Realizar un despliegue básico del modelo formulado en las guías anteriores.

Ejercicios 1 y 2 fueron tomados de Thompson et al. (2007), y el ejercicio de 3 fue tomado de Griffiths et al. (2002).

Resolver los siguientes ejercicios de despliegue del modelo:

1. En los humanos se asume que los hoyuelos en el rostro es un rasgo dominante. Una familia en donde ambos padres tiene hoyuelos en el rostro, la hija menor de ellos no tiene hoyuelos en el rostro, mientras que su hijo mayor sí. ¿Cómo es la herencia biológica en cada uno de los miembros de esta familia?

<p>Función determinador:</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
--

2. ¿En los humanos se asume que los lóbulos de las orejas pegados al rostro es un rasgo recesivo, y los lóbulos de las orejas despejados del rostro es un rasgo dominante. En un matrimonio ambos esposos tienen los lóbulos de las orejas despejados del rostro, y cada uno de ellos tienen a su vez un padre con lóbulos de las orejas pegadas al rostro. Para este caso responder:
- ¿Cómo es la herencia biológica de cada uno de los padres?
 - ¿Cómo es la apariencia de cada uno de los padres?
 - ¿Es posible para este hombre y esta mujer tener un hijo con lóbulos de las orejas pegados al rostro?

<p>Función determinador:</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
--

3. Carlos y Marta están planeando tener hijos, pero un hermano de Carlos tiene galactosemia (una enfermedad recesiva) y la abuela de Marta también padeció esta enfermedad. Una hermana de Marta tiene tres hijos, ninguno de los cuales sufre galactosemia.
- ¿Cómo es la herencia biológica en Carlos y Marta?
 - ¿Cómo es la apariencia de cada Carlos y Marta con relación a la enfermedad?
 - ¿Es posible para este hombre y esta mujer tener un hijo con esta enfermedad?

<p>Función determinador:</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
--

4. En los conejos el pelo de color negro se debe a la presencia de un alelo dominante N, y el pelo color café solo aparece en individuos en cuya herencia biológica aparezca únicamente el alelo recesivo n. De un solo embarazo, salieron 10 conejos, 3 con pelo color café y 7 con pelo color negro. Responder:
- ¿Cómo es la herencia biológica en cada uno de los conejos padres?
 - ¿Cómo es la apariencia de los conejos padre y madre?

<p>Función determinador:</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
--

5. En los guisantes (arvejas), el tamaño alto de la planta se debe a la presencia de un gen dominante L, y el tamaño bajo se debe a la presencia de dos alelos recesivos l . Un cruce de una planta alta con una planta baja dio como resultado 50 plantas hijas con tamaño alto. Responder:
- ¿Cómo es la herencia biológica de cada uno de las plantas progenitoras?
 - ¿Cómo es la apariencia de cada uno de las plantas progenitoras?

Función determinador:

6. En las gallinas, la presencia de plumas en las patas se debe a un alelo dominante P, y las patas sin plumas se debe a la presencia de dos alelos recesivos p. Un cruce de un gallo sin plumas en las patas con una gallina con plumas en las patas dio como resultado 6 gallinas hijas, 3 con plumas en las patas y 3 sin plumas en las patas.

Responder:

- ¿Cómo es la herencia biológica en cada uno de los padres?
- ¿Cómo es la apariencia de cada uno de los padres?

<p>Función determinador:</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
--

7. En los becerros, la lana blanca se debe a un alelo dominante N, y la lana negra se debe a la presencia de dos alelos recesivos n. Un carnero con lana color blanco es cruzado con una oveja de lana también color blanco, y se produce un borrego con lana color negro. Responder:
- ¿Cómo es la herencia biológica de cada uno de los padres?
 - ¿El resultado de este cruce es poco o muy probable?

Función determinador:

8. En los humanos la falta de pigmentación en la piel se denomina albinismo, y esta condición solo se manifiesta cuando existe dos alelos recesivos **a** y la pigmentación normal se debe a la presencia de un alelo dominante **A**. Un matrimonio de un hombre albino y una mujer no albina desea tener un hijo. Responder:
- a. ¿Cuál es la herencia biológica de cada uno de los padres?
 - b. ¿Cuál es la herencia biológica de cada uno de los posibles hijos?
 - c. ¿Cuál es la probabilidad de la ocurrencia de cada tipo de hijo?

<p>Función determinador:</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
--

9. En la mariposa monarca (*Danaus plexippus*) el color opaco es una apariencia que se debe a la presencia de un alelo dominante B y el color brillante se debe a la presencia de dos alelos recesivos b. Del cruce de dos mariposas monarcas se obtuvieron 25 mariposas opacas y 25 mariposas brillantes.

Responder:

- ¿Cómo es la herencia biológica de cada uno de los padres?
- ¿Cómo es la apariencia de cada uno de los padres?

Función determinador:

10. En los humanos la capacidad para percibir el sabor del compuesto feniltiocarbamida es un fenotipo dominante, y la incapacidad para percibirlo es un fenotipo recesivo. Si una mujer perceptora de este compuesto cuyo padre es no perceptor se casa con un varón perceptor que en matrimonio previo había tenido una hija no perceptora. Responder:

- a. ¿Cómo es la herencia biológica en cada uno de los esposos?
- b. ¿Cómo es la apariencia de los esposos?
- c. ¿Cuál es la probabilidad de que esta pareja tenga un hijo perceptor?

Función determinador:

Bibliografía.

Griffiths, A., Miller, J., Suzuki, D., Lewontin, R., & Gelbart, W. (2002). *Genética*. Madrid: McGraw-Hill.

Thompson, J., Hellack, J., Braver, G., & Durica, D. (2007). *Primer of Genetics Analysis: A Problems Approach*. Cambridge: Cambridge University Press.

B.1.9 Guía de trabajo 9.**Fase 4: Despliegue del modelo.****Valoración.**

Puntos a obtener:

Puntos obtenidos:

Etapa 8: Despliegue paradigmático.**Rol del docente: Arbitro.**

Curso: _____ Fecha 1: _____ Fecha 2: _____ Fecha 3: _____

Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

3: _____ 4: _____

Objetivo de la guía: Realizar un despliegue paradigmático del modelo formulado.

Problema tomado de Griffiths et al. (2002).

Resolver el siguiente problema de aplicación del modelo:

Álvaro (de 40 años de edad) y Diana (de 35 años de edad) están planeando tener hijos, pero el padre y un hermano de Álvaro tuvieron la enfermedad de Huntington. Ni Diana, ni ningún miembro conocido de su familia han manifestado nunca la enfermedad de Huntington. Debido a la gravedad de esta enfermedad, Álvaro tiene miedo de procrear un hijo con Diana, y le pide a Diana que busque un especialista en genética para que estudie el caso y le recomiende qué decisión tomar con relación a tener o no tener hijos. Diana los contacta a ustedes y les pide que estudien su caso y le den un consejo basado en la ciencia de la genética. Problema tomado de Griffiths et al. (2002).

Función determinante:

Respuesta:

Ruta de despliegue del modelo.

- a. Identificar los objetivos del problema.
- b. Identificar los elementos del modelo que se requieren para resolver el problema.
- c. Elaborar una representación grafica del problema detallando la información que se tiene a disposición y la información faltante.
- d. Identificar cuales operaciones matemáticas son requeridas para analizar la situación problema.
- e. Realizar los procedimientos matemáticos requeridos.
- f. ¿Cuáles son los resultados? ¿Cómo pueden ser justificados? ¿Cómo pueden ser interpretados?

Bibliografía.

Griffiths, A., Miller, J., Suzuki, D., Lewontin, R., & Gelbart, W. (2002). Genética. Madrid: McGraw-Hill.

B.1.10 Guía de trabajo 10.

Fase 5: Evaluación y síntesis.

Valoración.

Puntos a obtener:

Puntos obtenidos:

Etapa 9: Evaluación del modelo.

Rol del docente: Arbitro.

Curso: _____ Fecha 1: _____ Fecha 2: _____ Fecha 3: _____

Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

3: _____ 4: _____

Objetivo de la guía: Evaluar el modelo desarrollado en el ciclo de aprendizaje.

1. El docente revisara el trabajo de la guía 7 e identificara si es el caso un conjunto de inconsistencias o incoherencias del modelo desarrollado, las cuales serán anotadas a continuación.

1: _____

2: _____

3: _____

4: _____

5: _____

3. El docente suministrara a los grupos de trabajo unos libros de ciencias naturales donde se encuentre explicada la teoría de la genética clásica, y los estudiantes deberán comparar el modelo desarrollo con el conocimiento científico oficial. A continuación los estudiantes anotaran las similitudes y diferencias.

Similitudes:

1: _____

2: _____

3: _____

4: _____

5: _____

6: _____

7: _____

Diferencias:

1: _____

2: _____

3: _____

4: _____

5: _____

6: _____

7: _____

8: _____

4. ¿En la herencia de cuales organismos según su tipo de reproducción no se les puede aplicar el modelo?

B.1.10 Guía de trabajo 11.**Fase 5: Evaluación y síntesis.****Valoración.**

Puntos a obtener:

Puntos obtenidos:

Etapa 10: Síntesis paradigmática.**Rol del docente:** Arbitro.

Curso: _____ Fecha 1: _____ Fecha 2: _____ Fecha 3: _____

Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

3: _____ 4: _____

Objetivo de la guía: Elaborar un reporte sobre teniendo en cuenta la siguiente información.

Para cada guía de trabajo elaborada mencione la información solicitada según las indicaciones del profesor.

Guía 1.**Objetivo:** _____

Se logro cumplir el objetivo: _____**Destrezas desarrolladas:**

Conceptos desarrollados:

Comentarios:

Guía 2.

Objetivo: _____

Se logro cumplir el objetivo: _____

Destrezas desarrolladas:

Conceptos desarrollados:

Comentarios:

Guía 3.

Objetivo: _____

Se logro cumplir el objetivo: _____

Destrezas desarrolladas:

Conceptos desarrollados:

Comentarios:

Guía 4.

Objetivo: _____

Se logro cumplir el objetivo: _____

Destrezas desarrolladas:

Conceptos desarrollados:

Comentarios:

Guía 5.

Objetivo: _____

Se logro cumplir el objetivo: _____

Destrezas desarrolladas:

Conceptos desarrollados:

Comentarios:

Guía 6.

Objetivo: _____

Se logro cumplir el objetivo: _____

Destrezas desarrolladas:

Conceptos desarrollados:

Comentarios:

Guía 7.

Objetivo: _____

Se logro cumplir el objetivo: _____

Destrezas desarrolladas:

Conceptos desarrollados:

Comentarios:

Guía 8.

Objetivo: _____

Se logro cumplir el objetivo: _____

Destrezas desarrolladas:

Conceptos desarrollados:

Comentarios:

Guía 9.

Objetivo: _____

Se logro cumplir el objetivo: _____

Destrezas desarrolladas:

Conceptos desarrollados:

Comentarios:

Guía 10.

Objetivo: _____

Se logro cumplir el objetivo: _____

Destrezas desarrolladas:

Conceptos desarrollados:

Comentarios:

B.2 Guías ciclo de aprendizaje 2

A continuación se presentan las 5 guías de trabajo para el primer ciclo de aprendizaje, ciclo en el cual se trabajara el desarrollo del modelo 3: herencia equi-probable de factores alelos, un gen y dominancia incompleta. Las guías de trabajo 5, 6, 7, 10, 11 para este ciclo de aprendizaje son idénticas a las del ciclo de aprendizaje anterior, por lo tanto no aparecen de nuevo en este anexo. Al final de la guía de trabajo 1 se suministran una imagen para la presentación del patrón a los estudiantes y la discusión en clase sobre las respuestas a esa guía de trabajo.

B.2.1 Guía de trabajo 1.

Fase 1: Exploración.

<p>Valoración.</p> <p>Puntos a obtener:</p> <p>Puntos obtenidos:</p>

Etapa 1: Presentación del patrón

Rol del docente: Moderador.

Curso: _____ Fecha 1: _____ Fecha 2: _____ Fecha 3: _____

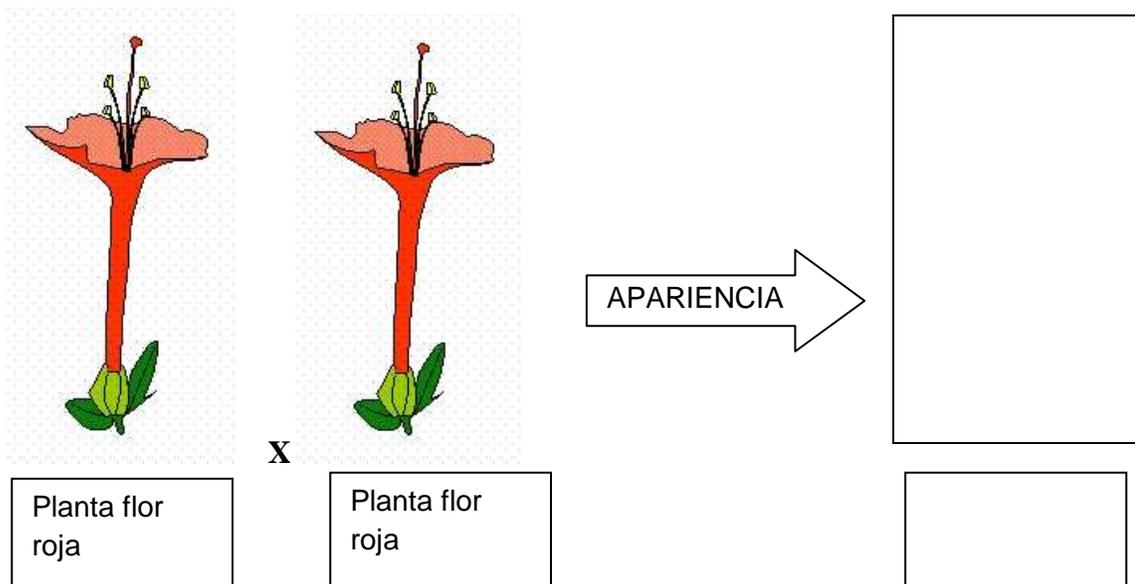
Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

