UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE DOCTORADO EN PEDAGOGÍA

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

ANÁLISIS DE LAS REPRESENTACIONES COMO HERRAMIENTAS EPISTÉMICAS EN ESTUDIANTES DE BACHILLERATO PARA EXPLICAR EL TEMA DE HERENCIA GENÉTICA

T E S I S

PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTORA EN PEDAGOGÍA

PRESENTA:
ARACELI BÁEZ ISLAS

TUTOR PRINCIPAL:
DRA. LETICIA GALLEGOS CÁZARES
INSTITUTO DE CIENCIAS APLICADAS Y TECNOLOGÍA

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:
DR. FERNANDO FLORES CAMACHO[1]
DRA. BEATRIZ EUGENIA GARCÍA RIVERA[1]
[1]INSTITUTO DE CIENCIAS APLICADAS Y TECNOLOGÍA
MTRA. MARTHA CORENSTEIN ZASLAV[2]
DRA. ANA MARIA SALMERON CASTRO[2]
[2]FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

CIUDAD DE MÉXICO, MARZO 2025

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A mis amados hijos

Oli y Santi

A mis padres

María y Fernando

A mis hermanos

Mariana y León

Agradecimientos

Con mucho cariño, respeto y admiración, a la Dra. Leticia Gallegos Cázares, mi directora de tesis, a quien debo gran parte de mi formación, siempre ha confiado en mí y me ha apoyado en todo momento. No tengo palabras para expresar mi gratitud.

A la Dra. Beatriz García Rivera, con quien tengo una deuda enorme en mi formación académica, pero, sobre todo, gracias por ser una amiga, por escucharme, aconsejarme y apoyarme en los momentos más difíciles que implicó este escrito.

Al Dr. Fernando Flores Camacho, por todas sus enseñanzas que son uno de los pilares para el desarrollo de esta tesis.

A la Mtra. Martha Corenstein Zaslav y Ana María Salmerón Castro por aceptar formar parte de este trabajo de tesis, y dedicar su tiempo para su revisión y emitir comentarios para la mejora, el desarrollo y concreción de este trabajo.

A la Dra. Elena Calderón Canales, por invitarme a colaborar en el Grupo de Cognición y Didáctica de las Ciencias, pues haber llegado a este grupo de trabajo es una de las mejores cosas que me han ocurrido en mi formación académica.

A la Mtra. Gabriela del Pilar Ruiz Ríos, quien desde el día uno me apoyó de distintas formas para que pudiera cursar mis estudios de posgrado, gracias por ser una excelente líder, y una gran persona, tiene todo mi respeto y cariño.

A los profesores Aníbal, Joseph, Luis Alday y Marlene que accedieron a participar en este trabajo resolviendo instrumentos de evaluación e implementando las secuencias didácticas.

Al director de la EPO Anexa a la Normal de Chalco por permitir desarrollar el trabajo de investigación en la institución a su cargo.

A todos los alumnos que participaron en las clases y las entrevistas, y que proporcionaron su valioso tiempo para la resolución de los instrumentos de evaluación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento otorgado para la realización de mis estudios de Posgrado.

RESUMEN La construcción de conocimiento desde el enfoque representacional-inferencial asume que a partir de las experiencias personales, sociales y escolares, todas las personas podemos generar representaciones con las cuales inferimos, razonamos, comprendemos, organizamos y explicitamos nuestro conocimiento, además, dentro de esta perspectiva no es requisito que la representación generada por el sujeto deba tener similitud con lo representado, pues lo importante es conocer cómo la utiliza para realizar distintos tipos de inferencias, es decir, lo fundamental es el uso epistémico que se le da. Es en este sentido que el enfoque representacional-inferencial se utilizó en esta investigación para realizar una propuesta de análisis de las representaciones que explicitan estudiantes de bachillerato para explicar el tema de herencia genética. Para conocer las representaciones de los estudiantes sobre dicho tema, se diseñó exprofeso un cuestionario conformado por 19 ítems, el cual se validó, obteniendo una Alfa de Cronbach de 0.87, y fue aplicado como pretest a una muestra total de 125 estudiantes de tercer semestre de bachillerato de dos Escuelas Preparatorias Oficiales, quienes cursaban la asignatura de Biología I. Después de la resolución del cuestionario, en clase, los alumnos trabajaron con una secuencia didáctica estructurada para comprender el tema desde tres modelos explicativos, el genético, el meiótico y el molecular que, de acuerdo con la literatura, la integración de estos tres permite una comprensión clara y profunda de la herencia genética. El diseño se basó deliberadamente en el uso de múltiples representaciones externas, como lecturas, imágenes, animaciones y simuladores. Una vez completada la secuencia, los estudiantes resolvieron el mismo cuestionario, que fungió entonces como postest, además se aplicaron entrevistas semiestructuradas a 35 estudiantes de la misma muestra, para profundizar en la explicitación de sus representaciones. Los resultados obtenidos de todos los instrumentos de evaluación se analizaron a partir de seis categorías s, las cuales involucran los tres modelos conceptuales citados. Los hallazgos evidencian que todos los estudiantes de este estudio generaron representaciones para responder a una demanda conceptual específica y, si bien, no todas las representaciones fueron utilizadas por los alumnos para generar inferencias, de manera general es posible

reconocer que, aunque no guarden semejanza isomórfica con lo que representan, sus representaciones sí tienen la posibilidad de ser empleadas como herramientas epistémicas, por lo que se puede afirmar que un análisis bajo el enfoque representacional-inferencial permite analizar los procesos de comprensión del conocimiento de manera amplia y detallada, al dar cuenta de la coherencia interna de los elementos de interpretación y de las explicaciones que construyen los sujetos, ya que las respuestas pueden dejar de verse solo como correctas e incorrectas, y ampliar su análisis al identificar las inferencias que indican la comprensión del tema en distintos niveles de abstracción, lo que es útil para proponer estrategias que ayuden a los alumnos a continuar con el uso de la representación como herramienta epistémica, hasta llegar al nivel de abstracción requerido.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 15

1. Situando la investigación 15

2. Descripción del trabajo de investigación 18

3. Estructura de la tesis 19

CAPITULO 1. ANTECEDENTES 21

1.1 Planteamiento del problema 21

1.2 Justificación de la investigación 23

1.3 Objetivos de la investigación 24

1.3.1 Objetivo general 24

1.3.2 Objetivos particulares 24

1.3.3 Preguntas de investigación 24

CAPÍTULO 2. CAMBIO CONCEPTUAL, REPRESENTACIONES Y MODELOS 25

2.1 Del cambio conceptual al cambio representacional 25

2.1.1 Enfoque representacional 30

2.1.2 Tipos de representaciones externas 30

2.1.3 Funciones de las representaciones 32

2.1.4 Niveles representacionales 35

2.2 Posibilidad del análisis de las representaciones desde el enfoque de modelos 37

CAPÍTULO 3. REPRESENTACIONES EN LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS 42

3.1 Representaciones en el desarrollo de la ciencia 42

3.2 Uso de las representaciones en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias 45

3.3 Representaciones en el tema de herencia genética 47

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA 57

4.1 Perspectiva metodológica 57

4.2 Componentes metodológicos 58

4.2.1 Escuelas participantes 58

4.2.1 Muestra de la investigación 60

4.2.2 Diseño de la estrategia didáctica 62

4.2.3 Diseño y validación de instrumentos 68

4.2.4 Proceso de recolección de datos 76

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS 79
5.1 Construcción de las categorías de análisis 80
5.2 Herramientas epistémicas por categoría de análisis del cuestionario en el Pretest y Postest 84
5.3 Análisis de las categorías 86
5.3.1 Categoría A 86
5.3.2 Categoría B. 97
5.3.3 Categoría C 106
5.3.4 Categoría D 113
5.3.5 Categoría E 120
5.3.6 Categoría F 127
5.4 Análisis de la integración de los tres modelos 133
5.4.1 Modelo genético 134
5.4.2 Modelo meiótico 136
5.4.3 Modelo molecular 137
5.5 Análisis de entrevistas 141
5.5.1 Entrevista con los tres modelos integrados 142
5.5.2 Entrevista con dos modelos integrados 152
5.5.3 Entrevista con un modelo integrado 161
5.5.4 Entrevista sin construcción de modelos 168
5.5.5 Entrevista con desarticulación de modelos en cuestionario y articulación de modelos en entrevista 175
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES 184
6.1 Comprensión de los estudiantes sobre genética 184
6.1.1 Modelo genético 184
6.1.2 Modelo meiótico 187
6.1.3 Modelo molecular 188
6.2 Análisis de las representaciones como HE 190
6.3 Implicaciones en la educación 193
6.4 Consideraciones finales 195
BIBLIOGRAFÍA 199
ANEXOS 218
Anexo 1. Instrumento de evaluación Pretest-Postest 218

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. *Clasificación de los tipos de representaciones externas.* 31

Tabla 3.1. *Investigaciones sobre la enseñanza de la genética.* 50

Tabla 3.2. *Investigaciones sobre concepciones de los estudiantes en genética.* 52

Tabla 4.1. *Distribución de alumnos que conforman la muestra de estudio.* 61

Tabla 4.2. *Distribución de temas necesarios para comprender los procesos de herencia y expresión genética.* 63

Tabla 4.3. *Programa ajustado de Biología I.* 64

Tabla 4.4. *Recursos representacionales utilizados para abordar el Bloque IV.* 65

Tabla 4.5. *Recursos representacionales utilizados para abordar el Bloque V referido a la reproducción celular.* 66

Tabla 4.6. *Recursos representacionales utilizados para el Bloque V referido a los mecanismos hereditarios.* 67

Tabla 4.7. *Estructura de los ítems del cuestionario.* 71

Tabla 4.8. *Criterios para la elaboración de Rúbricas.* 73

Tabla 4.9. *Ejemplo de aplicación de la rúbrica para asignación de valores.* 74

Tabla 4.10. *organización de los ítems por nivel de dificultad de acuerdo el Modelo de Crédito Parcial de Rasch* 75

Tabla 4.11. *Observaciones relevantes en el desarrollo de la secuencia didáctica a cargo de los distintos profesores titulares.* 77

Tabla 5.1. *Categorías de análisis.* 82

Tabla 5.2. *Preguntas consideradas para la obtención de las herramientas epistémicas de la categoría A.* 86

Tabla 5.3. *Respuestas del alumno folio 14 Grupo 3ro2 TM EPO 314 con HE0.* 87

Tabla 5.4. *Respuestas del alumno folio 50 Grupo 3ro2 EPO 314 con HE1.* 90

Tabla 5.5. *Respuestas del alumno folio 64 Grupo 3ro3 EPO Anexa a la Normal de Chalco con HE2.* 91

Tabla 5.6. *Respuestas del alumno folio 86 Grupo 3ro3 EPO Anexa a la Normal de Chalco con HE2.1.* 92

Tabla 5.7. *Respuestas del alumno folio 43 Grupo 3ro1 TM EPO 314 HE3.* 93

Tabla 5.8. *Preguntas consideradas para la obtención de las herramientas epistémicas de la categoría B.* 97

Tabla 5.9. *Respuestas del alumno folio 12 Grupo 3ro2 TM EPO 314 con HE0 de la categoría B.* 99

Tabla 5.10. *Respuestas del alumno folio 49 Grupo 3ro4 TV EPO 314 con HE1 de la categoría B.* .. 100

Tabla 5.11. *Respuestas del alumno folio 3 Grupo 3ro1 TM EPO 314 con HE2 de la categoría B.* ... 102

Tabla 5.12. *Respuestas del alumno folio 67 Grupo 3ro3 TM EPO anexa a la normal de Chalco con HE2.1 de la categoría B.* 103

Tabla 5.13. *Preguntas consideradas para la obtención de las herramientas epistémicas de la categoría C.* 106

Tabla 5.14. *Respuestas del alumno folio 69 Grupo 3ro3 TM EPO anexa a la normal de Chalco con HE0 de la categoría C.* 108

Tabla 5.15. *Respuestas del alumno folio 12 Grupo 3ro1 TM EPO 314 HE1 de la categoría C.* 108

Tabla 5.16. *Respuestas del alumno folio 22 Grupo 3ro4 TM EPO 314 HE2 de la categoría C.* 110

Tabla 5.17. *Respuestas del alumno folio 59 Grupo 3ro4 TV EPO 314 HE3 de la categoría C.* 110

Tabla 5.18. *Respuestas del alumno folio 63 Grupo 3ro4 TM EPO anexa a la normal de Chalco HE3.1 de la categoría C.* 111

Tabla 5.19. *Respuestas del alumno folio 34 Grupo 3ro2 TM EPO 314 HE3.2 de la categoría C.* 111

Tabla 5.20. *Preguntas consideradas para la obtención de las herramientas epistémicas de la categoría D.* 113

Tabla 5.21. *Respuestas del alumno folio 70 Grupo 3ro3 TM EPO anexa a la normal de Chalco con HE0 de la categoría D.* 115

Tabla 5.22. *Respuestas del alumno folio 100 Grupo 3ro3 TM EPO anexa a la normal de Chalco con HE1 de la categoría D.* 116

Tabla 5.23. *Respuestas del alumno folio 76 Grupo 3ro3 TM EPO anexa a la normal de Chalco con HE2 de la categoría D.* 117

Tabla 5.24. *Preguntas consideradas para la obtención de las herramientas epistémicas de la categoría E.* 121

Tabla 5.25. *Respuestas del alumno folio 6 Grupo 3ro1 TM EPO 314 con HE0.* 122

Tabla 5.26. *Respuestas del alumno folio 16 Grupo 3ro2 TM EPO 314 con HE1.* 124

Tabla 5.27. *Respuestas del alumno folio 50 Grupo 3ro4 TV EPO 314 con HE2.* 125

Tabla 5.28. *Respuestas del alumno folio 63 Grupo 3ro3 TM EPO Anexa a la normal de Chalco con HE3.* 125