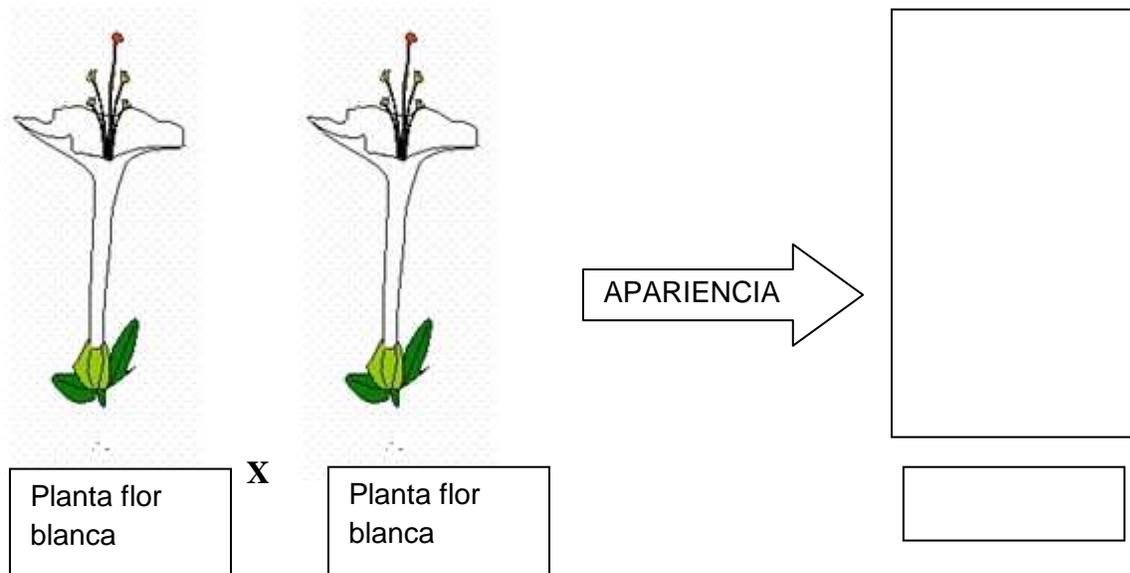
3: _____ 3: _____

Objetivo de la guía: Presentar el patrón a trabajar en el ciclo de aprendizaje y hacer explícitas las ideas previas que sobre la herencia posean los estudiantes.

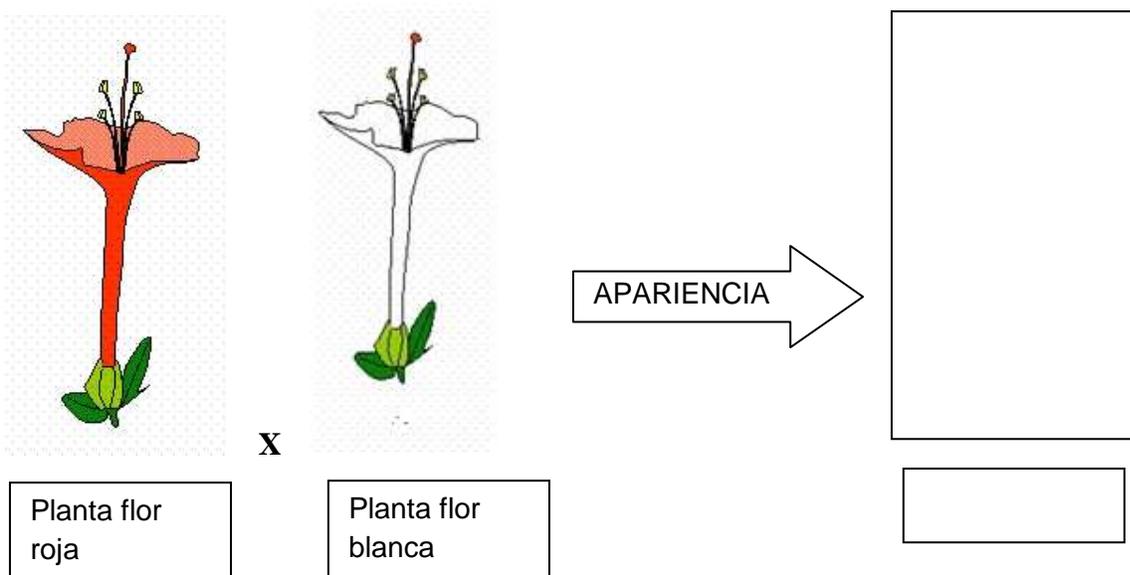
Se cruzan dos plantas de *Mirabilis jalapa* cuyas flores son rojas, ¿Cuál es el color de las flores de las hijas de este cruce?



Se cruzan dos plantas de *Mirabilis jalapa* cuyas flores son rojas, ¿Cuál es el color de las flores de las hijas de este cruce?



Se cruzan dos plantas de *Mirabilis jalapa* cuyas flores son rojas, ¿Cuál es el color de las flores de las hijas de este cruce?



Imágenes para uso del profesor en la presentación del patrón:



B.2.2 Guía de trabajo 2.

Fase 1: Exploración.

<p>Valoración.</p> <p>Puntos a obtener:</p> <p>Puntos obtenidos:</p>

Etapa 2: Proposición de modelos nominales.

Rol del docente: Moderador.

Curso: _____ Fecha 1: _____ Fecha 2: _____ Fecha 3: _____

Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

3: _____ 3: _____

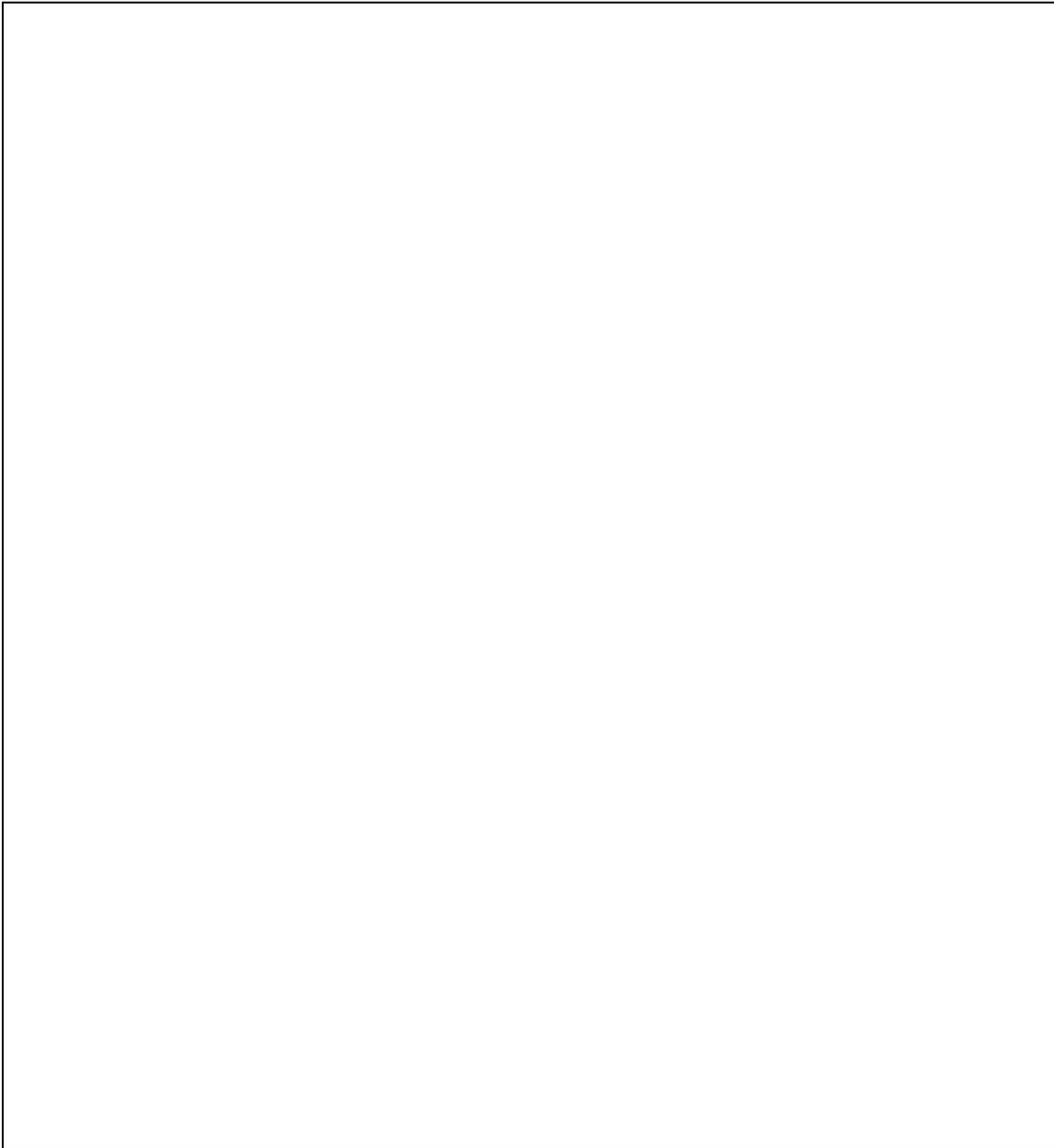
Objetivo de la guía: Promover el desarrollo de modelos nominales.

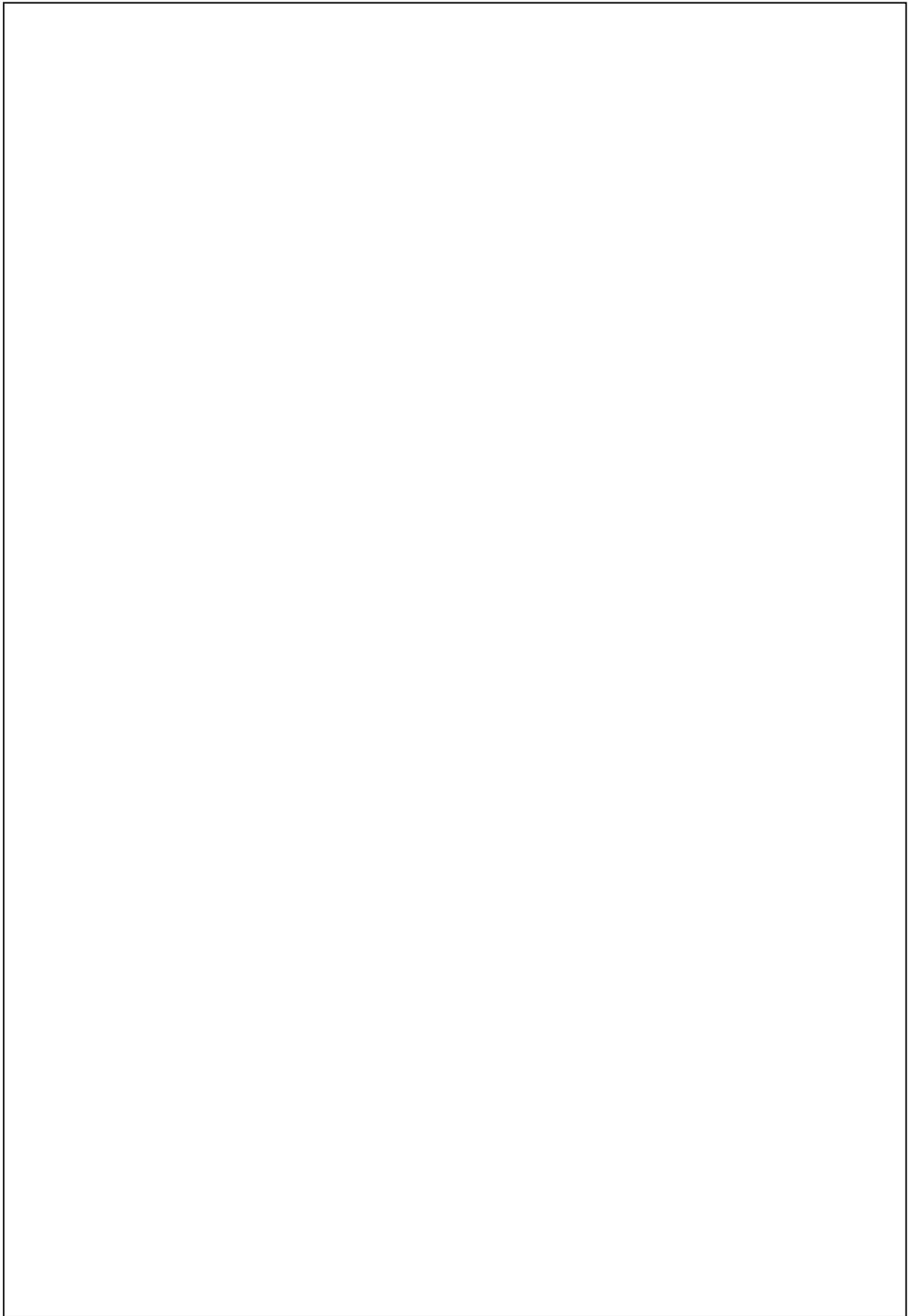
A continuación se presenta un problema el cual requiere una solución:

Dos vecinos grajeros, el señor Camargo y el señor Domínguez poseen en sus fincas gallinas andaluzas. El señor Camargo es una persona muy supersticiosa y por ese motivo solo posee gallinas y gallos andaluzas blancas, en cambio el señor Domínguez no es una persona supersticiosa y posee en su finca gallinas andaluzas de color blanco (25%), azul (50%) y negro (25%), así como también 10 gallos negros de esta misma especie (aunque uno de los gallos no es visto hace tiempo y se cree entonces que fue muerto por un perro salvaje). Hace un par de meses el señor Domínguez empieza a notar que su vecino y amigo posee algunas gallinas andaluzas de color azul y le hace un reclamo a su vecino pidiéndole que le devuelva las gallinas azules que probablemente le robo. El señor Camargo, le responde que él es una persona muy honesta y que sería incapaz de robarle algo a su vecino. En vista de esta respuesta el señor Domínguez pone una denuncia por robo al señor Domínguez en la comandancia de policía del pueblo, y el policía a cargo del caso conociendo que ustedes manejan algunos conceptos de genética, les pide una respuesta a la siguiente pregunta:

¿Es posible que las gallinas del señor Camargo que son blancas hubieran tenido polluelos de color azul? y de esta forma desestimar o no las acusaciones de robo formuladas por el señor Domínguez.

5. Construyan una representación grafica tipo **árbol genealógico**, en donde se muestre toda la información del problema planteado. Se debe realizar representaciones de los cruces:
- homocigoto blanco x homocigoto blanco
 - homocigoto negro x homocigoto negro
 - homocigoto blanco x homocigoto negro
 - heterocigoto x heterocigoto.





B.2.3 Guía de trabajo 3.

Valoración.

Puntos a obtener:

Puntos obtenidos:

Fase 2: Abducción del modelo

Etapa 3: Proposición de un modelo plausible.

Rol del docente: Arbitro.

Curso: _____ Fecha 1: _____ Fecha 2: _____ Fecha 3: _____

Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

3: _____ 3: _____

Objetivo de la guía: Promover el desarrollo de un modelo viable relacionado con el patrón estudiado en el ciclo de aprendizaje.

Contenido:

El docente revisara el modelo desarrollado en la guía anterior, y actuara como árbitro en el sentido de pedirles a los estudiantes que profundicen en uno de los modelos viables. El docente debe presentar argumentos para descartar los modelos no viables presentados en la guía anterior, y les solicitara a los estudiantes que analicen los argumentos a profundidad.

1. Argumentos del docente a favor del modelo que se trabajara a profundidad y en contra de los modelos o concepciones no viables:

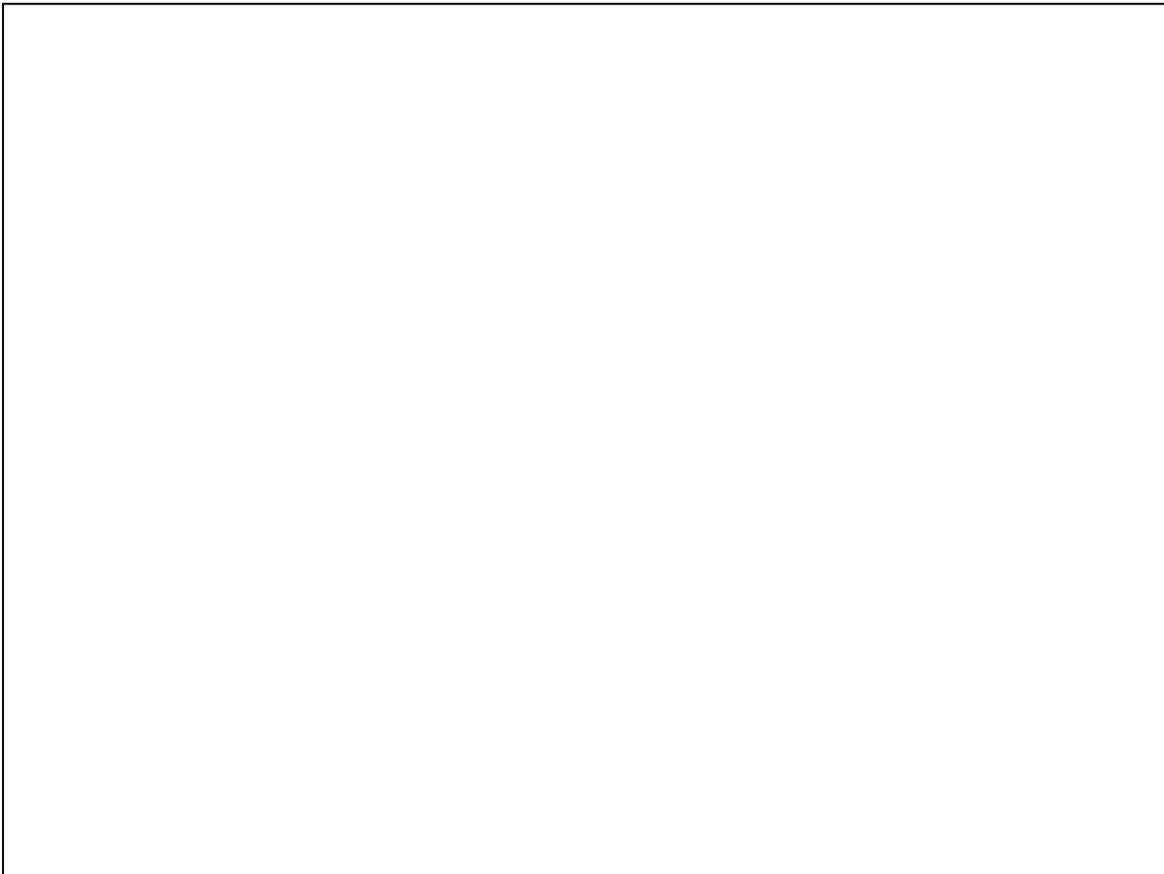
1: _____

2: _____

3: _____

4: _____

2. Repita la grafica del punto 5 de la guía anterior, pero no empleen en esta ocasión ningún nombre propio.



3. El docente revisara la grafica del punto 2 y les pedirá a los estudiantes que resuelvan sus posibles fallos de coherencia, adicionen elementos faltantes y/o replanteen ideas no viables.
4. Mencione todos los elementos (vivos y no vivos) que aparecen en la grafica del punto 2.

1:	_____
2:	_____
3:	_____
4:	_____
5:	_____
6:	_____
7:	_____
8:	_____

5. ¿De qué formas diferentes pueden aparecer agrupados dentro de un mismo ser vivo los elementos mencionados en el punto anterior?



6. ¿Cuáles son las diversas apariencias que pueden manifestar los seres vivos del problema trabajado?

Apariencia 1: _____
Apariencia 2: _____
Apariencia 3: _____

7. Relacione las diversas formas en la cuales pueden aparecer agrupados los alelos con las diversas **apariciencias** que pueden manifestar los organismos del problema planteado en la guía anterior.

Función Determinador:

Alelos:	Apariencia
_____	: _____
_____	: _____
_____	: _____
_____	: _____

8. ¿Como están organizados los alelos en las gallinas hijas de progenitores heterocigotos?

_____	+	_____	+	_____	+	_____
Hijo 1		Hijo 2		Hijo 3		Hijo 4

9. ¿Como están organizados los alelos de progenitores heterocigotos?

_____ + _____
 Madre Padre

10. A continuación se les pedirá que realicen las siguientes operaciones algebraicas, empleando como argumento los elementos de la herencia de progenitores heterocigotos.

Elemento 1.

1. (____ + _____) + (____ + _____) =
 Herencia Madre Herencia padre
2. (____ + _____) - (____ + _____) =
 Herencia Madre Herencia padre
3. (____ + _____) × (____ + _____) =
 Herencia Madre Herencia padre
4. (____ + _____) ÷ (____ + _____) =
 Herencia Madre Herencia padre

11. ¿Cuál de las operaciones realizadas en el punto anterior representan mejor el proceso de transmisión de la **herencia biología** de los padres a los hijos?

Función Combinador:

B.2.4 Guía de trabajo 4.

Fase 2: Abducción del modelo.

Valoración.

Puntos a obtener:

Puntos obtenidos:

Etapa 4: Diseño de investigación.

Rol del docente: Arbitro.

Curso: _____ Fecha 1: _____ Fecha 2: _____ Fecha 3: _____

Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

3: _____ 3: _____

Objetivo de la guía: Proponer un diseño experimental que ayude a validar o rechazar los supuestos básicos del modelo desarrollado en guías de trabajo anteriores.

Contenido:

Para verificar los postulados del modelo desarrollado se planteara la realización de diversos experimentos que los verifiquen. Emplearemos por facilidad de experimentación como modelo biológico la especie *Antirrhinum majus*. Empleando este modelo biológico se debe plantear un diseño experimental acorde a las necesidades del desarrollo del modelo.

Se han identificado con relación al color de los pétalos en esta especie las siguientes variedades:

Variante pétalos rojos**variante pétalos blancos****variante pétalos rosados**

Planteamiento del diseño de investigación:

Objetivo general: Obtener información que permita validar y/o mejorar los planteamientos del modelo desarrollado en la guía anterior.

1. Objetivo específico:

Validar o rechazar los siguientes planteamientos sobre la herencia biológica:

Planteamientos sobre la transferencia de elementos hereditarios:

- ¿Cuántos alelos por gen posee cada organismo? _____
- ¿Cuántos alelos por gene provienen del padre y cuantos de la madre?

- ¿Cuál es la fórmula matemática que permite conocer como son los elementos hereditarios en los hijos a partir de los elementos hereditarios de los padres?

Planteamientos sobre la determinación de las características de la apariencia:

Función Determinador:

Elementos alelos	: Apariencia

2. Cruce experimental:

- a. En cada uno de los cuadros dibujen los progenitores a cruzar en el experimento:

Progenitor

X

Progenitor

Herencia biológica

Herencia biológica

Apariencia

Apariencia

e. Elaboren una representación grafica del cruce planteado.



f. Según el modelo desarrollado como seria la progenie del cruce planteado:

Apariencia 1: _____ %: _____ Apariencia 2: _____ %: _____

Apariencia 3: _____ %: _____ Apariencia 4: _____ %: _____

3. Expliquen porque los cruces planteados les permite validar o rechazar las hipótesis mencionadas en los objetivos específicos.



B.2.8 Guía de trabajo 8.

Fase 4: Despliegue del modelo.

<p>Valoración.</p> <p>Puntos a obtener:</p> <p>Puntos obtenidos:</p>

Etapa 7. Despliegue básico.

Rol del docente: Moderación, arbitraje o intervención directa si es necesario.

Curso: _____ Fecha 1: _____ Fecha 2: _____ Fecha 3: _____

Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

3: _____ 3: _____

Objetivo de la guía: Realizar un despliegue básico del modelo formulado en las guías anteriores.

Ejercicios tomados de Griffiths et al. 2002.

Resolver los siguientes ejercicios de aplicación del modelo:

1. Al realizar un cruzamiento entre una mariposa de alas grises con otra de alas negras se obtuvo una descendencia formada por 93 mariposas de alas negras y 93 mariposas de alas grises. La mariposa de alas grises se cruzó con otra que presenta alas blancas, obteniéndose una descendencia formada por 35 mariposas blancas y 35 mariposas grises. Averiguar los genotipos, tanto de las mariposas que se cruzan como de los descendientes.
2. Un perro de pelo negro, cuyo padre era de pelo blanco, se cruza con una perra de pelo gris, cuya madre era negra. Sabiendo que el color negro del pelaje domina

sobre el blanco en los machos, y que en las hembras negro y blanco presentan herencia intermedia, explicar cómo serán los genotipos de los perros que se cruzan y tipos de hijos que pueden tener respecto del carácter considerado.

3. Los genes alelos P y p rigen el desarrollo de las plumas de las gallinas. El genotipo PP determina gallinas con las plumas muy rizadas, el pp normalmente rizadas y el Pp medianamente rizadas. Cuando se cruzan una gallina con plumas normales y un gallo de plumas muy rizadas, ¿qué fracción de la F2 se espera que tenga las plumas medianamente rizadas?
4. En las plantas del género *Antirrhinum*, las flores rojas y las blancas presentan herencia intermedia. Lo mismo ocurre con las hojas estrechas y las hojas anchas. Suponiendo que las parejas alélicas correspondientes segregan de forma independiente, indica las proporciones genotípicas y fenotípicas esperadas en:
 - a. La autofecundación de una planta de flores rosas y hojas de anchura intermedia.
 - b. El cruzamiento entre una planta igual a la anterior y otra de flores blancas y hojas estrechas.
5. Se cruzan dos plantas de flores color naranja y se obtiene una descendencia formada por 30 plantas de flores rojas, 60 de flores naranja y 30 de flores amarillas. ¿Qué descendencia se obtendrá al cruzar las plantas de flores naranjas obtenidas, con las rojas y con las amarillas también obtenidas? Razonar los tres cruzamientos.

Bibliografía.

Griffiths, A., Miller, J., Suzuki, D., Lewontin, R., & Gelbart, W. (2002). *Genética*. Madrid: McGraw-Hill.

B.2.9 Guía de trabajo 9.

Fase 4: Despliegue del modelo.

<p>Valoración.</p> <p>Puntos a obtener:</p> <p>Puntos obtenidos:</p>

Etapa 7. Despliegue paradigmático.

Rol del docente: Realizar un despliegue básico del modelo formulado en las guías anteriores.

Curso: _____ Fecha 1: _____ Fecha 2: _____ Fecha 3: _____

Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

3: _____ 3: _____

Objetivo de la guía: Realizar un despliegue paradigmático del modelo formulado.

Problema tomado de Griffiths et al. 2002.

Resolver los siguientes problemas de aplicación del modelo:

Una mujer poseía un caniche hembra de raza pura que era albina (in fenotipo autosómico recesivo) y quería cruzarla para obtener una camada de cachorros blancos. Llevo el perro a un criador, que le dijo que cruzaría a la hembra con un semental macho albino, también de raza pura. Cuando nacieron 6 cachorros, todos eran negros, por lo que la mujer denunció al criador, quejándose de que había cambiado el semental macho por un perro negro, proporcionándole una camada que no era la deseada. Imaginen que le llaman como testigo experto, y la defensa le pregunta si es posible que aparezcan descendientes negros a partir de dos padres albinos de raza pura. ¿Cómo testificaría?

Ruta del despliegue.

- a. Identificar los objetivos del problema.
- b. Identificar los elementos del modelo que se requieren para resolver el problema?
- c. Elaborar una representación grafica del problema identificando la información que se tiene a disposición y la información faltante?
- d. Definir cuales descriptor matemáticos son los requeridos?
- e. Identificar cuales operaciones matemáticas son requeridas para analizar la situación y el modelo teórico?
- f. Realizar los procedimientos matemáticos.
- g. Cuáles son los resultados? Como pueden ser justificados? Como pueden ser interpretados?

Bibliografía.