Tabla 5.29. *Preguntas consideradas para la obtención de las herramientas epistémicas de la categoría F.* 127

Tabla 5.30. *Respuestas de alumno folio 33 Grupo 3ro2 TM EPO 314 con HE0.* 128

Tabla 5.31. *Respuestas del alumno folio 19 Grupo 3ro2 TM EPO 314 con HE1.* 130

Tabla 5.32. *Respuestas del alumno folio 76 Grupo 3ro3 TM EPO Anexa a la normal de Chalco con HE2.* 130

Tabla 5.33. *Respuestas del alumno folio 79 Grupo 3ro3 TM EPO Anexa a la normal de Chalco con HE3.* 131

Tabla 5.34. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 49, categoría A.* 142

Tabla 5.35. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 49, categoría B.* 144

Tabla 5.36. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 49, categoría C.* 145

Tabla 5.37. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 49, categoría D.* 146

Tabla 5.38. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 49, categoría E.* 147

Tabla 5.39. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 49, categoría F.* 149

Tabla 5.40. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro1 folio 1, categoría A.* 152

Tabla 5.41. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro1 folio 1, categoría B.* 154

Tabla 5.42. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro1 folio 1, categoría C.* 155

Tabla 5.43. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro1 folio 1, categoría D.* 156

Tabla 5.44. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro1 folio 1, categoría E.* 157

Tabla 5.45. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro1 folio 1, categoría F.* 158

Tabla 5.46. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro2 folio 20, categoría A.* 161

Tabla 5.47. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro2 folio 20, categoría B.* 162

Tabla 5.48. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro2 folio 20, categoría C.* 163

Tabla 5.49. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 20, categoría D.* 164

Tabla 5.50. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro2 folio 20, categoría E.* 165

Tabla 5.51. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro2 folio 20, categoría F.* 166

Tabla 5.52. Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro4 folio 90, categoría A. 168

Tabla 5.53. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro4 folio 90, categoría B.* 169

Tabla 5.54. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro4 folio 90, categoría C.* 170

Tabla 5.55. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro4 folio 90, categoría D.* 171

Tabla 5.56. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro4 folio 90, categoría E.* 172

Tabla 5.57. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro4 folio 90, categoría F.* 173

Tabla 5.58. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 21, categoría A.* 175

Tabla 5.59*. Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 21, categoría B.*..... 176

Tabla 5.60. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 21, categoría C.*..... 178

Tabla 5.61. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 21, categoría D.* 179

Tabla 5.62. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 21, categoría E.*..... 180

Tabla 5.63. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 21, categoría F.* 181

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. *Pirámide de los conceptos genéticos.* 49

Figura 4.1. *Ejemplo de estructura de los ítems que presenta el cuestionario.* 70

Figura 5.1*. Esquema que muestra el análisis de las respuestas de los estudiantes bajo las seis categorías de análisis derivadas de los tres modelos conceptuales y las representaciones con los elementos constitutivos.* 83

Figura 5.2*. Elementos constitutivos de la herramienta epistémica 0 de la categoría A.* 87

Figura 5.3. *Elementos constitutivos de las HE 1, 2, 2.1 y 3 de la categoría A.* 89

Figura 5.4. *Elementos constitutivos de las HE0 y HE1 de la categoría B.* 98

Figura 5.5. *Elementos constitutivos de la HE2 y HE2.1 de la categoría B.* 101

Figura 5.6. *Herramientas epistémicas 0 y 1 de la categoría C.* 107

Figura 5.7*. Elementos constitutivos de las HE2, HE3, HE3.1 y HE3.2 de la categoría C.* 109

Figura 5.8. *Elementos constitutivos de la HE0 de la categoría D.* 114

Figura 5.9. *Elementos constitutivos de la HE1 y HE2 de la categoría D.* 116

Figura 5.10. *Elementos constitutivos de la HE0 de la categoría E.* 122

Figura 5.11. *Elementos constitutivos de las HE1, HE2 y HE3 de la categoría E.* 123

Figura 5.12. *Elementos constitutivos de la HE1 de la categoría F.* 128

Figura 5.13. *Elementos constitutivos de la HE1, HE2 y HE3 de la categoría F.* 129

Figura 5.14. *Herramientas epistémicas utilizadas por un alumno con dominio completo de los tres modelos conceptuales.* 133

Figura 5.15. *Herramientas epistémicas que ejemplifican la construcción del modelo genético.* 135

Figura 5.16. *Herramientas epistémicas que ejemplifican la construcción del modelo meiótico.* 136

Figura 5.17. *Herramientas epistémicas que ejemplifican la construcción del modelo molecular.* 137

Figura 5.18. *Trayectoria representativa de alumna que en entrevista muestra la construcción de los tres modelos conceptuales (genético, molecular y meiótico).* 150

Figura 5.19. *Trayectoria de alumno que en entrevista muestra la construcción de los dos modelos conceptuales (genético y meiótico).* 160

Figura 5.20. *Trayectoria de alumno que en entrevista muestra la construcción de los tres modelos conceptuales (genético, molecular y meiótico).* 167

Figura 5.21. *Trayectoria de alumno que en entrevista muestra la construcción de los tres modelos conceptuales (genético, molecular y meiótico).* 174

Figura 5.22. *Trayectoria de alumno que en entrevista muestra la construcción de los tres modelos conceptuales (genético, molecular y meiótico).* 183

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1. Frecuencias de la categoría A del pretest y postest. 94

Gráfico 5.2. Frecuencias de la categoría B del pretest y postest. 104

Gráfico 5.3. Frecuencias de la categoría C del pretest y postest. 112

Gráfico 5.4. Frecuencias de la categoría D del pretest y postest. 119

Gráfico 5.5. Frecuencias de la categoría E del pretest y postest. 126

Gráfico 5.6. Frecuencias de la categoría F del pretest y postest. 132

INTRODUCCIÓN

1. Situando la investigación

Desde diferentes marcos de interpretación, como la pedagogía cognitiva y la didáctica de las ciencias, se reconoce que cuando los estudiantes analizan los temas desde la educación formal, no lo hacen desde cero, sino que parten de ideas que han construido a lo largo de su vida, ya sea por sus experiencias cotidianas, observaciones, o cursos escolares anteriores; Duit y Treagust (1998) señalan la importancia de considerar estas ideas previas, ya que son concepciones que por lo regular se mantienen a lo largo, o más allá, de la trayectoria escolar y es común que estén alejadas de los conceptos científicos, lo que representa un obstáculo en la comprensión y generación de nuevos conceptos alineados al conocimiento escolarizado de la ciencia.

En este sentido, algunos marcos de análisis tratan de explicar cómo es que se puede transitar desde las ideas previas de los estudiantes, hasta explicaciones científicas cercanas al conocimiento escolarizado. De manera general, estas propuestas se encuentran posicionadas dentro del cambio conceptual, en el cual se encuentran diferentes aproximaciones en los campos epistemológico y cognitivo (Flores, 2004), y están asociadas a responder cómo es que los sujetos construyen su conocimiento, en qué consiste el aprendizaje y qué cambia en el sujeto cuando se habla de que ha ocurrido un cambio conceptual.

Si bien cada propuesta refiere que el cambio conceptual ocurre de diferentes formas, todas se encuentran asociadas a una modificación o reestructuración de los conceptos en la mente de los sujetos; sin embargo, propuestas recientes (Pozo, 2015) sugieren que más que hablar de un cambio conceptual es conveniente referirse a un cambio representacional, ya que una representación es un término más amplio y pertinente, pues los conceptos no se construyen, ni se comprenden o modifican en solitario, ni de manera fragmentada, sino que forman parte de un complejo entramado en la mente de los sujetos, donde la modificación de alguno, implica un cambio en otros; además, las construcciones que realizan

los sujetos para explicar los diferentes fenómenos no se limitan solo a los conceptos, sino a una diversidad de representaciones como símbolos, expresiones y gráficos, dentro de las cuales se encuentran los conceptos que por sí mismos no tienen significado si no son interpretados desde una visión y una estructura que les posibilita ser representaciones de algo; así que desde esta perspectiva, un cambio en un concepto está necesariamente asociado a un cambio en una representación. La representación, podemos definirla como una estructura conceptual compleja que el sujeto construye para establecer relaciones, explicar e inferir posibles comportamientos fenomenológicos (Pozo y Rodrigo, 2001), con la que puede conceptualizar, visualizar, materializar o inferir propiedades o cualidades posibles de lo que representa en diferentes formatos o modos (Flores y Valdez, 2007). Así, cuando ocurre un “cambio conceptual” o reestructuración en la mente del sujeto, ésta se da en los esquemas o elementos que dan sentido a los términos y conceptos (Pozo, 2003), es decir, no hay un reemplazo de conceptos, sino una modificación en las representaciones que ha construido de manera interna el sujeto.

Es desde este marco que la presente investigación se realizó, y está centrada en analizar las representaciones que construyen estudiantes de bachillerato sobre el tema de herencia genética, considerando para ello el enfoque inferencial-representacional, que reconoce que las representaciones pueden tener un uso epistémico, lo que significa que el sujeto las utiliza para construir descripciones y explicaciones que dan cuenta del conocimiento que tiene del tema. Desde este enfoque, las representaciones son consideradas construcciones de los sujetos, que involucran objetivos e intenciones, y se constituyen en elementos de interpretación y comprobación, lo que permite caracterizarlas como herramientas epistémicas que pueden analizarse cuando el sujeto las externaliza en determinado signo-material, esto es, en algún formato externo de representación como gráficos, símbolos, esquemas, descripciones escritas o verbales.

Este estudio es innovador porque busca establecer una metodología de análisis de las representaciones que dé cuenta de la manera en que los sujetos generan

sus explicaciones identificando cómo utilizan y relacionan sus representaciones que tienen una coherencia interna suficiente para dar explicaciones a los fenómenos que se les presentan. Además se considera relevante porque bajo este análisis las representaciones son válidas de acuerdo con las inferencias que con ellas se generen y no por su relación isomórfica con lo que se representa; también porque son escasas las investigaciones que intentan conocer cómo los sujetos representan los fenómenos hereditarios y si estas representaciones se encuentran relacionadas con las inferencias que generan, es decir, si las representaciones se emplean como herramientas epistémicas de acuerdo con las posibilidades cognitivas y conceptuales de cada sujeto.

A través de este análisis se podrán identificar las inferencias que los estudiantes construyen, y así reconocer algunos de los obstáculos conceptuales que se presentan en la comprensión del tema de herencia genética y en la formulación e integración de los tres modelos conceptuales requeridos para su clara y correcta comprensión. Los resultados serán de utilidad para generar propuestas educativas que promuevan la construcción y explicitación de herramientas epistémicas de los alumnos, con lo que se busca propiciar procesos de construcción hacia modelos conceptuales que les ayuden a alcanzar la comprensión científica que se espera.

La investigación se desarrolló en dos Escuelas Preparatorias Oficiales (EPOs) del Estado de México debido a que la matricula que atiende este subsistema es numerosa, ya que existen 545 escuelas distribuidas en todo el Estado de México, cuyos contextos externos e internos son muy similares, lo que permite que los datos de esta investigación se puedan ampliar y que los resultados obtenidos puedan beneficiar a diversos profesores y alumnos. Otro de los motivos es porque en este subsistema no se reportan trabajos de investigación sobre las concepciones de profesores y alumnos, o sobre propuestas didácticas con respecto a la enseñanza de la herencia genética; por lo tanto, es valioso obtener dicha información y compararla con otras investigaciones.

Aunado a lo anterior, me permito compartir que yo, Mtra. Araceli Báez Islas, sustentante de esta tesis, soy Bióloga de formación, y he sido profesora desde

hace siete años en los subsistemas de las EPOs, por lo cual conozco los programas de estudio, la dinámica de trabajo y a profesores que pudieran ayudar al desarrollo de este trabajo de investigación. Por otra parte, vale la pena señalar que desde hace nueve años colaboro en el Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología en el Grupo de Cognición y Didáctica de las Ciencias en proyectos relacionados con las múltiples representaciones y la enseñanza y aprendizaje de la herencia genética, lo que me ha permitido ampliar mi conocimiento sobre el tema e identificar cuáles son las áreas sobre las cuales se pueden realizar propuestas de análisis, situación que me condujo a la selección del tema de este proyecto de investigación.

2. Descripción del trabajo de investigación

Esta investigación tiene como objetivo realizar un análisis detallado de las representaciones de los alumnos desde sus elementos constitutivos, para identificar cuáles son los elementos que determinan si una representación es empleada como herramienta epistémica, además de conocer si para un mismo fenómeno los estudiantes generan distintas inferencias, con la finalidad de contar con una propuesta de análisis sobre las representaciones. Además, desde la parte conceptual de la genética, el objetivo es analizar cuáles son los principales problemas conceptuales que explicitan los estudiantes, así como las implicaciones conceptuales de cada herramienta epistémica identificada, con la finalidad de realizar propuestas didácticas para la enseñanza de este tema reportado en la literatura como uno de los más complejos.

La metodología utilizada tiene un formato de pretest-postest, el cual consideró los tres modelos conceptuales que las investigaciones sobre herencia genética describen como centrales para alcanzar una comprensión integral del tema, y para contar con un análisis más detallado, se realizó una entrevista semiestructurada al 20% de la muestra, teniendo como guía el cuestionario postest resuelto por cada entrevistado.

El análisis se realizó considerando la metodología de la teoría fundada, el enfoque representacional-inferencial y los tres modelos conceptuales de la herencia genética (meiótico, genético y molecular), lo cual permitió generar las categorías de análisis.

3. Estructura de la tesis

La sección introductoria permitió situar la investigación dentro de la enseñanza de las ciencias y el enfoque representacional-inferencial, señalando de manera general los aspectos que se abordarán en páginas siguientes. A continuación, se realiza una breve descripción de la estructura de la tesis y los contenidos que abarca.