Griffiths, A., Miller, J., Suzuki, D., Lewontin, R., & Gelbart, W. (2002). Genética. Madrid: McGraw-Hill.

B.3 Guías ciclo de aprendizaje 3.

A continuación se presentan las 5 guías de trabajo para el primer ciclo de aprendizaje, ciclo 2 en el cual se trabajara el desarrollo del modelo 3: herencia equi-probable de factores alelos, dos genes y dominancia completa. Las guías de trabajo 5, 7, 10, 11 para este ciclo de aprendizaje son idénticas a las del ciclo de aprendizaje anterior, por lo tanto no aparecen de nuevo en este anexo. Al final de la guía de trabajo en clase 1 se suministran una imagen para la presentación del patrón a los estudiantes y la discusión sobre las respuestas a esa guía de trabajo.

B.3.1 Guía de trabajo 1.

Fase 1: Exploración.

Valoración.

Puntos a obtener:

Puntos obtenidos:

Etapa 1: Presentación del patrón.**Rol del docente:** Moderador.

Curso: _____ Fecha 1: _____ Fecha 2: _____ Fecha 3: _____

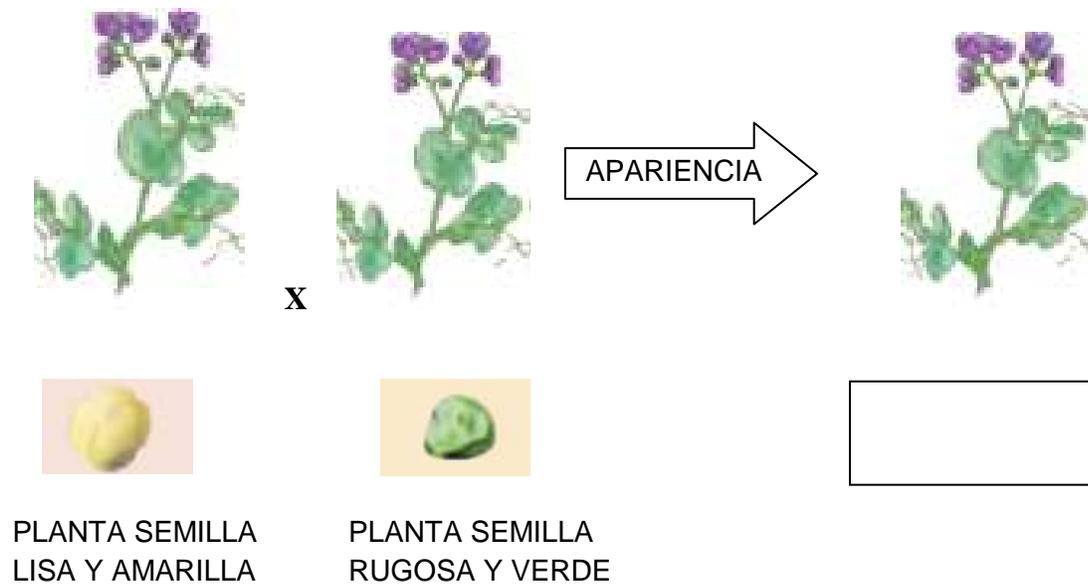
Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

3: _____ 4: _____

Objetivo de la guía: Presentar el patrón a trabajar en el ciclo de aprendizaje y hacer explícitas las ideas previas que sobre la herencia posean los estudiantes.

Se realiza un cruce de una planta de guisantes de semillas rugosas y verde, con una planta de semillas lisas y amarilla, ambas plantas son doble homocigotas. ¿Cuál será la apariencia de las semillas de las 16 plantas hijas de este cruce? Recordemos que la textura de semilla es determinada por un gen cuyo alelo textura rugosa es recesivo frente al alelo textura lisa. A su vez, el color de la semilla es determinada por otro gen cuyo alelo color verde es recesivo frente al alelo color amarillo.



En esta ocasión se realiza un nuevo cruce empleando dos plantas hijas del cruce anterior.

¿Cuál será la apariencia de las semillas de las plantas hijas de este cruce?

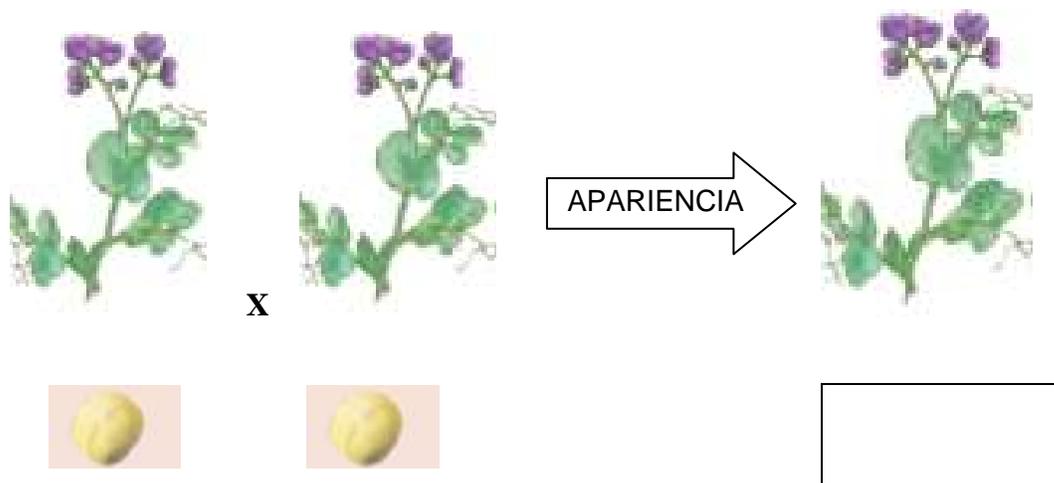
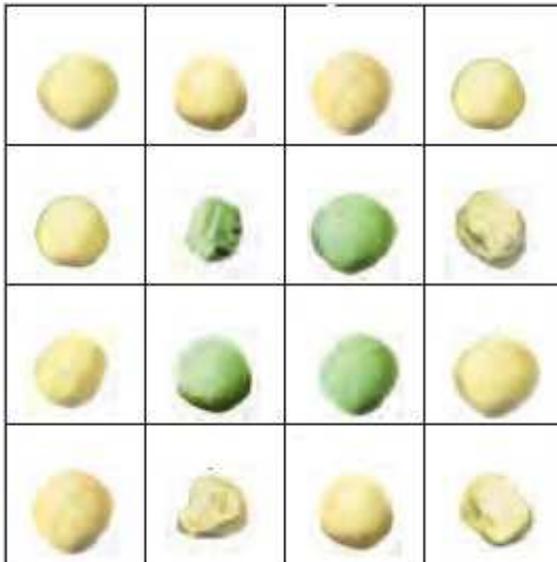


Imagen para uso exclusivo del docente en la presentación del patrón:



B.3.2 Guía de trabajo 2.

Fase 1: Exploración.

Valoración.

Puntos a obtener:

Puntos obtenidos:

Etapa 2: Proposición de modelos nominales.

Rol del docente: Moderador.

Curso: _____ Fecha 1: _____ Fecha 2: _____ Fecha 3: _____

Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

3: _____ 3: _____

Objetivo de la guía: Promover el desarrollo de modelos nominales.

A continuación se presenta un problema el cual requiere una solución:

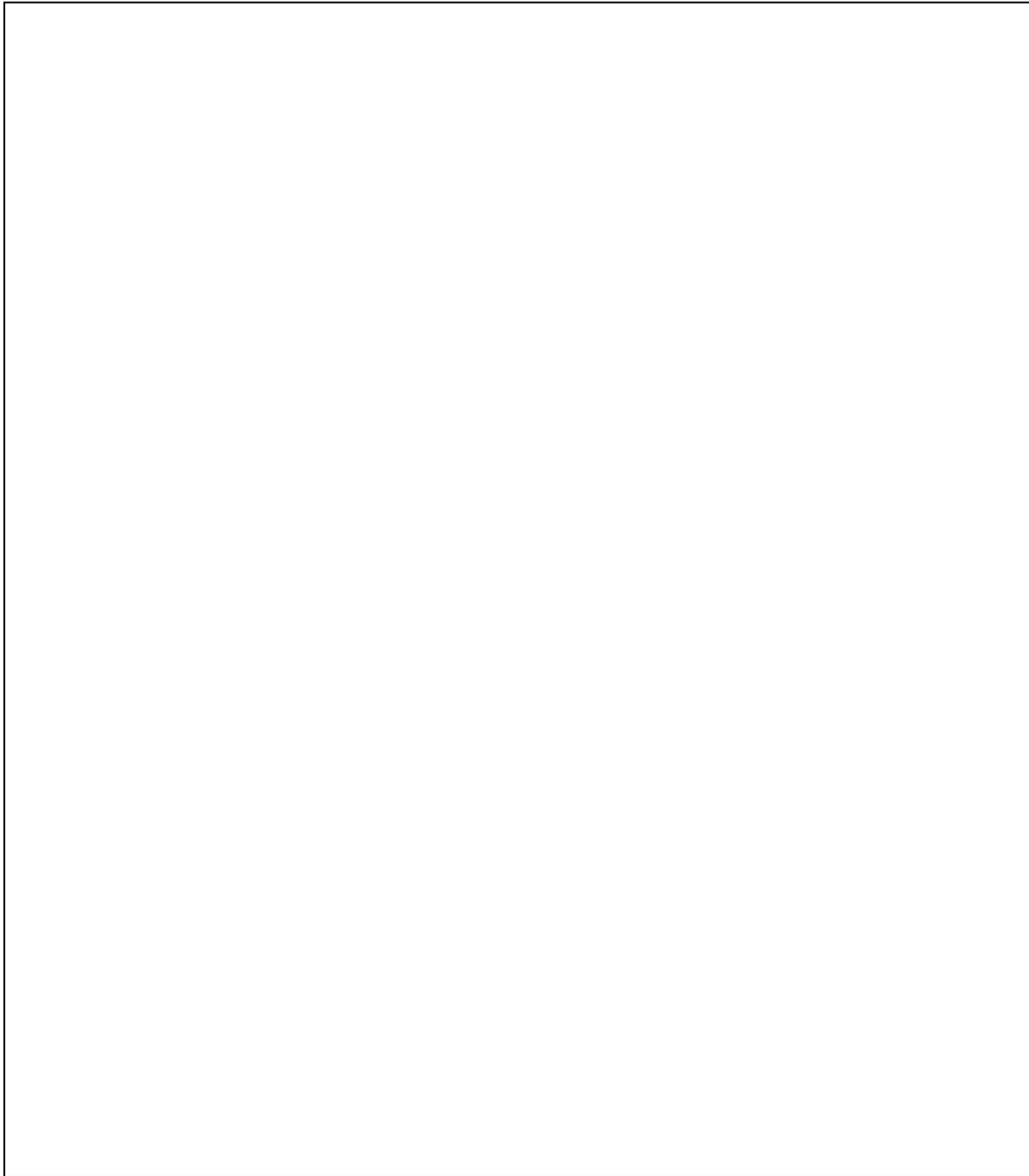
Jimena (fenotipo: con hoyuelos en el rostro y lóbulos de las orejas despegados del rostro) y Diego (fenotipo: con hoyuelos en el rostro y lóbulos de las orejas despegados del rostro) eran los padres de 16 hijos (fenotipos: 9 con hoyuelos en el rostro y lóbulo de las orejas despegados del rostro, 3 sin hoyuelos en el rostro y lóbulo de las orejas despegados, 3 con hoyuelos en el rostro y lóbulo de las orejas pegados al rostro; y 1 sin hoyuelos en el rostro y lóbulos de las orejas pegados al rostro). Lamentablemente hace unos meses tanto Jimena y Diego fallecieron por causas naturales a una edad muy avanzada, y les dejaron como herencia a sus 16 hijos reconocidos una finca de gran tamaño. En el día de la repartición de la herencia entre los hijo reconocidos, aparece Enrique (fenotipo: sin hoyuelos en el rostro y lóbulos de las orejas pegados al rostro), el cual argumenta que es hijo extramarital de Diego y de Adriana (fenotipo: sin hoyuelos en el rostro y lóbulos de las orejas pegados), y en consecuencia argumenta que también tiene derecho a parte de la herencia. El juez que repartía la herencia al observar una fotografías nota que Enrique tiene cierto parecido físico con Diego, sin embargo es prudente y pide hacer un estudio de ADN que no se puede hacer ya que los cuerpos de Jimena y Diego fueron incinerados y por lo tanto no existen una muestra disponible del ADN de Diego. El juez con el ánimo de respetar la herencia de los hijos reconocidos de Diego, le pide ayuda a su grupo de trabajo para que determinen con bases científicas y con la información suministrada si en realidad es posible que Enrique sea hijo biológico de Diego.

3. Definir cuál es el objetivo del problema, preguntándose: ¿Qué es lo que el problema pide que resuelvan?

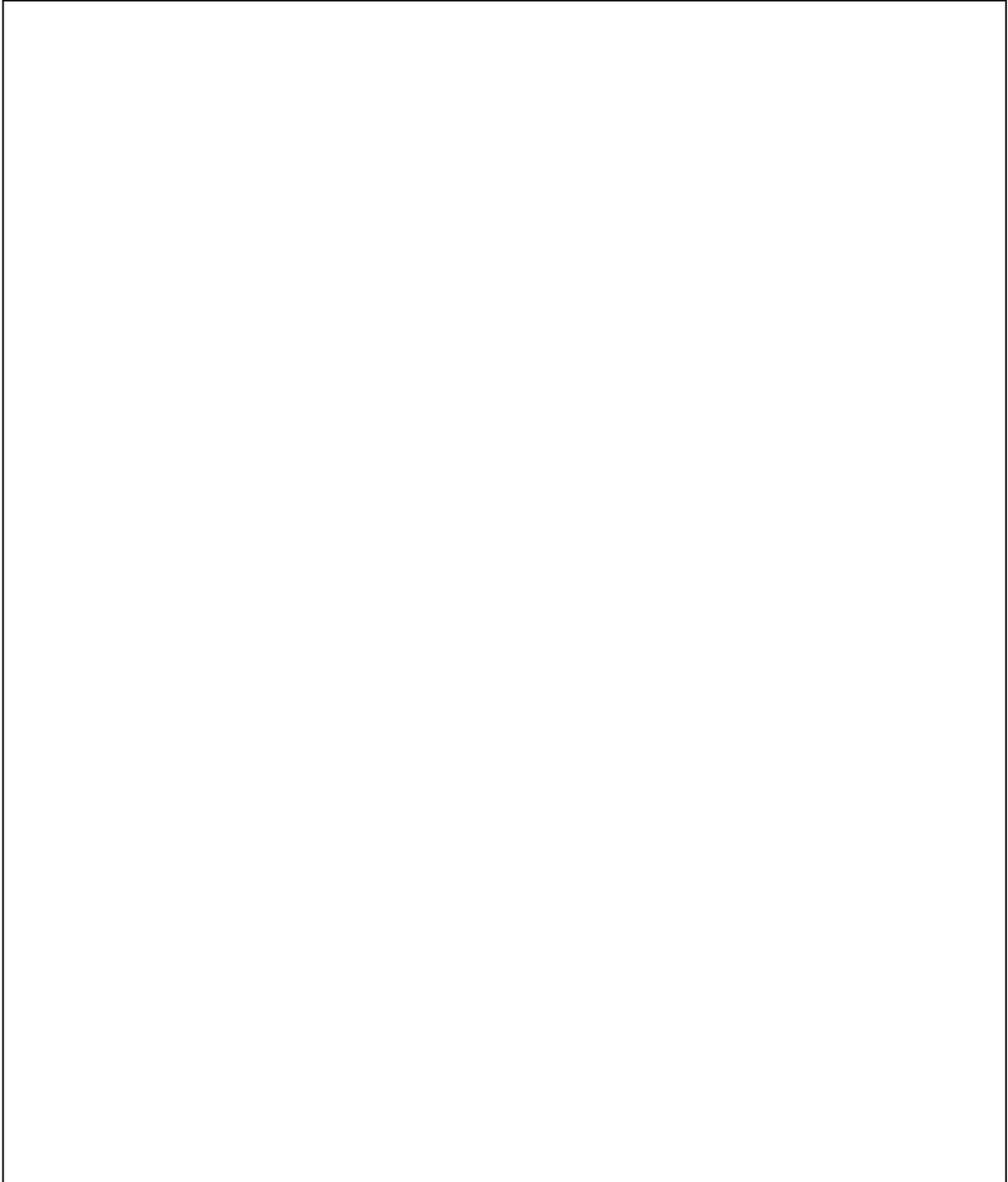
4. Elaboren una lista de la información que se presenta en el problema planteado:

Datos:	Nombre	Apariencias
Persona1:	_____	características: _____
Persona2:	_____	características: _____
Persona3:	_____	características: _____
Persona4:	_____	características: _____
Persona5:	_____	características: _____
Persona6:	_____	características: _____
Persona7:	_____	características: _____
Persona8:	_____	características: _____
Persona9:	_____	características: _____
Persona10:	_____	características: _____
Persona11:	_____	características: _____
Persona12:	_____	características: _____

5. Construyan una representación grafica tipo **árbol genealógico**, en donde se muestre toda la información del problema planteado.
 - a. En el primer cuadro representar la información de Jimena, Diego y sus 16 hijos reconocidos (con los fenotipos y los alelos de cada organismo).



- c. En el segundo cuadro representar el posible cruce entre Diego y Adriana, donde se muestren todos sus posibles hijos (con los fenotipos y respectivos alelos de cada organismo).

A large empty rectangular box with a thin black border, intended for a student to draw a genetic cross diagram. The box is currently blank.

B.3.3 Guía de trabajo 3.

Fase 2: Abducción del modelo

Valoración.

Puntos a obtener:

Puntos obtenidos:

Etapa 3: Proposición de un modelo plausible.

Rol del docente: Arbitro.

Curso: _____ Fecha 1: _____ Fecha 2: _____ Fecha 3: _____

Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

3: _____ 3: _____

Objetivo de la guía: Promover el desarrollo de un modelo viable relacionado con el patrón estudiado en el ciclo de aprendizaje.

Contenido:

El docente revisara el modelo desarrollado en la guía anterior, y actuara como árbitro en el sentido de pedirles a los estudiantes que profundicen en uno de los modelos viables. El docente debe presentar argumentos para descartar los modelos no viables presentados en la guía anterior, y les solicitara a los estudiantes que analicen los argumentos a profundidad.

1. Argumentos del docente a favor del modelo que se trabajara a profundidad y en contra de los modelos o concepciones no viables:

1: _____

2: _____

3: _____

4: _____

2. ¿Cuáles son los diferentes arreglos en los cuales pueden aparecer agrupados dentro de un mismo organismo los alelos mencionados en el problema planteado en la guía 2?



3. ¿Cuáles son las diversas apariencias que pueden manifestar los organismos del problema trabajado en la guía 2?

Apariencia 1: _____
Apariencia 2: _____
Apariencia 3: _____
Apariencia 4: _____

4. Relacionen las diversas formas en la cuales pueden aparecer agrupados los alelos (mencionado en el punto 2) con las diversas **apariciencias** que pueden manifestar los organismos del problema planteado (mencionado en el punto 3).

Función Determinador:

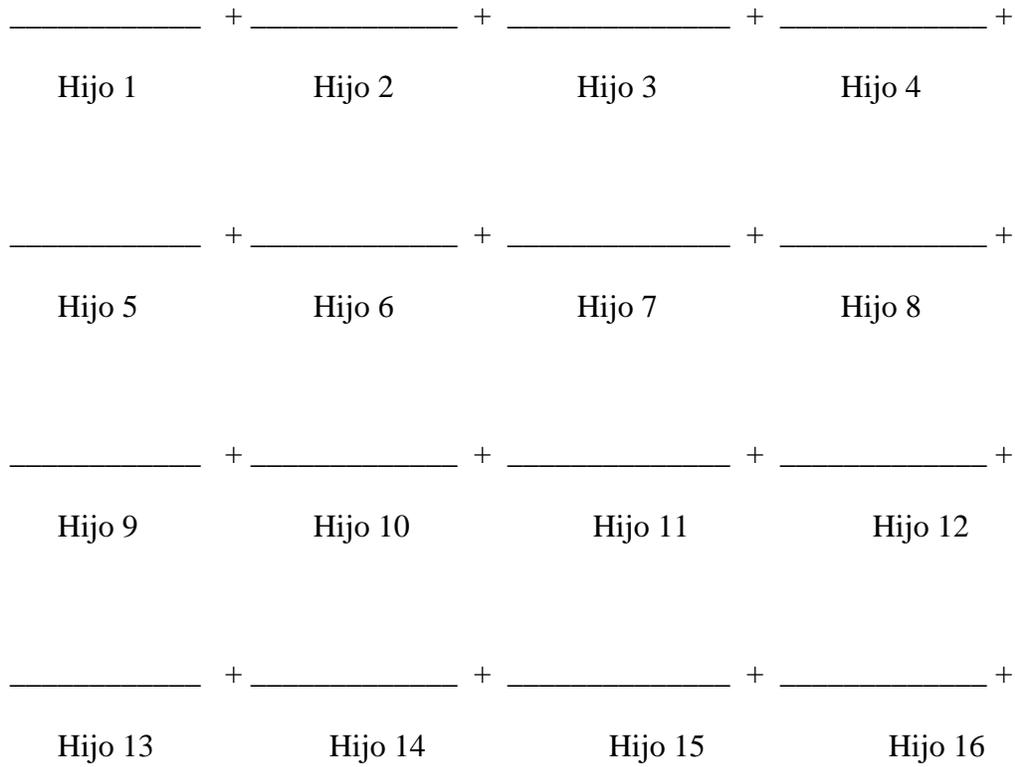
Elementos alelos: Apariencia
_____ : _____
_____ : _____
_____ : _____
_____ : _____

Elementos alelos: Apariencia
_____ : _____
_____ : _____
_____ : _____
_____ : _____

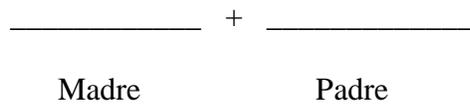
Elementos alelos: Apariencia
_____ : _____
_____ : _____
_____ : _____
_____ : _____

Elementos alelos: Apariencia
_____ : _____
_____ : _____
_____ : _____
_____ : _____

5. ¿Como están organizados los alelos en los hijos reconocidos de Jimena y Diego?



6. ¿Como están organizados los alelos en Jimena y Diego?



7. A continuación se les pedirá que realicen las siguientes operaciones algebraicas, empleando como argumento los alelos de Jimena y Diego. Dentro de un mismo par de paréntesis ubicar los alelos correspondientes a un solo gen.

$$1. [(_ + _) \times (_ + _)] - [(_ + _) \times (_ + _)] =$$

Herencia Madre Herencia padre

$$2. [(_ + _) \times (_ + _)] + [(_ + _) \times (_ + _)] =$$

Herencia Madre Herencia padre

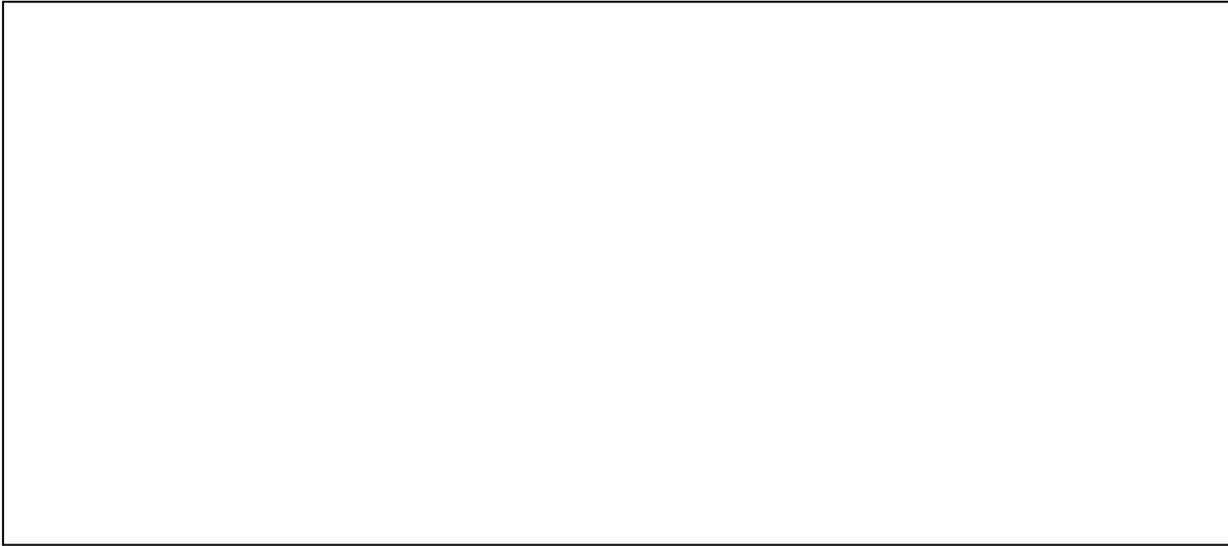
$$3. [(_ + _) \times (_ + _)] \times [(_ + _) \times (_ + _)] =$$

Herencia Madre Herencia padre

$$4. [(_ + _) \times (_ + _)] \div [(_ + _) \times (_ + _)] =$$

Herencia Madre Herencia padre

8. ¿Cuál de las operaciones realizadas en el punto anterior representan mejor el proceso de transferencia de los **alelos** de los padres a los hijos?

Función Combinador:

B.3.4 Guía de trabajo 4.

Fase 2: Abducción del modelo.

Valoración.

Puntos a obtener:

Puntos obtenidos:

Etapa 4: Diseño de investigación.

Rol del docente: Arbitro.

Curso: _____ Fecha 1: _____ Fecha 2: _____ Fecha 3: _____

Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

3: _____ 4: _____

Objetivo de la guía: Proponer un diseño experimental que ayude a validar o rechazar los supuestos básicos del modelo desarrollado en guías de trabajo anteriores.

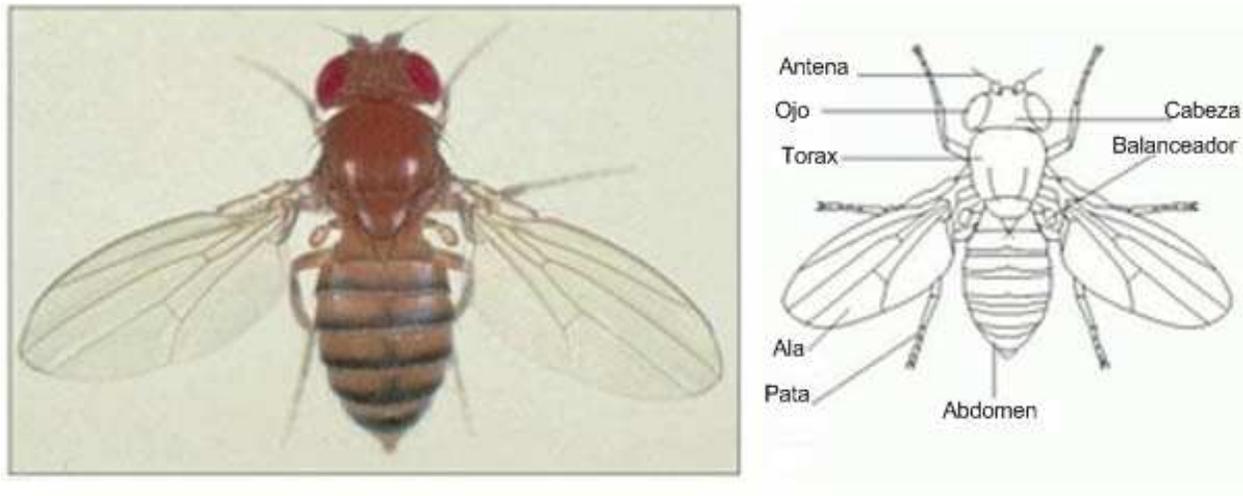
Contenido:

Para verificar los postulados del modelo desarrollado se planteara la realización de diversos experimentos que los verifiquen. Emplearemos por facilidad de experimentación como modelo biológico la especie *Drosophila Melanogaster*. A continuación se ofrece una pequeña descripción de la morfología de esta especie, tanto de los organismos silvestres como de algunos mutantes disponibles para experimentación.