En el primer capítulo se describen los antecedentes sobre este trabajo desde el enfoque representacional-inferencial y se realiza una justificación del tema elegido, la herencia genética. Se plantean el objetivo general, los objetivos particulares y las preguntas de investigación.

El segundo capítulo presenta el marco teórico, que parte del enfoque del cambio conceptual y la necesidad de realizar el análisis desde el enfoque de cambio representacional. Se incluye una descripción detallada de las representaciones, considerando aspectos como los tipos de representación, sus funciones, los niveles de análisis, y el enfoque del uso de las múltiples representaciones. El capítulo concluye con la revisión teórica de la conceptualización y análisis de los modelos mentales, los modelos parciales posibles, y el enfoque representacional-inferencial.

En el tercer capítulo se destaca la importancia de las representaciones en el desarrollo de la ciencia y se hace una revisión de las representaciones dentro del campo de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Para cerrar, se aborda la relevancia del tema de herencia genética y se presentan los principales problemas conceptuales y representacionales reportados en la literatura.

El capítulo cuatro corresponde a la perspectiva metodológica seguida, que está relacionada con los referentes teóricos que sustentan esta investigación. Se

detallan los distintos componentes que permitieron la recolección y análisis de datos, iniciando por la descripción del contexto de las escuelas en las que se desarrolló el trabajo de campo, las características de los participantes que conforman la muestra, la necesidad de diseñar y aplicar una estrategia didáctica, el proceso de construcción y validación de los instrumentos de evaluación, el trabajo de campo y la construcción de las categorías de análisis para los resultados obtenidos.

El capítulo cinco es el de resultados. Se describen las categorías de análisis definidas, cómo se organizaron y sistematizaron los datos obtenidos de los cuestionarios pretest y postest, así como las entrevistas. Se ejemplifica cada una de las categorías con los datos que la sustentan y las herramientas epistémicas encontradas. Al final, se presentan los resultados estadísticos más relevantes.

El capítulo seis, último de esta investigación, da cuenta de las conclusiones, que destacan la relevancia de realizar el análisis desde el modelo representacional-inferencial y cómo, a partir de los resultados obtenidos, se hace evidente la importancia y trascendencia de generar propuestas que puedan contribuir a una comprensión más clara, completa e integrada de los fenómenos científicos que se presentan a los estudiantes.

CAPITULO 1. ANTECEDENTES

1.1 Planteamiento del problema

En las últimas décadas se han planteado nuevas propuestas para analizar los procesos de construcción del conocimiento, dentro de las cuales se encuentra el enfoque representacional, que considera que todos los sujetos tienen la posibilidad de construir sus propias representaciones de acuerdo con la realidad que perciben e interpretan, siendo estos los elementos que les permiten inferir, comprender, organizar y explicitar su conocimiento, y aunque dichas representaciones pueden o no ser correspondientes con los conocimientos científicos que enuncian, tienen una coherencia interna para el sujeto que le permite generar inferencias sobre los fenómenos presentados (Flores, García, Gallegos y Calderón, 2020).

En la enseñanza de las ciencias, el enfoque representacional se ha abordado desde diferentes perspectivas epistemológicas y cognitivas, en todas estas propuestas se resalta la relevancia que tienen las representaciones en el desarrollo del conocimiento científico (Gooding, 2006; Martí y García-Mila, 2007; Chamizo, 2010) así como en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias para ilustrar y explicar los conceptos y procesos científicos en la escuela (Ainsworth, 2006; Tytler y Prain, 2013; Amin, Smith y Wiser, 2014; Pande y Chandrasekharan, 2017; Flores-Camacho, García-Rivera, Báez-Islas, Gallegos-Cázares, 2017; Flores-Camacho, Calderón-Canales, García-Rivera, Gallegos-Cázares, Báez-Islas, 2021). Por ejemplo, la investigación reporta que, debido a los diferentes recursos visuales y tecnológicos con los que actualmente se dispone, se ha hecho más común el uso de representaciones externas (como lecturas, esquemas, símbolos, gráficos, imágenes, simuladores o animaciones), que son empleadas consciente o inconscientemente por profesores y alumnos para visualizar los procesos y conceptos implicados en los fenómenos estudiados (Kozma, 2000; Gilbert, 2005; Tversky, 2005; Perales, 2006).

Estas representaciones externas empleadas para ilustrar los fenómenos científicos en el ámbito escolar se han construido de manera histórica a través de distintos acuerdos y procesos de refinamiento representacional, como el caso del modelo de la doble hélice de la molécula de ADN, pero normalmente solo son consideradas como recursos y apoyos para que los alumnos puedan tener una aproximación a la comprensión de los fenómenos; sin embargo, tienen la potencialidad de ser recursos de análisis para la construcción del conocimiento.

En particular, en la didáctica de la biología el uso de múltiples representaciones externas es recurrente por la complejidad representacional de los fenómenos que se abordan, ya que estos pueden ocurrir y analizarse en diferentes niveles de abstracción como el microcosmos, mesocosmos y macrocosmos (Sweller, 2005; Meijer, Bulte, Pilot, 2009; Rasch y Schnotz, 2009; Tsui y Treagust, 2013); por ejemplo, en temas como la fotosíntesis, los procesos y reacciones que la integran ocurren a nivel celular y molecular pero tienen impacto en otros niveles de organización biológica, como el organismo y el ecosistema, por lo que las representaciones externas son elementos importantes y necesarios para ayudar a los sujetos a interpretar, comprender, transitar e integrar los diferentes niveles implicados. Sin embargo, a pesar de su uso recurrente y de los beneficios que ofrecen, diversos estudios dentro de la didáctica de las ciencias advierten que los estudiantes tienen conflictos para interpretar y emplear adecuadamente las representaciones que se ponen a su disposición (Gilbert, Reiner y Nakhlen, 2008; Perales, 2008), así como en la construcción de sus propias representaciones, debido a la dificultad que implica comprender y delimitar los distintos formatos representacionales para transitar entre los diferentes niveles de abstracción y complejidad conceptual (García y Perales, 2006; Pozo y Flores, 2007; Galagovsky, Di Giacomo y Castelo, 2009; Solar, Deulofeu y Azcárate, 2015).

En este sentido es que se vuelve relevante generar un análisis sobre la comprensión que los sujetos evidencian en temas que conceptual y representacionalmente son difíciles y complejos, siendo parte fundamental del análisis las representaciones que ellos generan a partir de las múltiples

representaciones de las que disponen, esto es, conocer y examinar lo que los alumnos son capaces de reconocer, interpretar, construir, reconstruir e integrar para generar sus inferencias.

1.2 Justificación de la investigación

El propósito de esta investigación se centra en analizar las representaciones desde el enfoque del cambio representacional, donde se sitúa el marco de interpretación representacional-inferencial, debido a que permite identificar cómo los sujetos utilizan las representaciones que ellos construyen para realizar inferencias válidas para ellos al tener una coherencia interna. Es decir, que desde este enfoque no se establece como requisito una similitud con lo representado, lo que importa es cómo el sujeto la utiliza, las potencialidades de razonamiento subrogado que le da y que le permiten realizar distintos tipos de inferencias. Así, las representaciones se consideran herramientas epistémicas, herramientas que les permiten generar inferencias y explicaciones sobre un fenómeno.

Para analizar las representaciones desde el enfoque representacional-inferencial se seleccionó el tema de herencia genética debido a: 1) La relevancia social y biológica del tema (Muela y Abril, 2014; Domènech-Casal, 2016), pues se considera fundamental para la alfabetización científica debido a sus implicaciones sociales (Jalmo y Suwandi, 2018). 2) La importancia de la genética en la didáctica de las ciencias, principalmente por los resultados negativos para su aprendizaje en diferentes niveles escolarizados (Aydin, Sahin y Sicaker, 2014; Sonego y Ladvocat, 2014; Ruiz, Banet y López, 2017; y Aiveli y Uitto, 2021). 3) Su estudio requiere el análisis de diferentes procesos que incluyen distintos niveles representacionales y modelos conceptuales que deben estar integrados para lograr una comprensión completa, lo que hace conveniente generar propuestas didácticas con el uso de múltiples representaciones externas y realizar análisis desde las representaciones que los sujetos pueden construir.

Así, en este trabajo se analizan las representaciones de los estudiantes para identificar cuáles de ellas son empleadas como herramientas epistémicas para explicarlos procesos de herencia genética, con lo que se busca contribuir en la comprensión de los problemas que enfrentan para alcanzar una comprensión clara y adecuada del tema.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

- Analizar, a través de sus elementos constitutivos (intencionalidad, inferencia, regla de coordinación y forma de la representación), las representaciones que estudiantes de bachillerato explicitan para explicar el tema de herencia genética.

1.3.2 Objetivos particulares

- Identificar las herramientas epistémicas que los estudiantes de la muestra utilizan para explicar el mecanismo de herencia genética.
- Identificar los problemas conceptuales que presentan los alumnos de la muestra para explicar el tema de herencia genética, a partir del análisis de las representaciones desde el modelo representacional-inferencial.
- Generar una propuesta de análisis de las representaciones como herramientas epistémicas para el tema de herencia genética.

1.3.3 Preguntas de investigación

- ¿Cuáles son las representaciones e inferencias que alumnos de bachillerato utilizan para explicar los procesos de la herencia genética?
- ¿Todas las representaciones que los alumnos construyen alrededor de una demanda conceptual tienen un uso epistémico?
- ¿Existe relación entre el tipo de representaciones que explicitan y las inferencias que construyen los estudiantes?

CAPÍTULO 2. CAMBIO CONCEPTUAL, REPRESENTACIONES Y MODELOS

2.1 Del cambio conceptual al cambio representacional

En la investigación de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, la pregunta sobre cómo ocurren en los sujetos los procesos de adquisición y construcción de conocimiento, ha hecho que surjan distintos enfoques teóricos que pretenden darle respuesta, tal es el caso de propuesta del estudio de las ideas previas o concepciones alternativas (Wandersee, Mintzes y Novak, 1994; Duit y Treagust, 1998), en la que se reconoce que todo sujeto, en su interacción con el mundo, genera explicaciones de los distintos fenómenos a su alrededor, pero estas concepciones o ideas, si bien son coherentes y están ligadas a los observables y experiencias de la persona, comúnmente están alejadas del conocimiento científico, por lo que se convierten en obstáculos porque serán el punto de partida para la construcción de otros conocimientos en el sujeto.

Estas concepciones se han identificado en diversos campos disciplinares como geografía, física, química y biología (Kose, 2008; Kurt, Ekici, Aksu y Aktas, 2013; Sánchez y Plaza, 2022) y los estudios realizados sugieren que estas ideas podrían conservarse aún después de recibir instrucción formal (Tsai y Chou, 2002), pues se ha visto que incluso son exhibidas por profesores de distintos niveles educativos (Chhabra y Baveja, 2012).

Ante este panorama, en la psicología cognitiva y en la enseñanza de las ciencias, se encuentran diversas propuestas teóricas que ayudan a explicar cómo es que un sujeto puede transitar de estas ideas previas hacia la construcción de conceptos que demuestren una comprensión cercana al conocimiento científico. De manera general, estas propuestas se enmarcan en el enfoque del cambio conceptual, donde se reconoce que el sujeto es un ser cognoscente que tiene la capacidad de generar sus propias construcciones conceptuales y que en esa posibilidad de construcción radica su aprendizaje, el cual será dependiente de un contexto.

Esto implica una mirada distinta del aprendizaje, donde el conocimiento está determinado por el sujeto mismo, ya que el aprendizaje es un proceso interno y dinámico, y el cambio conceptual ocurre como proceso individual porque existe un aprendizaje en el sujeto. En este sentido, cuando hablamos de aprendizaje, nos referimos a que un individuo se encuentra en un punto A y cambia a un punto B (que puede no estar terminado, y que no es final), y durante esta transición ocurren distintos procesos que son importantes comprender, para conocer cuáles fueron las reestructuraciones que realizó para lograr esto.

A partir de lo anterior, surgen distintas aproximaciones teóricas (epistemológicas y cognitivas), que intentan explicar cómo es este proceso de cambio entre una idea a otra (modificación abrupta o sistema complejo) (Flores, 2004); sin embargo, en todos estos acercamientos se contempla la existencia de estructuras conceptuales o ideas previas presentes durante el proceso de cambio conceptual.

Entre las primeras propuestas de cambio conceptual se encuentra la de Strike y Posner (1985) que retoman la idea de Stephen Toulmin (1972) sobre la ecología conceptual, que asume que nuestra organización cognitiva es un sistema en el que todos sus elementos interaccionan, por lo que la modificación de uno afecta la estructura y organización del resto. En su propuesta, Strike y Posner contemplaban que el cambio conceptual ocurre mediante procesos de asimilación y acomodación, y que en el sujeto se deben cumplir cuatro condiciones para que esto se logre: insatisfacción, inteligibilidad, plausibilidad y fructificidad (Flores, 2004). Esto implica que el cambio conceptual ocurre en el sistema por completo, es decir, en la ecología conceptual, se detectan anomalías, esto es, situaciones ante las que el sujeto detecta insatisfacción con sus concepciones existentes, para lo cual deberá contar con los elementos necesarios para comprender y procesar la información (inteligibilidad) que los nuevos conceptos le ofrecen y así poder explorar sus potencialidades. Cualquier nuevo concepto adoptado debe resolver de mejor forma los problemas que sus predecesores no logran, y permitirle generar nuevos procesos de razonamiento (Moreira y Greca, 2003), nuevas aplicaciones y extensiones.

Otra propuesta sobre el cambio conceptual es la de Susan Carey (1985, 1991), quien reconoce que las ideas previas son los elementos a partir de los cuales el sujeto va a realizar inferencias para generar explicaciones a determinados fenómenos (Raynaudo y Peralta, 2017). Dentro de este marco explicativo, los conceptos se conciben como “representaciones mentales estructuradas” (Flores, 2004) correspondientes a un lenguaje; de esta forma, el cambio conceptual está dado por el paso de la significación de términos del lenguaje a otros inconmensurables. Dependiendo de este grado de inconmensurabilidad entre los conceptos, las reestructuraciones pueden ser débiles o fuertes (Moreira y Greca, 2003).

Las propuestas ya enunciadas, tienen un abordaje epistemológico sobre la construcción del conocimiento, y ambas asumen que el cambio conceptual ocurre cuando existe un reemplazo de las ideas previas por los conceptos científicos; existen otros enfoques donde también se concibe que el cambio conceptual ocurre de esta forma, como son las propuestas de Chi y Nersessian, quienes justifican este cambio desde un abordaje cognitivo.

Por su parte, Michelene Chi (1992) menciona que los sujetos clasificamos los conceptos en diferentes categorías ontológicas (materia, eventos y abstracciones) y, en consecuencia, el cambio conceptual puede ocurrir de dos formas, la primera cuando un concepto se corrige dentro de la misma categoría, y la segunda posibilidad es cuando el cambio es entre categorías, por lo que se trata de un cambio radical (Flores, 2004). Por ejemplo, un estudiante que considera que un gen es estructuralmente más grande que un cromosoma puede tener un cambio conceptual cuando reconoce al gen como parte del cromosoma, y este cambio jerárquico se da en la misma categoría, que es materia, o bien, el cambio puede tenerlo a nivel de categorías si primero concibe al gen como una sustancia pasiva que se encarga únicamente de la trasmisión de características, ubicándolo en la categoría de materia, y posteriormente reconoce sus propiedades moleculares y su participación en diversos procesos para la herencia y expresión de las características, reclasificando al gen en la categoría de eventos.

La propuesta de Nancy Nersessian (2009) hace referencia a que el conocimiento que construyen los sujetos es equivalente a cómo se ha producido el conocimiento en la historia de la ciencia. Bajo esta perspectiva, el cambio ocurre bajo dos condiciones, la cinemática del cambio conceptual que hace referencia a los conceptos, y la dinámica del cambio conceptual que está constituida por los procesos cognitivos de razonamiento (Flores, 2004).

Otra propuesta es la de Stella Vosniadou (2003) quien hace referencia a que el cambio conceptual es el resultado de un proceso social y cognitivo donde ocurre un proceso de reestructuración lento y gradual; el punto de partida para todo ser humano son sus teorías intuitivas (Raynaudo y Peralta, 2017). La teoría de Vosniadou implica un cambio de perspectiva ya que ella considera que el cambio ocurre de forma gradual y que no va a ocurrir por reemplazo, sino por enriquecimiento de los conceptos por medio de significados sintéticos que se vuelven incoherentes con los marcos explicativos iniciales, además de que estos cambios cognitivos estarán determinados por el contexto, por lo cual serán dinámicos.

Por su parte, Andrea diSessa (2002) hace una crítica importante hacia la falta de precisión que han tenido algunas propuestas teóricas para definir el cambio conceptual, dejando en claro que uno de los principales problemas es la falta de precisión de los conceptos, ya que se usan términos genéricos y estos no son utilizados de manera analítica, por lo cual se utilizan de forma indistinta en las diferentes propuestas teóricas. Por ejemplo, en el caso de Strike y Posner en la ecología conceptual no se distinguen los distintos tipos de conceptos y en la propuesta de Chi, aunque se establece una categoría de análisis, esta no precisa en qué categoría entran los conceptos y si estos son diferentes o se incluyen en los procesos o los estados mentales.

En este sentido, diSessa propone que el cambio conceptual está sujeto a un tipo de ecología conceptual en la cual los conocimientos se encuentran organizados en sistemas complejos dentro de los que se encuentran dos tipos de entidades

mentales, los *p-prims* y las clases de coordinación, y para que ocurra el cambio conceptual el sujeto debe reestructurar por completo el sistema a través de conexiones entre las entidades mentales (Flores, 2004). Los *p-prims* podemos definirlos como entidades mentales de carácter intuitivo con las cuales cada sujeto puede funcionar ante determinados contextos y fenómenos, en consecuencia, estos son numerosos y fragmentados, y se generan sin relaciones deductivas, van a ser contextuales y no se van a eliminar de la estructura cognitiva del sujeto, sino que van a permanecer en el sujeto porque, además de ser funcionales, son fáciles de evocar y actuar. Con respecto a las clases de coordinación, son entidades mentales generadas de manera intencional por el sujeto para poder explicar un fenómeno a través de la integración de diversos elementos.

En la actualidad, hay nuevas propuestas que sugieren que más que hablar de un cambio conceptual es conveniente referirse a un cambio representacional, ya que una representación es un término más apropiado, pues los conceptos por sí mismos no tienen significado si no son interpretados desde una visión y una estructura conceptual que les posibilita ser representaciones de algo, así que un cambio en el concepto está necesariamente asociado a un cambio en una representación. Por tanto, la representación es una estructura conceptual compleja que el sujeto construye para establecer relaciones, explicar e inferir posibles comportamientos fenomenológicos (Pozo y Rodrigo, 2001). Así, cuando ocurre un cambio conceptual o reestructuración en la mente del sujeto, ésta se da en los esquemas o elementos que dan sentido a los términos y conceptos (Pozo, 2003), es decir, no hay un reemplazo de conceptos, sino una modificación en las representaciones internas del sujeto. En este sentido, “una representación es una estructura generada por el sujeto, con la que puede conceptualizar, visualizar, materializar o inferir propiedades o cualidades posibles de lo que representa en diferentes formatos o modos” (Flores y Valdez, 2007).

2.1.1 Enfoque representacional

Desde el enfoque representacional, se asume que todas las personas tenemos la capacidad de generar representaciones, que pueden ser internas cuando se encuentran en la mente de los sujetos, y externas cuando estas se explicitan en algún formato representacional, y son útiles para funcionar en el mundo y construir explicaciones de los fenómenos que se presentan; estas podrán o no ser correspondientes con los conceptos científicos, pero para el individuo que las utiliza, son coherentes, satisfactorias y funcionales. Lo anterior indica que un enfoque centrado en el análisis de las representaciones externas que utilizan los sujetos para la construcción y transformación de su conocimiento, podría ser un marco teórico sustancial que permita conocer la comprensión que tienen y generan sobre la fenomenología implicada.

De esta forma, las representaciones externas pueden ser analizadas desde diferentes puntos, el primero, centrado en el tipo y cantidad de representaciones externas que se reconocen (formatos representacionales), ya que son los elementos en los que el sujeto se apoya para poder interpretar y construir sus representaciones internas; el segundo punto, está orientado a analizar cuáles son los usos y funciones que los sujetos le pueden dar a estas representaciones dada su naturaleza o propósito; un tercer punto se puede centrar en el análisis de las representaciones construidas explícitamente por el sujeto para generar explicaciones de los fenómenos, pudiendo identificar los formatos representacionales que utiliza, como el oral, escrito, simbólico, gráfico o icónico, o bien, los niveles de refinamiento representacional que emplea o cómo utiliza estas representaciones para construir inferencias.

2.1.2 Tipos de representaciones externas

Una representación externa debe estar expresada en algún formato representacional que permita conceptualizar, analizar, visualizar o materializar una entidad. Para categorizar el tipo de representaciones externas que funcionan como apoyo para la construcción representacional, se han generado distintas

propuestas como la de Prain y Waldrip (2006) quienes clasificaron las representaciones en descriptivas (verbal, gráfico, tabular), experimentales, mas, figurativas (pictórico, análogo y metafórico) y cinestésicas o gestuales encarnadas. Actualmente existen diversas propuestas de clasificación debido a la gran variedad de representaciones con las que se cuenta en los distintos campos disciplinarios de la ciencia.

A partir de la clasificación de Johnstone (1993) en química, Lemke (1998) propuso una para física y Tsui (2003) la correspondiente para biología, mismas que Wu y Putantambeker (2012) recuperan y es la que se emplea en este trabajo debido a que esta clasificación que se muestra en la tabla 2.1, es una de las más completas, permite categorizar todos los elementos utilizados en el diseño de la secuencia didáctica para desarrollar el tema de herencia genética.

Tabla 2.1. *Clasificación de los tipos de representaciones externas.*

Tipo	Representaciones	Procesos	Posibilidades
1.- Verbal-Textual Uso de palabras o símbolos lingüísticos para describir e ilustrar ideas y fenómenos	Metáforas Proposiciones orales Textos Lecturas preguntas, analogías	Construcción de explicaciones, evaluación de la información, preguntas	Permite generar y presentar preguntas, formular explicaciones e interpretar evidencia
2.- Simbólico-Matemático: Representaciones esquematizadas o icónicas, diagramas que aplican signos, símbolos para representar entidades, conceptos o procesos	Ecuaciones Fórmulas Estructuras Problemas Análisis de estructuras a nivel molecular y estructural	Análisis e interpretación de datos Construcción de explicaciones	Permite analizar datos e interpretar resultados, visualizar y representar hallazgos, condensar y organizar información, formular explicaciones
3.- Visual-Gráfico: Para analizar procesos y eventos que pueden ocurrir en diferentes niveles macro y micro, y diferentes escalas temporales-espaciales	Animaciones Simulaciones Diagramas Gráficos Tablas Imágenes	Planificación de investigaciones Análisis e interpretación de datos Construcción de explicaciones	Permite realizar manipulación de variables, identificar errores de medición, interpretar datos, visualizar relaciones entre variables
4.- Accional- Operacional: Implican representaciones kinestésicas o gestuales, acciones como manifestaciones y manipulaciones	Manifestaciones Gestos Manipuladores Modelos físicos Prácticas de laboratorio, Modelos 3d Maquetas	Planificación de investigaciones Contraste de datos, experimentación	Permite diseñar y realizar investigaciones, experimentar y manipular un fenómeno, medir y recopilar datos, generar hipótesis

2.1.3 Funciones de las representaciones

Cada tipo de representación puede ser más o menos útil de acuerdo con el propósito que se persigue, ya que difieren en su eficiencia representacional y pueden mostrar aspectos específicos del dominio a aprender; por ejemplo, un texto es ideal para presentar el contexto de un problema, una imagen permite representar aspectos específicos del fenómeno, mientras que los gráficos ayudan a mostrar información cuantitativa y posibilitan un análisis entre variables; por tanto, no sería lo más recomendable utilizar solamente un texto para analizar la estructura de una molécula como el ADN.

En este sentido, Ainsworth (2006) refiere que, a partir del propósito que se busque en la enseñanza y aprendizaje de algún tema, en un primer momento se deben seleccionar los recursos representacionales que se emplearán de acuerdo con la función cognitiva que estos pueden promover con mayor facilidad. Las categorías que propone son: complementar, restringir y construir. A continuación, se describe cada una de estas categorías con sus subcategorías.

1. Funciones complementarias. Ocurren cuando un conjunto de representaciones tiene el papel de complementarse, lo hacen porque difieren en la información que cada una contiene o los procesos que cada una promueve. Por ejemplo, el uso de lecturas, imágenes o explicaciones que incluyen nueva información que es complementaria a la representación preexistente. Dentro de esta categoría pueden encontrase diferencias por información o por procesos, los cuales se describen a continuación:

1.1. Informaciones complementarias: Se cumple esta función cuando cada representación en el sistema contiene alguna información diferente. Esto puede ocurrir cuando una representación por sí sola no puede mostrar todos los elementos necesarios o cuando la información que muestran es radicalmente diferente. Por ejemplo, en una imagen se muestra la estructura general del ADN y en otra los componentes moleculares que la conforman.

1.2. Procesos complementarios: Se refiere a las representaciones que teóricamente contienen la misma información, aunque difieren en sus ventajas para el aprendizaje en determinadas situaciones por la medida en que apoyan otros procesos cognitivos.

1.2.1. Diferencias individuales: Hace referencia a seleccionar aquellas que puedan complementarse entre sí para atender el propósito señalado; es decir, se muestra información complementaria en un formato de texto y en una imagen para que, con los elementos de cada una, los alumnos puedan obtener información de forma más clara. Por ejemplo, cuando se tiene una lectura que habla sobre cómo se organiza la información genética, y esta se complementa con una imagen que muestra dicha organización. En principio el análisis que permiten ambas representaciones es el mismo porque tienen la misma información, pero el uso únicamente del texto no permite a los alumnos representar con claridad el material genético, por lo que complementar con una imagen, permitirá tener mayor claridad al respecto.

1.2.2. Tarea: Se refiere a utilizar la representación más adecuada para resolver o analizar un problema concreto, ya que es más probable que el desempeño se facilite cuando la estructura de información requerida por el problema coincide con la forma proporcionada por la notación representacional. Por ejemplo, un proceso molecular se muestra a través del análisis de una simulación del modelo molecular y no solo a través de una explicación textual sin imágenes que no permite una representación en dicho nivel.

1.2.3. Estrategia: Se refiere a promover el uso de diferentes formas de representación para que el sujeto utilice la más adecuada para resolver un problema. Por ejemplo, para realizar una explicación fenomenológica se puede incentivar el uso de distintas representaciones como un gráfico, un texto, una explicación oral, para probar cuál representación es más adecuada para dar respuesta a la situación fenomenológica planteada.

2. Funciones de restricción. Una representación restringe la interpretación de una segunda representación. Por ejemplo, cuando se utiliza una animación donde se muestra el proceso de codificación del código genético para la obtención de una proteína, pero no se incluyen los procesos moleculares implicados, porque en ese momento el propósito no contempla abordarlos.

2.1 Familiaridad: La cercanía que tenga el sujeto con una representación puede ayudar en la interpretación de otra. Por ejemplo, en genética es muy recurrente el uso de un cuadro de Punnett para establecer las relaciones de probabilidad para la expresión de un fenotipo, utilizarlo de manera más apropiada incluyendo símbolos que hagan referencia a los cromosomas y alelos presentes en los gametos, permitiría al estudiante relacionar el proceso de herencia con el de meiosis que da como resultado la variabilidad genética.