Drosophila melanogaster (literalmente "amante del rocío de vientre negro"), también llamada mosca del vinagre o mosca de la fruta, es una especie de díptero braquícero de la familia Drosophilidae. Recibe su nombre debido a que se alimenta de frutas en proceso de fermentación tales como manzanas, bananas, uvas, etc.

Al igual que todos los insectos, el cuerpo de los organismos de *Drosophila Melanogaster* se dividen en tres segmentos básicos: cabeza, tórax y abdomen. En la cabeza se encuentran ubicados los ojos y las antenas, mientras que en el tórax se encuentran ubicadas las alas y las seis patas. En el abdomen se encuentran ubicados los órganos reproductivos los cuales permiten la copula y el apareamiento. En la figura 1 se muestra se muestra la ubicación de los principales elementos morfológico de la mosca de la fruta, así como también una imagen fotográfica de esta mosca en estado silvestre.

Figura 1. Morfología de la mosca *Drosophila Melanogaster*.



Se han identificado muchas variedades mutantes de la mosca de la fruta, pero para el diseño de un experimento contaremos solo con la siguiente variedad:

Variante mutante sin alas y cuerpo amarillo:



Planteamiento del diseño de investigación:

Objetivo general: Obtener información que permita validar y/o mejorar los planteamientos del modelo desarrollado en la guía anterior.

1. Objetivo específico:

Validar o rechazar los siguientes planteamientos sobre la herencia biológica:

Planteamientos sobre la transferencia de elementos hereditarios:

- ¿Cuántos elementos de alelos por gen posee cada organismo? _____

- ¿Cuántos alelos por gen provienen del padre y cuantos de la madre? _____

- ¿Cuál es la fórmula matemática que permite conocer como son los elementos hereditarios en los hijos a partir de los elementos hereditarios de los padres?

- Planteamientos sobre la determinación de las características de la apariencia:

Función Determinador:

Elementos hereditarios: Apariencia

:

:

:

:

Elementos hereditarios: Apariencia

:

:

:

:

Elementos hereditarios: Apariencia

:

:

:

:

Elementos hereditarios: Apariencia

:

:

:

:

2. Cruce experimental 1:

A continuación diseñaran un experimento para poder observar la herencia de ciertas características físicas en las moscas de las fruta.

En cada uno de los cuadros dibujen los progenitores a cruzar en el experimento:

Progenitor

Progenitor

Mosca silvestre

Herencia biológica

Herencia biológica

Apariencia

Apariencia

- a. Para el caso de las características seleccionadas en estas moscas ¿Cómo son los alelos de cada uno de los genes asociados a los caracteres de la apariencia trabajados?

- b. Definan la relación entre herencia biológica y la apariencia según las características seleccionadas.

c. Función Determinador:

Elementos alelos: Apariencia

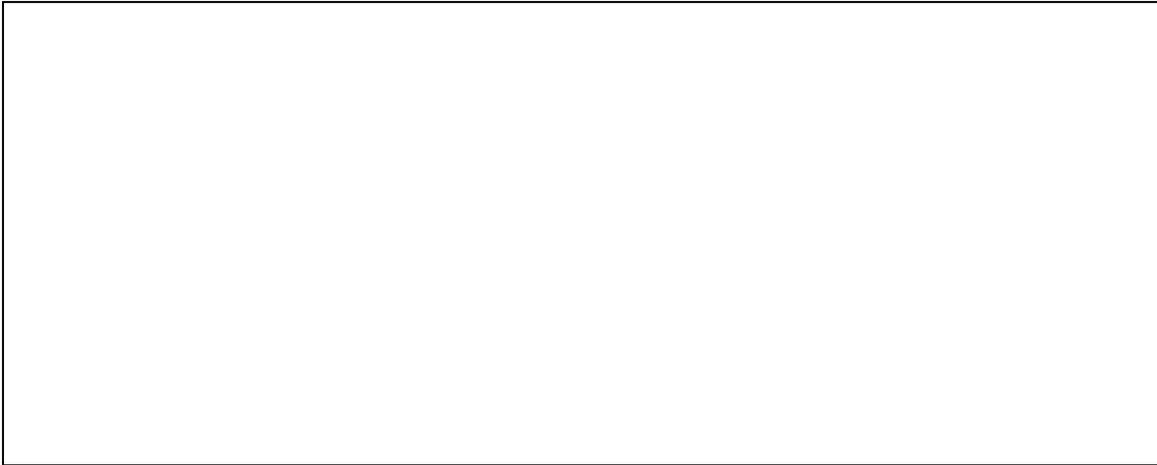
_____:

_____:

_____:

_____:

- d. Empleando la **Función Combinador** determinen como serán los alelos en cada una de las posibles moscas hijas.



e. Elaboren una representación grafica del cruce planteado.



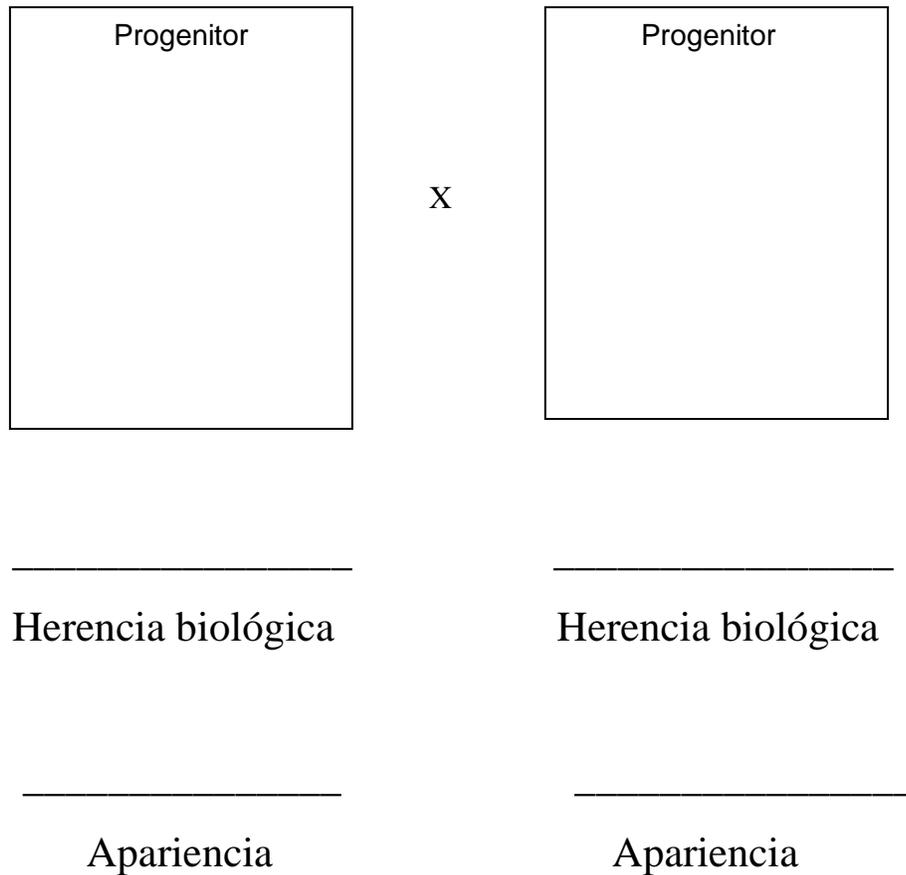
f. Según el modelo desarrollado como sería la progenie del cruce planteado:

Apariencia 1: _____ %: _____ Apariencia 2: _____ %: _____

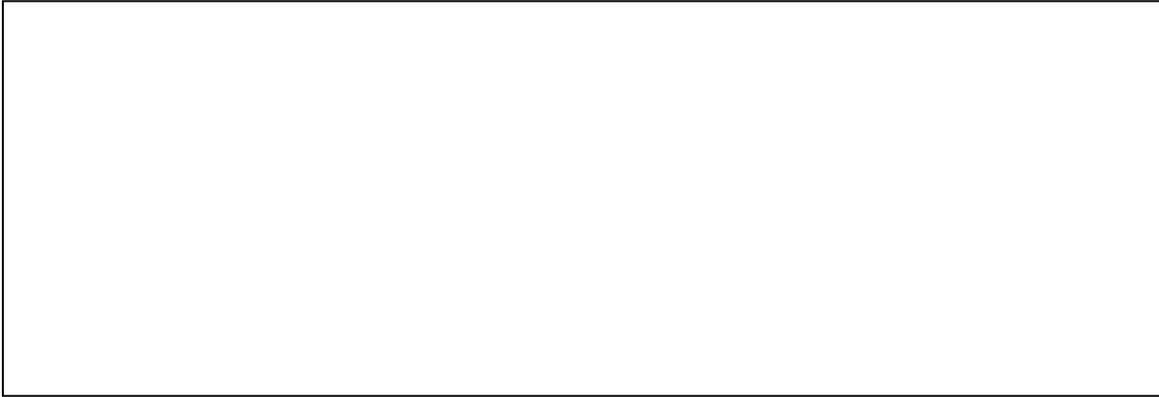
Apariencia 3: _____ %: _____ Apariencia 4: _____ %: _____

3. Cruce experimental 2:

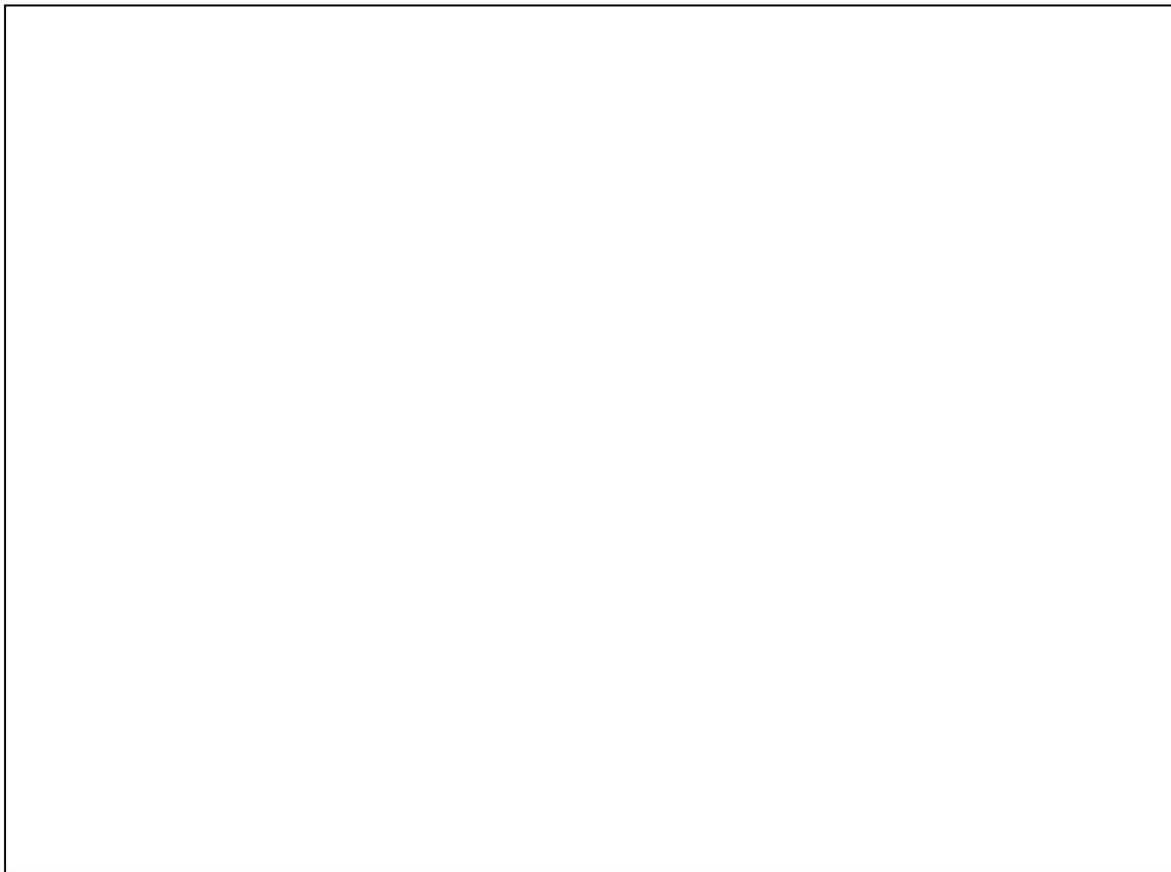
- a. En cada uno de los cuadros dibujen los progenitores a cruzar en el experimento 2, los cuales corresponden a dos organismos hijos resultantes del primer cruce:



- b. Empleando la **Función Combinador** determinen como serán los alelos en cada una de las posibles moscas hijas.



- c. Elaboren una representación grafica del cruce planteado.



B.3.6 Guía de trabajo 6.

Fase 3: Abducción del modelo

Valoración.

Puntos a obtener:

Puntos obtenidos:

Etapa 5b. Formulación inicial del modelo:**Rol del docente:** Arbitro.

Curso: _____ Fecha 1: _____ Fecha 2: _____ Fecha 3: _____

Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

3: _____ 4: _____

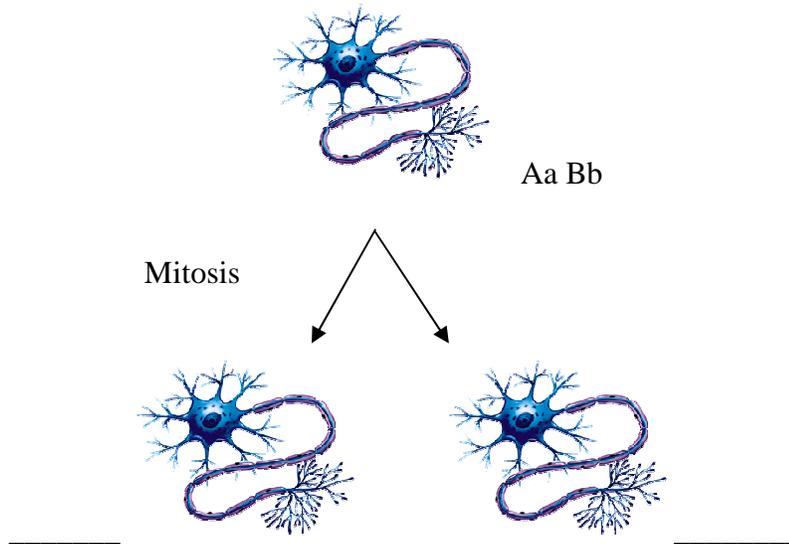
Objetivo de la guía: Replantear las ideas formuladas sobre el modelo a la luz de los resultados experimentales.