2.2 Propiedades inherentes: Existen representaciones que, por su naturaleza y sus propiedades inherentes, son más apropiadas para representar cierta información. Por ejemplo, la descripción escrita u oral del proceso de *crossing over* (entrecruzamiento de los cromosomas homólogos) no permite clarificar cómo ocurre la recombinación de genes, en cambio una animación con representaciones gráficas es más apropiada para mostrar dicha recombinación.

3. Construcción: Se refiere a las representaciones que promueven la propia generación de representaciones por parte de los sujetos, de esta forma el conocimiento logrado aumenta la probabilidad de que sea transferido a nuevas situaciones.

3.1 Abstracción: es el proceso mediante el cual los estudiantes utilizan las representaciones externas para crear entidades mentales que sirven como base para nuevos procedimientos y conceptos en un nivel superior de organización. Los alumnos pueden construir referencias que luego exponen a la estructura subyacente del dominio representado. Por ejemplo, a través del uso de ciertas representaciones como los niveles de organización del material genético y la estructura molecular del ADN y ARN, generan un modelo explicativo del proceso de traducción del código para explicar la expresión de un determinado fenotipo.

3.2 Extensión: se puede considerar como una forma de extender el conocimiento; es decir, aplicar los conocimientos con que cuenta a través del análisis de nuevas situaciones. Por ejemplo, cuando un alumno va a utilizar un simulador, deberá manipular las variables implicadas de acuerdo con sus conocimientos, para llegar a determinadas explicaciones o posibles resultados.

3.3 Comprensión relacional: Es el proceso mediante el cual el sujeto relaciona dos representaciones con el objetivo de enseñar la relación entre representaciones que en ocasiones puede ser un fin en sí mismo. Por ejemplo, utilizar un cuadro de Punnett para explicar cómo ocurre el proceso de meiosis y de ahí relacionarlo con los mecanismos de herencia y expresión.

2.1.4 Niveles representacionales

Las representaciones que los sujetos construyen pueden analizarse desde diferentes perspectivas, una de ellas es la propuesta de Kozma y Russell (2005) quienes sugieren cinco niveles en los cuales se pueden categorizar las habilidades representacionales que los sujetos exhiben para comunicar su comprensión de los conceptos científicos implicados, resolver problemas, generar inferencias o construir modelos explicativos. El uso de los diferentes niveles representacionales dependerá de la competencia representacional de cada sujeto, dichos niveles son:

- **Nivel 1. Representaciones fenomenológicas:** Se refiere a representaciones escritas o gráficas sin conexiones y con redundancia isomórfica e icónica del fenómeno en un momento determinado. Por ejemplo, cuando se les solicita una representación de la información genética que se encuentra al interior de la célula y únicamente dibujan la célula con algunos organelos.
- **Nivel 2. Representaciones simbólicas tempranas:** Se refiere al uso de representaciones escritas, simbólicas y gráficas de elementos no conectados a un modelo explicativo. Por ejemplo, cuando dentro de la célula representan una cadena de ADN, un cromosoma o un alelo, sin

explicar cómo se relacionan estas estructuras, o alguna de ellas con la demanda solicitada.

- **Nivel 3. Representaciones con uso sintáctico:** Uso de representaciones gráficas de elementos conectados que conforman un modelo (esquemas, dibujos, símbolos o estructuras), el sistema de representación puede ser inventado y las entidades o procesos representados pueden no ser científicamente precisos, pero el alumno se centra en la sintaxis de uso. El alumno puede hacer conexiones a través de dos representaciones diferentes del mismo fenómeno basadas sólo en reglas sintácticas o características superficiales compartidas. Por ejemplo, explica qué son los genes dominantes y recesivos, establece reglas para su expresión, señala que los cromosomas se encuentran formados por ADN o utiliza símbolos para representar genes bajo un modelo explicativo.
- **Nivel 4. Uso semántico de representaciones formales:** Se refiere al uso de explicaciones escritas, simbólicas o gráficas en las que se evidencia un modelo explicativo coherente y consistente donde se emplean reglas semánticas y sintácticas para generar explicaciones vinculadas a procesos subyacentes no observables, haciendo conexiones a través dos representaciones diferentes o transformando una representación en otra basada en el significado de las diferentes representaciones y sus características. Por ejemplo, realiza representaciones de alelos para explicar un fenotipo, relacionando los alelos con el proceso de meiosis para explicar la haploidía, posibles combinaciones o variabilidad genética.
- **Nivel 5. Uso reflexivo y retórico:** Uso de una o más representaciones explicando la relación entre propiedades físicas, entidades y procesos subyacentes, en un contexto retórico. Selecciona o construye la representación más apropiada para una situación particular y explica por qué esa representación es más apropiada que otra. Por ejemplo, para realizar una explicación referente a la expresión de determinado fenotipo, utiliza un modelo de transcripción de proteínas, empleando los símbolos más apropiados para ellos, evitando el uso de símbolos no relacionados.

2.2 Posibilidad del análisis de las representaciones desde el enfoque de modelos

De acuerdo con las propuestas de Ainsworth y de Kozma y Russell, analizadas en el apartado anterior, queda claro que todos los sujetos tenemos la posibilidad de apoyarnos en representaciones externas para los procesos de aprendizaje, y a la vez, construir nuestras propias representaciones, las cuales no se construyen en solitario, forman parte de relaciones complejas que son las que nos permiten dar respuesta a los fenómenos que se presentan, construir explicaciones y generar predicciones, situación que brinda la posibilidad de pensar estas representaciones como modelos y analizarlos como herramientas cognitivas.

Las primeras propuestas que hablan sobre los modelos como herramientas cognitivas son las de Johnson-Laird (1983), y hacen referencia a los modelos mentales como “construcciones individuales e implícitas, en las cuales el sujeto articula sus representaciones para dar sentido a las explicaciones que genera sobre alguna fenomenología” (Johnson-Laird, 1983; Norman, 1983), por lo que son útiles, coherentes y suficientes para la persona que los construye.

Lo relevante de esta propuesta es que reconoce que estas construcciones son parciales ya que no integran la totalidad de los elementos que estarían implicados en el sistema que modeliza, ya que esto no sería posible. Para los autores de esta propuesta, el objetivo de los modelos mentales es funcional y no estructural, porque el sujeto los utiliza para generar explicaciones sobre la fenomenología que se le presenta y para generar inferencias sobre posibles comportamientos del fenómeno, y no para representar con precisión el fenómeno; los elementos constitutivos de estos modelos son las representaciones del sistema que se quiere modelizar, así como una segunda representación derivada de la primera, la cual se debe encontrar acompañada de una inferencia que proporciona nueva información y que permite una ejecución mental del comportamiento del sistema modelizado (Gutiérrez, 2005).

Otra propuesta de análisis de la construcción del conocimiento en los sujetos desde el enfoque de modelos es el ONEPSI (ontológico, epistemológico,

psicológico), propuesto por Gutiérrez (1994, 2001), quien retoma los elementos constitutivos de los modelos propuestos por Johnson-Laird (1983), reconociendo la existencia de representaciones mentales internas como punto inicial, las cuales son las entidades que conforman al sistema y serán las que permitan al sujeto establecer relaciones causales para generar inferencias del fenómeno en cuestión (Aliberas, Gutiérrez, Izquierdo, 2017). La diferencia con la propuesta anterior, es que no se hace mención de si las representaciones deben guardar una relación con lo representado, pero es claro que bajo esta perspectiva la construcción de los modelos por los sujetos también ocurre en lo individual con una intención funcional.

Otra propuesta teórica sobre el análisis de los modelos que generan los sujetos es la de los Modelos Parciales Posibles (MPP) (Flores y Gallegos, 1998) la cual sustenta que cada sujeto desarrolla sus propias representaciones a partir de los elementos conceptuales de los que dispone, estableciendo relaciones que le permiten generar un modelo explicativo que, como menciona Johnson-Laird (1983), es parcial porque la explicitación no contiene todos los elementos del fenómeno, solo responde a una parte de la explicación fenomenológica, y es posible porque para el sujeto que lo construye tiene una coherencia interna que le es satisfactoria, por lo que puede o no corresponder con los conceptos científicos.

Los componentes de los Modelos Parciales Posibles incluyen las ideas constrictoras (IC) que son un sistema axiomático que da sustento a los argumentos, las reglas de correspondencia (RC) que permiten establecer relaciones causales y condiciones en función de las IC, y las expresiones fenomenológicas que son las ideas que los sujetos explicitan como una explicación del fenómeno en cuestión.

Por su parte Nersessian (2007), menciona que el formato de representación más útil para contemplar los procesos de razonamiento son los modelos mentales, y el razonamiento basado en modelos es generador del cambio representacional en la ciencia a través de tres procesos, el razonamiento analógico que va a permitir generar inferencias, el razonamiento a través de imágenes que permite razonar al

poder recuperar, almacenar y mostrar interconexiones entre la información, y por último, los experimentos mentales que tienen el objetivo de extraer conclusiones acerca de una situación o fenómeno dado, las cuales tienen restricciones con el mundo físico.

Como se puede notar, en todas las propuestas anteriores que hace referencia al análisis de las representaciones desde los modelos se reconoce la importancia de la inferencia que se puede construir a partir de las representaciones que se utilizan y articulan. Estos autores reconocen que lo verdaderamente importante es que los modelos permiten que el sujeto genere inferencias válidas para explicar un fenómeno. En este sentido, Rost y Knuuttila (2022) mencionan que es importante pensar en los modelos que construyen los sujetos desde su potencialidad como herramientas epistémicas para generar razonamiento, superando la idea estructuralista que estos deberían presentar para ser considerados como válidos para explicar algún fenómeno.

En el enfoque inferencial-representacional que se propone en este trabajo de investigación, se retoman las ideas de las propuestas anteriores, pues se reconoce el uso que el sujeto le da a la representación interna que explicita en algún formato representacional, para poder generar inferencias que serán válidas para él, pero además se reconoce que debido a que la representación por sí misma no tiene un poder explicativo, la representación no requiere guardar similitudes isomórficas con lo que se está representando, pero sí debe contar con distintos elementos que evidencien que está teniendo un uso epistémico. Por ejemplo, si a una persona se le pregunta ¿Cómo es que se heredan las características de una generación a otra?, bien podría representar un óvulo o un espermatozoide para explicar que a través de estas células se heredan las características de padres a hijos, ya que son las que participan en un evento de fecundación y por lo tanto estas células deben de contener todo el material genético que conformará al nuevo individuo; por tanto, no será relevante si su representación gráfica es o no parecida con una célula, o si contiene todos los elementos que conforman este tipo celular, lo relevante será la inferencia referida

a la herencia que genere con la representación y que esta sea válida debido a que posee una coherencia interna. En un ejemplo contrario, el sujeto puede representar un gameto con todos los elementos de este tipo celular, pero sin generar alguna inferencia que le permita explicar el fenómeno, lo que evidencia que lo relevante es el uso de la representación y no la representación en sí misma.

En este sentido, la propuesta de esta tesis permite analizar los procesos de razonamiento de los estudiantes, ya que de acuerdo con la forma en que abordan y articulan cada elemento constitutivo de su representación, será la inferencia que construyan sobre el fenómeno implicado, la cual dará cuenta del uso de la representación como una Herramienta Epistémica (HE).

En el enfoque representacional-inferencial, para que las representaciones puedan cumplir la función de HE, deben estar constituidas por cinco componentes denominados elementos constitutivos de la representación (Gallegos, Flores y Calderón, 2021), los cuales se describen a continuación:

- **Intencionalidad:** Se refiere a la toma de conciencia del sujeto sobre la pregunta, situación o fenomenología planteada. Por ejemplo, en una situación donde se pregunta ¿Por qué los hijos se parecen a los padres?, el sujeto explicita representaciones alineadas a justificar dicha situación, utilizando la herencia de características.

- **Elementos de interpretación:** Son los elementos con los que el sujeto cuenta para realizar las inferencias, desde sus concepciones básicas, experiencias cotidianas e información que obtiene en distintos contextos como el social, familiar, escolar. Por ejemplo, en el contexto cotidiano, los comentarios referidos a que un bebé nacido dentro de la familia “heredó” los ojos de la abuela; en el contexto escolar, los materiales de apoyo como lecturas, imágenes, simuladores, videos, prácticas experimentales, ejercicios, etc.

- **Formas de expresión (signo-material):** Se refieren a la explicitación de la representación en algún formato, ya sea a través de imágenes,

expresiones lingüísticas, gráficos, símbolos, objetos, etc. Por ejemplo, explicación textual-verbal de cómo se pudo heredar determinada característica en la familia, la representación gráfica de un árbol genealógico o el uso de fotografías para apoyar sus explicaciones.

• **Inferencia:** Se refiere al razonamiento que el sujeto realiza y explicita a partir de los elementos de la representación con que cuenta, dicha inferencia puede ser aplicada a objetos reales o imaginarios. Por ejemplo, a partir del árbol genealógico que construye para representar cómo se hereda determinada característica, su inferencia puede ser establecer lazos de parentesco y posibles mecanismos de herencia.

• **Reglas de coordinación:** Son procesos que el sujeto utiliza para verificar su inferencia y darle validez a través de la observación o la medición, de tal manera que muestran cómo los elementos inferidos en la representación conectan con lo representado. Por ejemplo, si la inferencia generada por un sujeto es que el bebé heredó el color de ojos de la abuela, en su representación deben estar explícitos los elementos que den cuenta de ello.

Para concluir este capítulo es importante señalar que las representaciones pueden ser analizadas desde diferentes perspectivas, y en todas ellas el hilo conductor es la importancia que tienen en los procesos de construcción del conocimiento en los sujetos tanto en su uso como en su construcción y explicitación.

CAPÍTULO 3. REPRESENTACIONES EN LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

3.1 Representaciones en el desarrollo de la ciencia

La explicación de los fenómenos naturales es un proceso complejo que requiere una reestructuración continua a partir de los nuevos conceptos que se van integrando. Por ello, para realizar observaciones, experimentos e inferencias, los científicos generan representaciones y modelos simplificados en distintos formatos, como el gráfico y simbólico, que permitan articular las inferencias y socializar esta información con la comunidad.

En este sentido, las representaciones externas y los modelos conceptuales derivados de estas, pueden ser utilizados por otros como herramientas cognitivas que posibilitan el razonamiento y como los elementos sobre los cuales se aprende y construye el conocimiento, por lo cual han tenido un papel clave e indispensable en el desarrollo de las ciencias en general, ya que han permitido generar inferencias, análisis, hipótesis, predicciones y resolver problemas, lo que ha llevado a la construcción de nuevas representaciones y articulaciones reflejadas en el desarrollo de distintos y nuevos modelos que explican los fenómenos estudiados.

Su importancia se encuentra descrita en diferentes áreas de estudio de las ciencias; por ejemplo, Gooding (2006) menciona que contar con múltiples representaciones externas en distintos formatos y generar una interacción dialéctica entre estas y las representaciones internas, posibilita la comprensión y estructuración de nuevas representaciones; esta situación la describe a través de los trabajos realizados por Faraday, quien generó un modelo explicativo del campo electromagnético, construido a partir de la articulación de las representaciones disponibles y de las generadas por él.

Otro ejemplo, es la construcción histórica de diferentes modelos que explican las reacciones químicas de las relaciones ácido-base (Chamizo, 2010), o bien, los famosos modelos del átomo, que han tenido cambios sustanciales, pues el

primero no guarda correspondencia gráfica con las propuestas más recientes, y no es que los modelos más recientes se aproximen más que los anteriores a la “realidad”, sino que tienen mayor potencial explicativo, ya que esta transición entre distintos modelos conceptuales a lo largo del tiempo se debe a que se van integrando o reestructurando distintos tipos de representaciones, se introducen nuevos conceptos, aparecen nuevas aportaciones y subdisciplinas que permiten generar nuevas representaciones, y por lo tanto, cada modelo responde a las representaciones generadas o disponibles en su momento histórico.

En el campo de la Biología, Vorms (2014), realiza un análisis histórico del nacimiento de la genética clásica, y explica detalladamente cómo es que las representaciones tuvieron un gran peso en el avance de la disciplina, mencionando que, en ese momento, más que hablar de un cambio conceptual, la disciplina tuvo un cambio representacional, situación que ayudó a comprender de mejor forma conceptos y procesos.

Otro ejemplo es el citado por Martí y García-Mila (2007) quienes describen, a partir del trabajo de Gruber (1984), cómo las representaciones construidas por Darwin, que en su mayoría fueron esquemas de naturaleza gráfica-simbólica, como el diagrama donde representa el árbol de la vida como metáfora para establecer relaciones de parentesco entre los seres vivos, fueron los elementos a partir de los cuales pudo cimentar las explicaciones dentro de su teoría. Es importante destacar que, en primer lugar dentro de la propia disciplina, Darwin no fue el primero en emplear esta metáfora visual, pues personajes como Lamarck ya lo habían hecho; sin embargo, la gran aportación de Darwin fue la reestructuración de estas representaciones, alineándolas a su teoría, lo que le permitió establecer inferencias sobre cómo se establecen relaciones de parentesco, idea central de la teoría que formuló sobre la evolución de las especies; y en segundo lugar dentro del enfoque representacional, su representación del árbol de la vida no es una representación isomórfica de nada, lo que destaca el uso de las representaciones como herramientas epistémicas que permiten construir inferencias.

A partir de lo anterior, es posible analizar el trabajo de Darwin desde el enfoque representacional-inferencial, donde la construcción del árbol de la vida con ramas y letras incluyen distintas formas de **expresión simbólica,** lo cual tuvo como **intención** explicar cómo las especies se encuentran emparentadas, partiendo de un mismo origen y evidenciando el proceso evolutivo; los **elementos de interpretación** que tuvo para generar estas **inferencias** fueron las observaciones de sus viajes, así como la investigación documental que realizó sobre las aportaciones de otros científicos, justificando su inferencia con toda la evidencia del análisis de distintas especies (**regla de coordinación**), como los pinzones, de los cuales hace referencia en sus explicaciones al vincular a la especie con la disponibilidad de recursos del ambiente donde se desarrolla, y evidenciando la idea del parentesco entre especies que muestra en sus representaciones simbólicas. Actualmente, los “árboles de vida”, siguen los principios establecidos por Darwin, pero son mucho más complejos debido a las aportaciones que se han realizado en otras áreas, como la genética, que permite incluir nuevas representaciones y realizar mayores precisiones en su construcción teórica y, por tanto, en las inferencias que se construyen.

En el campo de la ciencia existen muchos más ejemplos como los anteriores, tal es el caso del modelo corpuscular de la materia, los movimientos terrestres o el modelo de doble hélice del ADN, que pudo completarse gracias a una representación gráfica obtenida por Rosalind Franklin a partir de una técnica de difracción de rayos X. Estas situaciones hacen notar la relevancia que han tenido las representaciones en sus diferentes formatos para el desarrollo de los conceptos científicos debido a su uso epistémico, por lo cual, el uso de representaciones como herramientas epistémicas en la enseñanza y aprendizaje de la ciencia debe ser una parte medular, ya que son los elementos a partir de los cuales se pueden generar explicaciones, predicciones e inferencias sobre los distintos fenómenos presentados.

3.2 Uso de las representaciones en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias

Como se mencionó en el apartado anterior, la ciencia genera modelos explicativos mediante el uso de representaciones externas, y estas son empleadas de manera consciente o inconsciente, por los profesores y alumnos todo el tiempo, ya sea para comunicar ideas y conceptos o construir explicaciones, mediante expresiones verbales y escritas, símbolos, imágenes, gestos, etcétera.

En la didáctica de las ciencias existen numerosos trabajos que reportan el uso de representaciones en diferentes formatos, (Meyer, 2001; Sweller, 2005; Rasch y Schnotz, 2009; Tsui y Treagust, 2010, 2013). Un estudio realizado por Someren, Reimann, Boshuizen y de Jong (1998) mostró, con distintos ejemplos, cómo es que han sido utilizadas las múltiples representaciones en diversos temas, siendo más recurrente su uso en aquellos tópicos que implican una mayor complejidad representacional al incluir o conjuntar diversos niveles representacionales, como es el caso de la biología.

Los tipos de representaciones que se emplean durante el proceso de enseñanza y aprendizaje son sumamente diversos; por ejemplo, cuando se realizan movimientos de manos y brazos para representar la forma del ADN se hace uso de representaciones miméticas-gestuales; cuando se utilizan metáforas o analogías para describir o ejemplificar distintos procesos como la división celular se hace uso de representaciones lingüísticas; las representaciones visuales y simbólicas son empleadas comúnmente en gráficos, diagramas, simulaciones y animaciones, como el cuadro de Punnett que incluye símbolos en forma de letras y la simulación de distintos procesos como la meiosis y la fecundación (Gilbert, 2005). Sin embargo, el uso epistémico de estas representaciones no ocurre de manera cotidiana ni es fácil que así sea, debido a que dichas representaciones no tienen una correspondencia directa con la realidad, pues la mayoría son de naturaleza simbólica, compleja y representan niveles micro y macro, con

interacciones implícitas y explícitas y con conceptos abstractos (Eilam y Gilbert, 2014), lo que hace que su comprensión y análisis sea una tarea exigente a nivel cognitivo (Taber, 2009), por lo cual los estudiantes realizan sus propias adecuaciones a las representaciones que elaboran, siendo en su mayoría distinto a la representación escolarizada del fenómeno.

Lo más común que ocurre en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, es que las representaciones son empleadas como elementos complementarios o visualizadores, más que como herramientas que pueden ayudar en la construcción del conocimiento, situación que se ve reflejada en diversos estudios, que reportan las distintas dificultades que se presentan para este uso (Gilbert, 2005; Gilbert, Reiner y Nakhleh, 2008; Anderson, Schönborn, Plessis, Gupthar y Hull, 2013;). Sin embargo, Wu y Putambaker (2012) mencionan que si bien en diversos estudios que han analizado se resalta la dificultad que representa que los alumnos generen sus propias representaciones y las puedan articular, debido a que se requiere que se les proporcione un andamiaje adecuado para que puedan construir, interpretar y traducir entre representaciones, promover su uso de esta forma favorece de distintas formas el aprendizaje en los estudiantes, además de que actualmente es cada vez más común que sea mayor el uso de múltiples representaciones como imágenes, gráficos, animaciones, videos, simulaciones, debido a los distintos medios y recursos visuales, gráficos y tecnológicos con los que actualmente se dispone, además de que son diversos los estudios en los cuales se destacan los beneficios de promover una enseñanza basada en el uso de múltiples representaciones (Tsui y Treagust, 2003).

Schnotz y Kürschner (2008) realizaron una investigación donde indican que el uso de múltiples representaciones influye de manera significativa en la construcción que realizan los estudiantes con respecto a la explicación de un fenómeno. Por su parte Ainsworth (2006), menciona que contar con múltiples representaciones permite al sujeto comprender desde diferentes perspectivas el fenómeno en cuestión, pero para obtener estos beneficios, el sujeto debe poder interpretar cada tipo de representación, relacionarla, construirla, reconstruirla y conocer el dominio

al que pertenece. Por ejemplo, si la demanda conceptual es que los alumnos realicen el cálculo de fenotipos, se deben proporcionar distintas representaciones que les permitan cambiar variables para observar diferencias, patrones y relacionar esta información con otra estableciendo una vinculación directa entre los diferentes tipos de representaciones; es decir, emplear diversas representaciones que permitan apoyar el aprendizaje con procesos complementarios, restringiendo interpretaciones o promoviendo una comprensión más profunda de los conceptos, para que en este proceso los estudiantes puedan identificar las características de las representaciones, comparar similitudes y diferencias y compartir lo que están comprendiendo.

3.3 Representaciones en el tema de herencia genética

El tema que se propone en esta investigación es la genética, ya que se ha convertido en una de las áreas de la Biología con mayor interés social, político y educativo debido a los crecientes avances científicos y tecnológicos que ha tenido (Smith y Sims, 1992; Ayuso, 2000). Sin embargo, numerosas investigaciones indican que la mayoría de la población carece de conocimientos fundamentales en genética, necesarios para tomar decisiones cívicas y personales informadas (Lewis y Wood-Robinson, 2000; Lanie *et al.,* 2004), por lo que es necesario promover su comprensión para mejorar la participación ciudadana y la toma de decisiones informadas en lo social y político en temas que implican decisiones individuales y colectivas, como es el caso de los marcadores genéticos, la terapia génica, la clonación, las células troncales, el uso de los organismos genéticamente modificados, uso de vacunas, etcétera (Stewart y Kirk, 1990; Garvin y Stefani, 1993; Fox Keller, 2002; Morata, 2008, Mukherjee, 2017; Sanchez-Castro, Pajuelo-Reyes, 2020).

En cuanto al aspecto educativo, el interés de trabajar este tema se basa en los resultados negativos que se han reportado en las últimas décadas y que ponen en evidencia la dificultad que tienen los estudiantes de diferentes niveles educativos para comprender los conceptos básicos de la herencia genética (Clough y Wood-

Robinson, 1985; Collins y Stewart, 1989; Jensen y Finley, 1995; Lewis, Leach y Wood Robinson, 2000; Agorram, Clément, Selmaoui, Khzami, Grande, Charrier y Vilanova, 2009; Chafik, Chiadli, 2010, Dikmenli, 2010; Etobro y Banjoko, 2017).

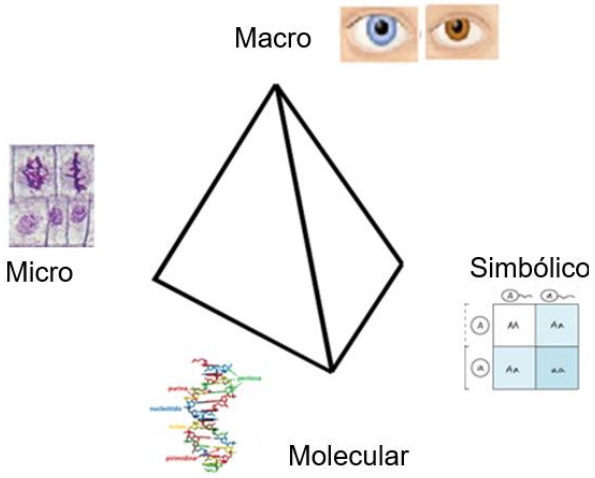
Las principales dificultades reportadas se centran en la complejidad representacional implicada en sus constructos centrales, ya que el estudio de la genética requiere la comprensión y relación de diferentes mecanismos y procesos (Kindfield, 1991; Bahar, Johnstone y Hansell, 1999; Banet y Ayuso, 2000; Stewart, Cartier y Passmore, 2005; Duncan y Reiser, 2007; Venville y Donovan, 2007).

Además, cuando los conceptos y los procesos pertenecen simultáneamente a varios niveles de organización, se presenta una dificultad mayor para comprender el fenómeno, situación que se refleja en la enseñanza de la herencia genética ya que los estudiantes difícilmente logran una comprensión clara e integral, debido a que no les es posible articular las representaciones para generar los modelos conceptuales necesarios (Rotbain, Marbach-Ad y Stavy, 2006; Marbach-Ad, Rotbain y Stavy, 2008).