Entendamos mejor la **Función COMBINADOR:**

Todos los organismos conocidos están contruidos por células, ya sean organismos unicelulares (constituidos de una sola célula) como las bacterias o organismos multicelulares como las plantas, los mamíferos, reptiles, anfibios, peces, gusanos, insectos y demás. Las células de todos los organismos multicelulares pueden duplicarse por dos mecanismos conocidos como mitosis y meiosis.

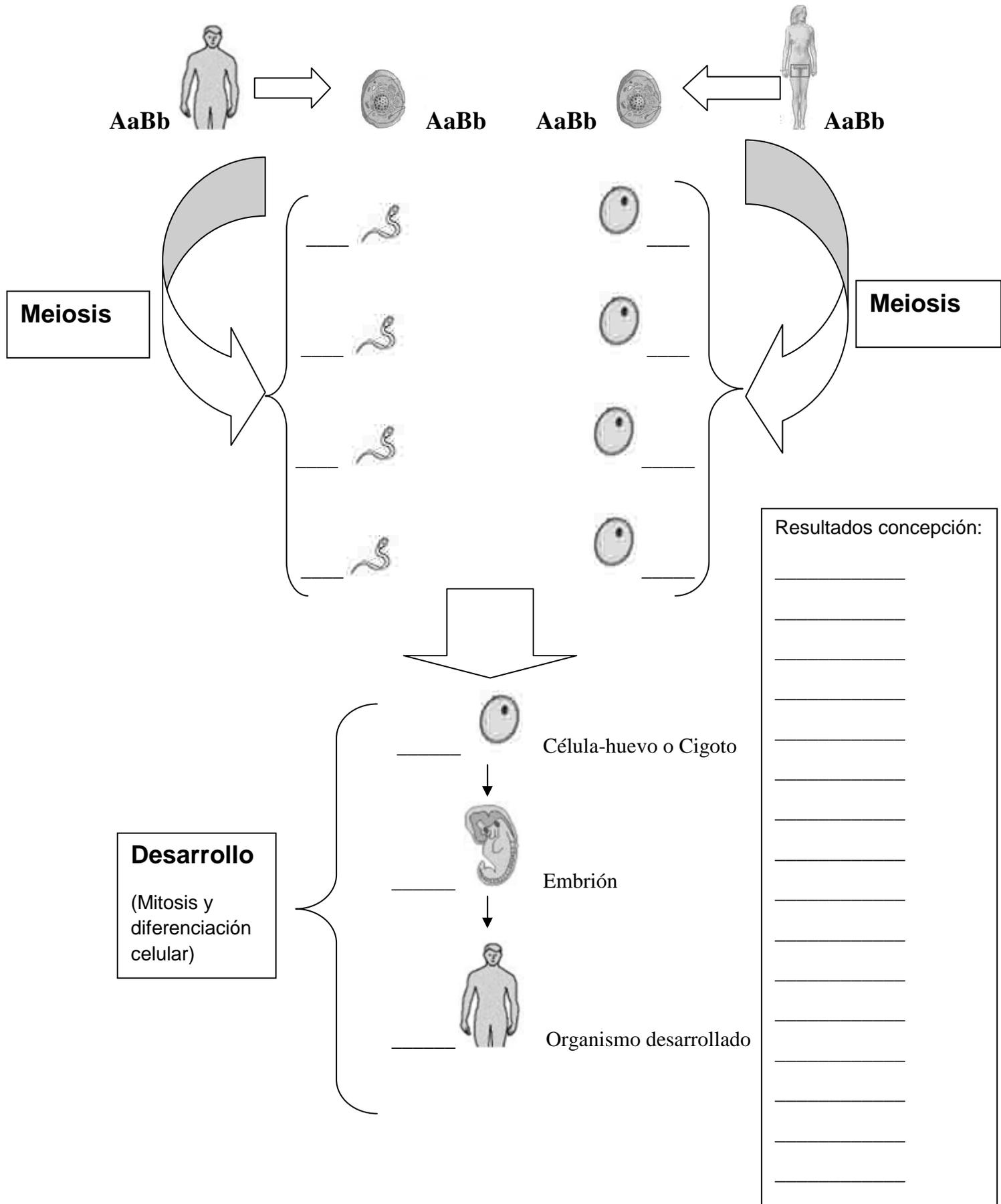
La principal diferencia entre la mitosis y meiosis está relacionada con los productos de cada mecanismo de duplicación. En la mitosis se producen dos células hijas con el mismo contenido de información hereditaria que poseía la célula madre.

9. A continuación te presentamos una célula nerviosa con un contenido de información hereditaria indicado con las letras A-a. ¿Cómo será el contenido de información hereditaria de las células hijas?



A diferencia de la mitosis, en la meiosis a partir de una célula madre se producen cuatro células hijas, con la mitad del contenido de información hereditaria que poseía la célula madre. La principal función de la mitosis es producir las células reproductivas (gametos) que permitirán la reproducción **sexual** de los organismos. Por lo tanto en todos aquellos organismos que se reproduzcan sexualmente se presentara el fenómeno de meiosis.

1. A continuación presentamos un diagrama en el cual aparecerán células que se duplicara por meiosis (provenientes de dos organismos diferentes, uno macho y el otro hembra), la cuales pertenecen a organismos con información hereditaria AaBb.



Responder las siguientes cuestiones:

- a. Al lado de cada gameto (espermatozoide y ovulo) anotar la información hereditaria que poseen.
- b. ¿Cuáles son las posibles uniones de espermatozoides y óvulos? Indicar con una flecha la unión y un número sobre la fecha.
- c. ¿Cuál sería el contenido de información hereditaria en la célula-huevo o cigoto, que se forma después de la unión específica de un espermatozoide con un ovulo específica? Anotar la información en el cuadro de la derecha.
- d. ¿Cuál será el contenido de información hereditaria en las células del embrión y en el adulto completamente desarrollado?

2. De acuerdo con la **Función Combinador** trabajada en las guías anteriores ¿Cómo sería los alelos de los hijos de padres AaBb y AaBb?

3. ¿Los resultados de la concepción en la pregunta 2 son los mismos resultados de la pregunta 3? Si_____ No_____

¿Porqué?_____

4. Según la investigación realizada cuales son los supuestos del modelo.

Planteamientos sobre la transferencia de elementos hereditarios:

- ¿Cuántos alelos por gen posee cada organismo?_____
- ¿Cuántos alelos provienen del padre y cuantos de la madre?_____
- ¿Cuál es la fórmula matemática que permite conocer como son los alelos en cada uno de los posibles hijos a partir de la información de los alelos de los padres?

Planteamientos sobre la determinación de las características de la apariencia:

- La función que relaciona los elementos alelos con la apariencia es:

Función Determinador:

Elementos hereditarios: Apariencia

_____ : _____

_____ : _____

_____ : _____

_____ : _____

Elementos hereditarios: Apariencia

_____ : _____

_____ : _____

_____ : _____

_____ : _____

Elementos hereditarios: Apariencia

_____ : _____

_____ : _____

_____ : _____

_____ : _____

Elementos hereditarios: Apariencia

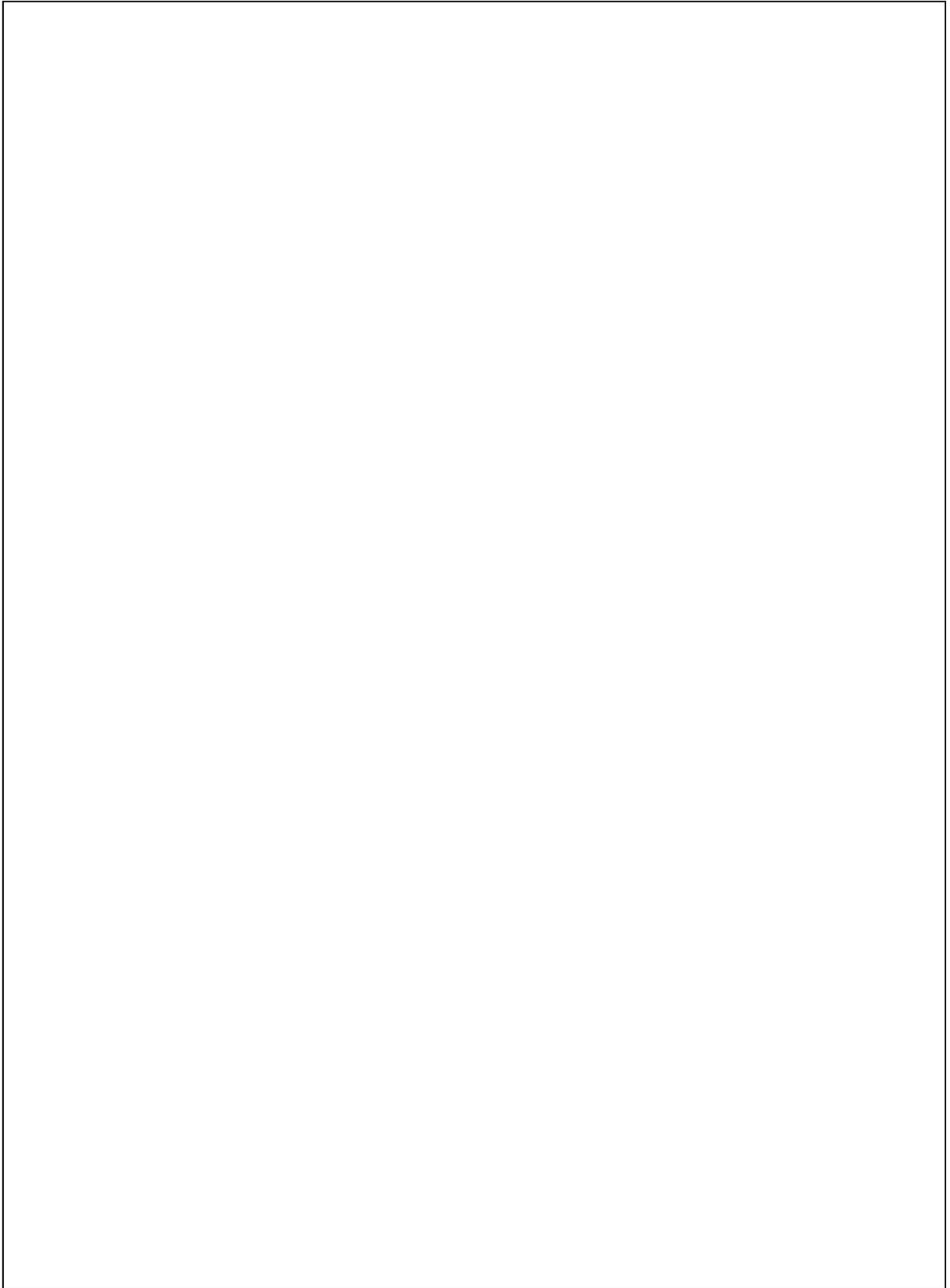
_____ : _____

_____ : _____

_____ : _____

_____ : _____

5. Repitan la primera grafica del punto 5 de la guía 2, en esta ocasión adicione las funciones **COMBINADOR** y **DETERMINADOR**.



B.3.8 Guía de trabajo 8.

Fase 4: Despliegue del modelo.

Valoración.

Puntos a obtener:

Puntos obtenidos:

Etapa 7. Despliegue básico.

Rol del docente: Moderador, arbitro o intervención directa si es necesario.

Curso: _____ Fecha 1: _____ Fecha 2: _____ Fecha 3: _____

Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

3: _____ 4: _____

Objetivo de la guía: Realizar un despliegue básico del modelo formulado en las guías anteriores.

Ejercicios tomados de Griffiths et al. 2002.

Resolver los siguientes ejercicios de despliegue del modelo:

1. En los perros, el color oscuro del pelaje es dominante sobre el albino, y el pelo corto es dominante sobre el largo. Suponga que estos caracteres son determinados por dos genes que se segregan de forma independientemente y escriban los genotipos de cada uno de padres de los 7 cruzamientos que se muestran en la tabla abajo, en los cuales O y A representan los fenotipos oscuro y albino, respectivamente, y C y L, los fenotipos de pelo corto y largo, también respectivamente.

Fenotipos parentales	Numero de descendientes			
	O, C	O, L	A, C	A, L
O,C x O,C	89	31	29	11
O,C x O, L	18	19	0	0
O,C x A,C	20	0	21	0
A,C x A,C	0	0	28	9
O,L x O,L	0	32	0	10
O,C x O,C	46	16	0	0
O,C x O.L	30	31	9	11

Utilice los símbolos O y o para los alelos de color de pelaje oscuro y albino, y C y c para los alelos de pelo corto y largo, respectivamente. Suponga siempre que existen homocigosis, a menos que haya datos en contra.

- En los tomates, el color rojo del fruto es dominante sobre el amarillo, el rasgo fruto con dos lóbulos es dominante sobre el rasgo fruto con muchos lóbulos, y el tallo largo es dominante sobre el enano. Un mejorador cuenta con dos líneas puras: una es enana, de frutos rojos con dos lóbulos, y la otra es alta, de frutos amarillos con muchos lóbulos. A partir de estas dos líneas, quiere producir para su comercialización una línea pura nueva que sea alta y con frutos amarillos y con dos lóbulos. ¿Cómo debería proceder exactamente para conseguirlo? Indique tanto los cruzamientos que deben hacerse como el número de descendientes que debe ser analizados en cada caso.