Chien (2008) menciona que en el aprendizaje de la herencia genética se incluyen niveles de organización macroscópicos, microscópicos, moleculares y simbólicos. En el nivel macroscópico se encuentra lo que el sujeto puede percibir de manera inmediata, lo que puede ver, tocar, oler, manipular, como son las características físicas observables que se heredan de una generación a otra, y a partir de las cuales establecen inferencias, siendo este el conocimiento más persistente pues es al que pueden acceder de manera inmediata y constantemente recurrir a él. En el nivel microscópico, el sujeto ya no tiene contacto directo, pero puede generar inferencias a través de imágenes que lo explican o describen, como es el caso de las células, el ADN compactado o los cromosomas. El nivel molecular se refiere al análisis y comprensión de estructuras bioquímicas que no pueden ser observadas ni siquiera de manera indirecta como los cromosomas, los genes y el ADN, son representaciones simbólicas de las estructuras o procesos que ocurren dentro del

nivel microscópico. El nivel simbólico es más abstracto porque las representaciones no son una representación estructural de algo pero sirven para explicar conceptos y procesos en los tres niveles de organización previos (macro, miro y molecular) como es el caso de los alelos representados en los cuadros de Punnett que integra el proceso de meiosis y dominancia y recesividad, sin el uso consciente del nivel simbólico, los fenómenos que se explican no tienen sentido, su uso se reduce a procesos mecánicos y memorísticos. Chien (2008) representa estos niveles en lo que llama la pirámide de los conceptos genéticos, misma que se muestra en la figura 3.1.

Figura 3.1. *Pirámide de los conceptos genéticos.*



Elaboración propia, modificada de Chien, 2008.

Nota. En la pirámide se encuentran los cuatro niveles necesarios para la comprensión integral de los procesos de herencia genética.

Otras de las dificultades identificadas tienen que ver con el vocabulario y la terminología específicos del dominio, por ejemplo, algunas palabras son muy similares como cromátida y cromosoma, mitosis y meiosis, ADN y ARN, pero son radicalmente distintas en cuanto a funciones y procesos. Aunado con lo anterior, se agrega el contenido matemático de las tareas genéticas mendelianas, los cuales deben relacionarse con los procesos genéticos para poder establecer inferencias (Knippels, 2002).

Por todo lo anterior, las investigaciones sobre las concepciones y dificultades de profesores y estudiantes para su enseñanza y aprendizaje han cobrado mayor importancia en las últimas décadas (Stewart, 1982; Smith, 1988; Kindfield, 1994; Stewart y Hafner, 1994); y muchos estudios han propuesto estrategias para la enseñanza de la genética bajo diferentes enfoques para obtener mejores resultados en el aprendizaje (Ayuso y Banet, 2002; Íñiguez y Puigcerver, 2013; Martínez, Garzón y Aristizábal, 2014; Palacín, 2015).

En la tabla 3.1 se presenta una síntesis de algunas investigaciones sobre propuestas didácticas que se han implementado para mejorar la enseñanza y aprendizaje del tema de genética y se incluyen los principales resultados, conclusiones o aportaciones de estos trabajos.

Tabla 3.1. *Investigaciones sobre la enseñanza de la genética.*

Autores y año	Población	Metodología	Resultados	Conclusiones o aportaciones
Lewis, Leach & Wood-Robinson, 2000	482 estudiantes de 14 a 16 años	Análisis de resultados de aprendizaje.	Dificultades para reconocer los niveles de organización genética. No todos los organismos tienen ADN. Los genes determinan o transportan las características, visión sustancialista.	El enfoque no debe estar orientado en resolver problemas, sino en la relación de los diferentes temas para comprender el mecanismo de la herencia.
Lewis, Leach & Wood-Robinson, 2000	482 estudiantes de 14 a 16 años	Análisis de resultados de aprendizaje.	Confusión en los procesos que ocurren en la mitosis y meiosis, en el número de cromosomas y variabilidad genética.	Conocer las estructuras básicas y su relación con los procesos de división celular, así como del modelo cromosómico y su relación con la división celular
Ayuso y Banet, 2002	Estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria de 15 a 16 años.	Diseño de una secuencia didáctica basada en una progresión de aprendizaje.	Los alumnos piensan que no todos los seres vivos están formados por células. Las células sexuales son las únicas que tienen información hereditaria, cada célula de un mismo organismo tiene información diferente.	Se recomienda no iniciar con las leyes de Mendel. Partir del modelo de cromosoma para que los alumnos comprendan niveles de organización y los procesos de mitosis y meiosis.

Autores y año	Población	Metodología	Resultados	Conclusiones o aportaciones
Law y Lee, 2004	Estudiantes de Educación secundaria de Honk Kong.	Se diseñó una secuencia de aprendizaje basada en uso de simulaciones.	Las simulaciones construidas exponen sus conceptos erróneos y estimula una mayor exploración de la comprensión que tienen de genética.	El uso de simulaciones que permiten múltiples representaciones y manipulación de variables permite mayor comprensión entre fenotipo y genotipo.
Knippels, Waarlo y Boersma, 2005	22 estudiantes de educación secundaria	Análisis de resultados de aprendizaje.	Dificultades para comprender el modelo cromosómico Dificultades para comprender las diferencias entre mitosis y meiosis	Interconectar la reproducción sexual, la meiosis y los rasgos genéticos.
Rotbain, Marbach-Ad y Stavy, 2005	116 alumnos de bachillerato (grupo control) y 71 en la secuencia didáctica.	Se diseñó una secuencia basada en el uso de ilustraciones y modelos para enseñar procesos moleculares.	Los estudiantes que utilizaron uno los modelos e ilustraciones mejoraron sus conocimientos en genética molecular en comparación con el grupo de control.	Es aconsejable utilizar modelos e ilustraciones para mejorar el rendimiento de los estudiantes, en comparación con la instrucción tradicional.
Chinnics, Zaroh y Sherman, 2006	Estudiantes de la clase de Biología de la universidad de Virginia.	Se construyó una secuencia didáctica basada en el uso calcetines para representar cromosomas.	Esta actividad ayudó a los estudiantes a comprender el modelo cromosómico en cuanto a la distinción de diploidía y haploidía.	Se sugiere que los profesores utilicen esta actividad donde los alumnos puedan utilizar estas representaciones y manipularlas,
Yilmaz, Tekkaya y Sungur, 2011	55 estudiantes de bachillerato (grupo experimental) 26 grupo control.	Se construyeron dos secuencias didácticas, una basada en el cambio conceptual, otra en predicción/discusión.	Las secuencias mostraron mejoras en los alumnos debido a que consideraron las ideas preexistentes., participaron activamente en el proceso manipularon, observaron y registraron datos. .	A pesar de las mejoras, menos del 10% de los estudiantes respondieron correctamente, lo que evidencia la dificultad del tema.
Íñiguez y Puigcerver, 2013	Educación Secundaria Obligatoria de 15 a 16 años.	Diseño y aplicación de dos secuencias didácticas (tradicional y con perspectiva de cambio conceptual).	Los alumnos no ubican los genes dentro del ADN o cromosomas. Consideran que la información hereditaria está solo en células sexuales. No reconocen relación gen-alelo Mencionan que no todas las células tienen cromosomas.	Se debe de utilizar más los modelos tridimensionales que permitan visualizar estructuras y procesos. Es indispensable comprender el modelo de cromosoma para comprender niveles de organización.

Autores y año	Población	Metodología	Resultados	Conclusiones o aportaciones
Aydin Şahin y Sicaker, 2014	59 estudiantes de Enseñanza de Ciencia Universidad de Balıkesir.	Se diseñó y aplicó una secuencia basada en el uso de un juego sobre el tema de síntesis de proteínas.	Los estudiantes afirmaron que la actividad fue divertida y por lo tanto se volvió más interesante, mejorando los resultados de aprendizaje.	Es importante utilizar actividades en las que los estudiantes participen activamente, como manipular variables durante el proceso de enseñanza.

Los resultados presentados en la tabla anterior muestran que, a pesar de las diferentes propuestas que se han realizado para mejorar la enseñanza y aprendizaje del tema, persiste una gran dificultad para su aprendizaje (Bullago, 1995; Banet y Ayuso, 2000; Figini y De Micheli, 2005; Caballero, 2008; Solbes 2009). En la tabla 3.2 se presenta una síntesis de investigaciones que reportan las principales concepciones erróneas que los estudiantes tienen sobre genética.

Tabla 3.2. *Investigaciones sobre concepciones de los estudiantes en genética.*

Autor(es) y año	Población	Metodología	Resultados	Conclusiones o recomendaciones
Lewis y Kattmann, 2004	10 estudiantes alemanes de entre 15 y 19 años.	Se aplicaron entrevistas centradas en problemas con la finalidad de conocer sus ideas sobre genética	Los alumnos conciben a los genes como partículas pequeñas portadoras de rasgos, no hay distinción entre genotipo y fenotipo, no enuncian algún mecanismo de expresión.	Se sugiere que la enseñanza del tema de herencia genética tenga en cuenta las concepciones previas de los estudiantes.
Saka, Cerrah, Akdeniz, Ayas, 2006	175 estudiantes turcos universitarios de Biología.	Se aplicó un cuestionario que solicita las definiciones y dibujos del gen, ADN y cromosomas	Los estudiantes pueden definir la función de gen, ADN y cromosoma, pero se les dificulta relacionarlo con su estructura y entre los mismos niveles.	Los estudiantes no tienen conocimientos solidos sobre el tema, se explicitan muchas de sus concepciones alternativas, por lo cual es necesario tomarlas en cuenta.
Caballero, 2008	168 alumnos de primer curso del bachillerato de Madrid.	Se les aplicó un test de 13 items y se les solicitó definir gen, alelo, cromosoma, ADN.	Los alumnos tienen confusión a la hora de identificar la localización del material genético, así como su vía de transmisión.	Predomina una confusión a la hora de identificar el material genético, su vía de transmisión y en el significado de conceptos básicos de genética.

Autor(es) y año	Población	Metodología	Resultados	Conclusiones o recomendaciones
Mills Shaw, Van Horne, Zhang y Boughman, 2008	500 alumnos americanos de Bachillerato.	Se analizaron 500 ensayos escritos por alumnos entre el 2006 y el 2007, con la finalidad de identificar las ideas de los estudiantes.	El uso de los conceptos indica que no se está formando una ciudadanía con modelos mentales precisos de la herencia genética. Persiste una idea de determinismo genético.	Es preocupante que en los estudiantes prevalecen los mismos conceptos erróneos. Los profesores deben acceder a la información sobre los conceptos erróneos para trabajar sobre ellos.
Corbacho y De, 2009	15 estudiantes argentinos de educación superior.	Cuestionario con problemas y preguntas abiertas.	Los alumnos resuelven problemas y definen términos, pero no establecer relaciones entre conceptos y los problemas.	Se pone en evidencia que se utiliza la parte memorística, que no tiene ninguna función para poder generar inferencias.
Grande, Charrier y Vilanova, 2009	81 estudiantes de secundaria en Argentina	Se aplicó un cuestionario previamente validado por Lewis y Wood-Robinson (2000)	Los resultados mostraron errores en los conceptos de gen, cromosoma y ADN, desconocen que todos los seres vivos tienen información genética y no saben cuál es la finalidad de la mitosis y la meiosis.	Los resultados sugieren que los conceptos erróneos sobre los conceptos y procesos de genética son los mismos en esta muestra de estudio en comparación con otras previamente reportadas.
Klautau, Aurora, Dulce, Silviene, Helena, y Correia, 2009	140 alumnos portugueses y brasileños de secundaria y bachillerato.	Se les aplicó un cuestionario de dos preguntas abiertas para conocer sus concepciones sobre la herencia genética.	Se encontraron dificultades en el uso de terminología, en las relaciones entre los procesos de meiosis, y herencia y en la comprensión de los procesos de la variabilidad, asociado a ideas de sentido común.	Se sugiere que los profesores accedan a la información sobre los conceptos erróneos para trabajar sobre ellos con los estudiantes.
Agorram, Clement, Selmaoui, Khzami, Chafik, y Chiadli, 2010	94 estudiantes universitarios de Francia.	Se realizó un análisis de las respuestas de los alumnos a partir de un cuestionario con tres preguntas abiertas.	En los estudiantes predomina la concepción de gen desde una visión mendeliana, no los pueden ubicar ni hacer conexiones con otros niveles de organización.	Se debe alentar a los estudiantes a utilizar mapas conceptuales para expresar sus ideas sobre el concepto de gen, para que puedan identificar y caracterizar las debilidades internas y externas de cada uno.
Dikmenli, 2010	124 estudiantes de profesorado de biología en Turquía.	Se realizó un análisis de los dibujos y entrevistas de futuros profesores de biología.	Los estudiantes confundieron Meiosis y Mitosis, el número de cromosomas implicados, así como el momento en el que ocurre.	Se sugiere que los profesores accedan a la información sobre los conceptos erróneos para trabajar sobre ellos con los estudiantes.

Autor(es) y año	Población	Metodología	Resultados	Conclusiones o recomendaciones
Infante, Queiroz, Weller y Santos, 2010	217 estudiantes de medicina, psicología, nutrición, biología y odontología, en Brasil.	Se aplicó un cuestionario de 15 preguntas, lo respondieron en una semana.	El 60% de la muestra no respondió de manera correcta preguntas básicas de genética como meiosis, gen, ADN, cromosomas.	Se debe poner mayor énfasis en la enseñanza de la genética en los niveles básicos para que tengan mayores herramientas en los grados posteriores.
Dikmenli, Cardak, Kiray, 2011	140 estudiantes de la universidad de Turquía.	Se les aplicó un test de dos preguntas abiertas sobre gen.	La idea predominante de gen es que son portadores de los rasgos, desde una visión mendeliana.	Existe un predominio de conceptos erróneos, los cuales deben ser atendidos relacionando los temas con la biología molecular.
Lewis y Kattmann, 2014	10 estudiantes alemanes de bachillerato	Se aplicó una entrevista centrada en resolución de problemas	Los alumnos sostienen una concepción de los genes como partículas portadoras de rasgos, lo que les impide considerar cómo se expresan.	Se sugiere que cualquier enfoque sobre enseñanza de genética considere las concepciones previas de los estudiantes.
Sonego y Ladvocat, 2014	154 estudiantes de educación media superior de Brasil.	Se aplicó un cuestionario de 12 preguntas.	Los alumnos muestran conceptos erróneos relacionados con el ADN, clones, transgénicos, genoma humano, relación entre genotipo, fenotipo y ambiente.	Es necesario revisar la enseñanza para que los estudiantes tengan acceso al conocimiento correcto, para la alfabetización. ciencia en las escuelas.
Luka, Danjuma, Dazi y Micheal, 2017	200 alumnos y diez profesores de Nigeria.	Se aplicaron tres instrumentos distintos.	Predominio de conceptos erróneos en estudiantes y profesores sobre los conceptos básicos de genética.	Se recomienda que los profesores utilicen más material didáctico para ayudar a los alumnos a abstraer información y generar explicaciones.
Ruiz, Banet y Banet, 2017	43 alumnos de bachillerato de España.	Cuestionario de 13 preguntas, algunas incluían imágenes.	Los estudiantes tienen conocimientos sobre genética antes de tener el primer contacto académico con ellos, algunas de estas ideas no se modifican.	Es necesario tomar en cuenta las concepciones que tienen los estudiantes, para que se pueda lograr un mejor aprendizaje.
Aivelo, y Uitto. 2021	421 encuestados de 10 escuelas, de 19 a 65 años.	Se aplicó un cuestionario previamente validado.	Predominio de determinismo genético cuando la enseñanza se centra en herencia mendeliana.	Se deben generar enfoques de enseñanza actualizados que puedan ayudar a los estudiantes a avanzar sobre estos errores conceptuales.