3. En los tomates, dos alelos de un gen determinan la diferencia en el carácter color de tallo purpura (P) o verde (V), y dos alelos de un gen independiente determinan la diferencia en el carácter forma de la hoja cortada (C) y la forma patata (Pa). Los resultados de cinco cruzamientos de plantas de tomate de distintos fenotipos se muestran a continuación:

Fenotipos parentales	Numero de descendientes			
	P, C	P, Pa	V, C	V, Pa
P,C x V,C	321	101	310	107
P,C x P, Pa	219	207	64	71
P,C x V,C	722	231	0	0
P,C x V,Pa	404	0	387	0
P,Pa x V,C	70	91	86	77

A partir de los resultados mostrados responder:

- Determinen que alelos son los dominantes.
 - ¿Cuáles son los genotipos más probables de los parentales en cada cruzamiento?
4. En los humanos, tanto el enanismo acondroplástico como la neurofibromatosis son enfermedades extremadamente poco frecuentes. Si una mujer con acondroplasia se casa con un hombre con neurofibromatosis ¿qué fenotipos distintos se esperaría entre sus descendientes y en que proporciones?

Bibliografía.

Griffiths, A., Miller, J., Suzuki, D., Lewontin, R., & Gelbart, W. (2002). *Genetica*. Madrid: McGraw-Hill.

B.3.9 Guía de trabajo 9.

Fase 4: Despliegue del modelo.

<p>Valoración.</p> <p>Puntos a obtener:</p> <p>Puntos obtenidos:</p>

Etapa 7. Despliegue paradigmático.

Rol del docente: Arbitro.

Curso: _____ Fecha 1: _____ Fecha 2: _____ Fecha 3: _____

Integrantes del grupo de trabajo:

1: _____ 2: _____

3: _____ 4: _____

Objetivo de la guía: Realizar un despliegue paradigmático del modelo formulado.

Problema tomado de Griffiths et al. 2002.

Resolver el siguiente problema de aplicación del modelo:

Un genetista que trabaja con maíz dispone de tres líneas puras de genotipos a/a ; B/B ; C/C , A/A ; b/b ; C/C , y A/A ; B/B ; c/c . Todos los fenotipos determinados por a , b y c aumentara el valor del maíz en el mercado, de modo que naturalmente, quiere combinarlos en una línea pura de genotipo a/a ; b/b ; c/c .

- Diseñe un programa de cruzamientos efectivo que pueda emplearse para obtener la línea pura a/a ; b/b ; c/c .
- En cada paso, indique claramente que fenotipos se seleccionaran y determine cuáles son sus frecuencias esperadas.

- c. ¿Existe más de una forma de obtener el genotipo deseado? ¿Cuál es la mejor forma?

Ruta de despliegue de modelo.

- g. Identificar los objetivos del problema.
- h. Identificar los elementos del modelo que se requieren para resolver el problema?
- i. Elaborar una representación grafica del problema identificando la información que se tiene a disposición y la información faltante?
- j. Definir cuales descriptor matemáticos son los requeridos?
- k. Identificar cuales operaciones matemáticas son requeridas para analizar la situación y el modelo teórico?
- l. Realizar los procedimientos matemáticos.
- m. Cuáles son los resultados? Como pueden ser justificados? Como pueden ser interpretados?

Bibliografía.

Griffiths, A., Miller, J., Suzuki, D., Lewontin, R., & Gelbart, W. (2002). Genética. Madrid: McGraw-Hill.

C. Anexo: Prueba diagnóstica

Prueba diagnóstica empleada en el estudio de los conocimientos de los estudiantes relacionados con la teoría de la genética. Esta prueba diagnóstica consta de dos cuestionarios, los cuales son resueltos por los estudiantes uno después del otro en una misma sección de trabajo. Las opciones que consideramos correctas son señaladas, así como también la valoración máxima posible de cada pregunta. Esta prueba fue elaborada a partir de adaptaciones de las preguntas empleadas en las pruebas diagnósticas diseñadas por Caballero (2008), Lewis et al. 2000, Banet & Ayuso 1995.

Cuestionario Parte 1.

Fecha: _____

Nombre completo: _____ Curso _____ Edad: _____

Instrucciones:

- Leer detenidamente cada una de las preguntas antes de responderlas.
- Las preguntas 1 al 7 responderlas señalando con una sola (x) dentro del paréntesis de la opción que este frente de las interrogantes planteadas.
- Las preguntas 7 al 9 respóndelas señalando con una sola (x) dentro del paréntesis de la opción que consideres verdadera.

Prueba de preconceptos:

- ¿Has escuchado o conoces los siguientes tipos de organismos?

	Si	No	Lo desconozco
a. Árboles	()	()	()
b. Mamíferos	()	()	()
c. Virus	()	()	()
d. Hongos	()	()	()
e. Bacterias	()	()	()
f. Insectos	()	()	()

Puntuación Máxima: 0

- ¿Cuáles de los siguientes tipos de organismos se reproducen de forma sexual?

	Si	No	Lo desconozco
a. Árboles	(X)	()	()
b. Mamíferos	(X)	()	()
c. Humanos	(X)	()	()
d. Hongos	(X)	()	()
e. Bacterias	()	(X)	()
f. Insectos	(X)	()	()

Puntuación máxima: 6

3. ¿Has oído hablar o conoces los siguientes términos?

	Si lo he escuchado y conozco su significado	Si lo he escuchado, pero desconozco su significado	Lo desconozco completamente
a. Gen	()	()	()
b. Alelo	()	()	()
c. ADN	()	()	()
d. Gametos	()	()	()
e. Célula	()	()	()

Puntuación máxima: 0

4. ¿De cuantas **células** esta hecho cada uno de los siguientes tipos de organismos?

	Ninguna célula	Una célula	Muchas células.	Lo desconozco
a. Árbol	()	()	(X)	()
b. Mamíferos	()	()	(X)	()
c. Humanos	()	()	(X)	()
d. Hongos	()	()	(X)	()
e. Bacterias	()	(X)	()	()
f. Insectos	()	()	(X)	()

Puntuación máxima: 6

5. ¿Las arboles poseen órganos sexuales?

- a. Si (X)
- b. No ()
- c. Alguna veces (X)
- d. Lo desconozco ()

6. ¿Para cada uno de los siguientes tipos de organismos diga si poseen o no información hereditaria?

	Si	No	Lo desconozco
a. Árbol	(X)	()	()
b. Mamíferos	(X)	()	()
c. Humanos	(X)	()	()
d. Hongos	(X)	()	()
e. Bacterias	(X)	()	()
f. Insectos	(X)	()	()

Puntuación máxima: 6

7. ¿Para cada uno de los siguientes tipos de organismos diga si poseen o no genes?

	Si	No	Lo desconozco
a. Árbol	(X)	()	()
b. Mamíferos	(X)	()	()
c. Humanos	(X)	()	()
d. Hongos	(X)	()	()
e. Bacterias	(X)	()	()
f. Insectos	(X)	()	()

Puntuación máxima: 6

8. ¿Los insectos poseen órganos sexuales?

a. Si	(X)
b. No	()
c. Alguna veces	()
d. Lo desconozco	()

Puntuación máxima: 1

9. Si los árboles poseen órganos sexuales ¿Cuáles son?

- a. Las hojas ()
- b. Las raíces ()
- c. Las flores (X)
- d. No poseen órganos sexuales ()
- e. Lo desconozco ()

Puntuación máxima: 1

10. ¿Los árboles poseen gametos?

- a. Si (X)
- b. No ()
- c. Algunas veces (X)
- d. Lo desconozco ()

Puntaje máximo: 1

11. En el lenguaje común suele decirse “lo lleva en la sangre” para expresar los parecidos de los hijos con los padres. ¿Piensas que la herencia reside en la sangre?

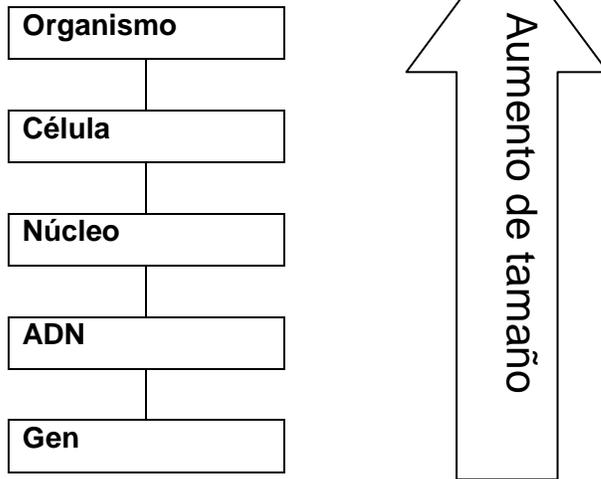
- a. Si ()
- b. No (X)
- c. Algunas veces ()
- d. No estoy seguro de la respuesta ()

12.

Célula	Organismo	Núcleo
ADN	Gen	

Escribe dentro de los rectángulos los términos arriba mencionados, en orden según su tamaño (un término por rectángulo). Inicia con el que consideres más grande.

Mayor tamaño.



Menor tamaño

Puntaje máximo: 1

Valoración máxima del total de prueba 1: 30 puntos.

Cuestionario Parte 2.

Fecha: _____

Nombre completo: _____ Curso _____ Edad: _____

Instrucciones:

1. Leer detenidamente cada una de las preguntas antes de responderlas.
2. La pregunta 1 responderla señalando con una sola (x) dentro del paréntesis de la opción que este frente de las interrogantes planteadas.
3. Las preguntas 2 al 10 respóndelas señalando con una sola (x) dentro del paréntesis de la opción que consideres verdadera.

Prueba de preconceptos:

1. He aquí algunas características biológicas del ser humano. Para cada una de ellas mencionar si son producidas por factores ambientales o hereditarios.

	Son caracteres hereditarios	Son caracteres hereditarios, pero influenciados por el ambiente	Son debidos al medio ambiente pero influye algo la herencia	Depende solo del medio ambiente	Lo desconozco
a. Color de ojos	(X)	(X)	()	()	()
b. Color de piel	(X)	(X)	()	()	()
c. Peso	(X)	(X)	(X)	()	()
d. La inteligencia	()	(X)	(X)	()	()
e. Altura	(X)	(X)	()	()	()

Puntaje máximo: 5

2. Una madre de alquiler de raza blanca se presta para gestar al hijo de una pareja negra ¿Cómo crees que será la piel del bebe?

- a. De piel morena ()
- b. De piel blanca ()
- c. De piel negra (X)
- d. De piel amarilla ()

Puntaje máximo: 1

3. Una pareja tiene dos hijos, de 14 y 16 años de edad, ambos varones. Dicen que el mayor se parece mucho al padre y el menor en cambio se parece más a su madre. ¿Cuál de las siguientes causas puede explicar esto?
- a. El mayor lleva más información hereditaria del padre que de la madre, por lo que se parece más. ()
 - b. El menor lleva más información hereditaria de la madre que del padre, por eso se parece más a su madre. ()
 - c. Los dos llevan la misma cantidad de información hereditaria del padre que de la madre, pero en un caso se utiliza o manifiesta la del padre y en el otro la de la madre. (X)
 - d. No estoy seguro de la causa. ()

Puntaje máximo: 1

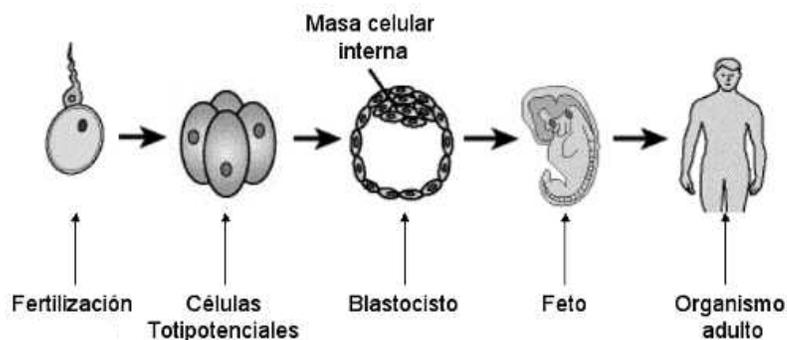
4. Un grupo de personas de piel blanca se mudo a vivir a la Guajira. Al ser el clima distinto al de su lugar de origen, poco a poco el color de su piel fue haciéndose cada vez más moreno. Una vez establecidos en aquella zona, realizaron matrimonios solo entre ellos. ¿Cómo crees que será el color de piel de un bebe al nacer de la generación descendiente número 20?
- a. En el momento del nacimiento, el bebe de los individuos descendientes tiene el color de la piel más moreno que el de sus ancestros que se mudaron a la Guajira. ()
 - b. En el momento del nacimiento, el bebe de los individuos descendientes tiene el mismo color de la piel que el de sus ancestros que se mudaron a la Guajira. (X)
 - c. Entre los descendientes puede haber de color de piel blanco, negro o moreno. ()
 - d. No estoy seguro de la respuesta. ()

Puntaje máximo: 1

5. Una pareja de esposos el que el color de ojos del hombre y la mujer son marrones, ¿pueden tener un bebe de ojos azules?
- Es prácticamente imposible ()
 - Ocurre a veces (X)
 - Ocurre muchas veces ()
 - No estoy seguro ()

Puntaje máximo: 1

6. A partir de la célula-huevo, también llamada célula germinal o cigoto (la cual es producto de la unión de un espermatozoide y un ovulo), se forma el resto de las células de un bebe humano (musculares, nerviosas...), como puedes apreciar en el siguiente esquema.



¿Qué ocurre con la información hereditaria que posee la célula-huevo?

- La célula-huevo lleva la información hereditaria para todas las células del nuevo ser; a cada célula le corresponde aquella información hereditaria necesaria para su función. ()
- Las células del niño llevan la misma información hereditaria que la célula-huevo. (X)
- La información hereditaria de la célula-huevo se transmitirá solamente a las células sexuales del nuevo individuo. ()
- No estoy seguro de la respuesta ()

Puntaje máximo: 1

Valoración máxima del total de prueba 2: 10 puntos.