En la tabla 3.2 se incluyen 12 investigaciones de diversos países, en las cuales la población de estudio fue de nivel bachillerato y siete trabajos más con estudiantes de educación superior de carreras afines a las ciencias biológicas; el punto en común en todos estos trabajos es que los estudiantes no tienen una idea clara de los conceptos básicos de genética, persistiendo concepciones erróneas sobre un determinismo genético. Ante este panorama, es evidente que una de las mayores complejidades a la que se enfrentan los estudiantes para aprender acerca de los procesos hereditarios es establecer relaciones entre los diferentes conceptos y procesos genéticos.

En esta investigación, el análisis se centrará únicamente en los procesos de herencia genética, debido a que el tema de genética es muy amplio e incluye conceptos que no se incluyen en todos los programas de estudio de bachillerato como alteraciones genéticas o epigenética.

Analizar las representaciones en herencia genética y cómo las emplean para elaborar inferencias es relevante para comprender cómo pueden operar sobre ellas y posteriormente relacionarlas a conceptos más complejos (Perales, 2006).

Stewart y colaboradores (2005), mencionan que, para lograr una comprensión clara y completa de los procesos de herencia genética, los estudiantes deben realizar una conexión entre tres modelos conceptuales:

1. **El modelo genético**, referido a conocer los patrones de herencia y sus probabilidades de trasmisión, donde deben reconocer y articular representaciones sobre el material genético y los mecanismos de herencia de los genes. En este modelo, los alumnos deben ser capaces de explicar cómo es que una característica se expresa sobre otra, cuáles son las reglas implicadas, qué son los genes dominantes y recesivos, empleando en su mayoría representaciones en los niveles macroscópico y simbólico.
2. **El modelo meiótico**, concerniente a la formación de los gametos y cómo ocurre el proceso de recombinación genética, vinculándolo con los niveles

de genes y cromosomas; aquí los alumnos deben ser capaces de explicar por qué cada individuo es fenotípica y genotípicamente único, empleando representaciones en los niveles macroscópico y microscópico.

3. **El modelo molecular**, que implica conocer los mecanismos para la expresión génica, cómo es que una característica puede expresarse a partir de la información genética heredada por los progenitores, empleando representaciones macro, micro, moleculares y simbólicas.

Todd (2017) realizó un estudio que evidencia que los estudiantes de secundaria y universitarios presentan dificultades para integrar los modelos genético-meiótico y genético-molecular, incluso con apoyo educativo enfocado. El que los estudiantes puedan realizar conexiones entre esos tres modelos, implicaría que, a su vez, construyan modelos representacionales que les permitan establecer, a través de inferencias, tales conexiones en términos explicativos.

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA

En este capítulo se realiza la descripción de los componentes metodológicos utilizados para la recolección y el análisis de datos; en el apartado 4.1 se aborda la perspectiva metodológica que se encuentra relacionada con los referentes teóricos que sustentan esta investigación. En el apartado 4.2 se detallan los distintos componentes que permitieron la recolección y análisis de datos; se inicia por la descripción del contexto de las escuelas en las que se desarrolló el trabajo de campo, las características de los participantes que conforman la muestra, el diseño de la estrategia didáctica, el proceso de construcción y validación de los instrumentos de evaluación, el trabajo de campo, y la construcción de las categorías de análisis para los resultados obtenidos a partir de la aplicación de los instrumentos de recolección de datos (cuestionarios y entrevistas).

4.1 Perspectiva metodológica

Analizar las representaciones como herramientas epistémicas es un asunto complejo que requiere emplear diferentes marcos interpretativos que ayuden a comprender y analizar los resultados obtenidos. Por ello, en esta investigación la metodología a seguir es de corte mixto, cuasiexperimental; por un lado la perspectiva cuantitativa se utilizará para describir los resultados numéricos de los cuestionarios pretest y postest, y generar un análisis estadístico para identificar posibles patrones y correlaciones (Hernández, Fernández y Baptista, 2010) que ayuden a responder a interrogantes como: ¿Qué modelo conceptual de la herencia genética es más complejo de explicar por parte de los alumnos?, ¿qué representaciones son más frecuentes en las explicaciones de los alumnos?, ¿cómo relacionan los diferentes modelos que explican la herencia genética?, ¿los resultados coinciden con la revisión de la literatura?

La perspectiva cualitativa se empleará para analizar las representaciones de los estudiantes desde sus elementos constitutivos, con la finalidad de identificar si existe una relación entre estos (intención, representación, inferencia y regla de coordinación), y a partir de ello conocer el tipo de inferencias que los alumnos

explicitan, analizando si estas son cercanas a las ideas escolarizadas de la herencia genética. Este análisis se realizará desde una perspectiva interpretativa basada en la teoría fundamentada, que hace referencia a una metodología que permite desarrollar o ampliar una teoría existente derivada de datos recopilados de manera sis, en la que se requiere una continua interpretación entre el análisis de los datos (Strauss y Corbin, 2002), siendo las entrevistas una de las principales fuentes de análisis para generar categorías y encontrar posibles relaciones (Rodríguez, Gil y García, 1999). Para abordar el problema planteado y responder las preguntas de investigación, el presente trabajo utiliza el Modelo Inferencial-representacional (Suárez, 2004; Contessa, 2007; Knuuttila, 2011; Gallegos, Flores y Calderón, 2021) para determinar los modelos sobre herencia genética de una muestra de alumnos de bachillerato.

4.2 Componentes metodológicos

4.2.1 Escuelas participantes

La intervención se realizó en dos Escuelas Preparatorias Oficiales del Estado de México (EPO); las escuelas de este subsistema fueron creadas en 1982, y surgen como preparatorias dependientes del subsistema educativo estatal (Pérez, 2002), son de carácter público en su modalidad de Bachillerato General y siguen los programas de estudio de la Dirección General de Bachillerato (2018).

La planta docente se caracteriza por tener profesores que imparten asignaturas distintas a su campo formativo; por ejemplo, un Químico, un Físico o un Matemático se encargan de impartir las asignaturas de Biología, Física y Ecología. Sin embargo, desde el 2014 se ha procurado que los perfiles sean más estrictos, por lo que se han integrado profesores que ingresan por concurso de oposición abierto, donde uno de los requisitos es que solo pueden aplicar para impartir asignaturas propias de su campo formativo, lo cual aún es muy ambiguo ya que un Ingeniero Agrónomo o un Licenciado en Veterinaria y Zootecnia pueden impartir asignaturas como Biología, Ecología y Geografía.

Las escuelas donde se realizó el trabajo de campo son:

- La **Escuela Preparatoria Oficial Número 314** CCT (Clave del Centro de Trabajo) del turno matutino 15EBH0511P, CCT del turno vespertino 15EBH0512O, la cual se localiza en el municipio de Ecatepec de Morelos, Estado de México. Es relevante destacar que el municipio de Ecatepec de Morelos es la entidad más poblada del Estado de México y la segunda con mayor cantidad de habitantes en el país. De acuerdo con los últimos datos del INEGI (2023) es considerado uno de los municipios más violentos y peligrosos del país, y mantiene alerta por violencia de género desde 2015 (Ayuntamiento de Ecatepec, 2021), además de que es uno de los municipios que presenta los mayores índices de pobreza y analfabetismo a nivel nacional (CIEPS, 2022).

- La **Escuela Preparatoria Anexa a la Normal de Chalco** CCT del turno matutino 15EBP0007Q, CCT del turno vespertino 15EBP0041X. Se localiza en el municipio de Chalco, Estado de México. El municipio de Chalco presenta una de las mayores tasas de crecimiento poblacional a nivel nacional y es considerado uno de los más violentos y peligrosos del país, mantiene alerta por violencia de género, y presenta altos índices de pobreza a nivel nacional (CIEPS, 2022).

Las condiciones contextuales de ambas escuelas son muy similares, la principal diferencia radica en que la EPO 314 es una escuela de reciente creación y es de baja demanda, por lo que cada ciclo escolar tiene problemas para completar y mantener su matrícula, el puntaje que un alumno requiere para ser aceptado a través del examen COMIPEMS es de 27 aciertos, con un promedio de ingreso de 50 aciertos, además de que gran parte de la población escolar corresponde a alumnos que no la seleccionaron como primera opción para estudiar el bachillerato, y tiene un promedio de 35 a 40 alumnos por grupo. Por su parte, la escuela Anexa a la Normal de Chalco es una escuela de alta demanda donde se solicitan 77 aciertos como mínimo para poder ingresar, con un promedio de

ingreso de 85 aciertos, y los grupos están conformados en promedio de 50 a 55 alumnos.

4.2.1 Muestra de la investigación

La muestra total está conformada por 172 alumnos y seis docentes, distribuidos de la siguiente manera:

- El primer bloque lo integran seis docentes, cuatro de la EPO 314 y dos de la preparatoria anexa a la Normal de Chalco; así como 47 alumnos que cursaban el tercer semestre en la EPO 314, y que hasta el momento no habían visto ningún tema relacionado a la herencia genética, solo habían tomado dos semanas de clases y apenas comenzaban a ver el tema de bioelementos. Todos ellos participaron en la etapa de validación del instrumento, resolviendo el cuestionario que serviría como pretest y postest.
- El segundo bloque corresponde a los participantes de la aplicación y colecta final de datos para el análisis, conformado por 125 alumnos que cursaban la asignatura de Biología I en el tercer semestre quienes no habían revisado aún el tema de herencia genética dentro de su programa de estudios, solo los temas de bioelementos, biomoléculas, células y metabolismo celular. De la EPO 314 participaron dos profesores, cada uno con un grupo, el primero, caracterizado como 3ro1, con 26 alumnos, y el segundo, caracterizado como 3ro2, con 34 alumnos. En la preparatoria anexa a la Normal de Chalco, participó un profesor con dos grupos a su cargo, los cuales se caracterizaron como 3ro3 con 33 alumnos y el 3ro4 con 32 alumnos. Los profesores titulares de los grupos implementaron una secuencia didáctica que fue diseñada exprofeso, la cual les fue entregada dos semanas antes de iniciar las clases del tema de herencia genética. La secuencia está basada en el uso de las múltiples representaciones, y se realizó el seguimiento de su implementación por siete semanas.
- De los 125 alumnos, se tomó una submuestra de 35 alumnos para la aplicación de entrevistas semiestructuradas después de que resolvieron el postest, el criterio de selección fue el siguiente: alumnos con un porcentaje

de asistencia a clases y cumplimiento de actividades en clase del 90% y participación voluntaria. Participaron siete alumnos del grupo 3ro1, 22 alumnos del grupo 3ro 2 y seis alumnos del grupo 3ro3. Del grupo 3ro4 nadie pudo participar debido a que se presentó el periodo de vacaciones y no hubo forma de tener contacto con los alumnos. La distribución de la muestra de alumnos se presenta en la Tabla 4.1

Tabla 4.1. *Distribución de alumnos que conforman la muestra de estudio.*

		Escuela Preparatoria Oficial 314			
		Sexo	**N**	**Rango de edad**	**Grupo**
Muestra validación de instrumento	**Alumnos**	Mujeres	24	17-18	3ro4
		Hombres	23	17-18	3ro4
	Docentes	Mujeres	2	37	No aplica
		Hombres	2	35	No aplica
Muestra de aplicación	**Alumnos**	Mujeres	12	17-18	3ro1
		Hombres	14	17-19	3ro1
		Mujeres	22	17-18	3ro2
		Hombres	12	17-19	3ro2
	Submuestra de alumnos para entrevistas	Mujeres	3	17	3ro1
		Hombres	4	17-19	3ro1
		Mujeres	15	17-19	3ro2
		Hombres	7	17-19	3ro2
		Escuela Preparatoria Anexa a la Normal de Chalco			
		Sexo	**N**	**Rango de edad**	**Grupo**
Muestra validación de instrumento	**Docentes**	Hombres	2	32	No aplica
Muestra de aplicación	**Alumnos**	Mujeres	26	17-18	3ro3
		Hombres	7	17-18	3ro3
		Mujeres	19	17-18	3ro4
		Hombres	13	17-18	3ro4
	Submuestra de alumnos para entrevistas	Mujeres	5	17-18	3ro3
		Hombres	1	17-18	3ro3

Cabe mencionar que tres de los profesores que forman parte de la muestra piloto para la validación del instrumento pretest y postest son los profesores titulares de los grupos de alumnos participantes. El criterio de selección de los profesores fue el siguiente: Biólogos, con un mínimo de cinco años de experiencia docente, con maestría en área educativa, participación voluntaria y con disposición a implementar en la medida de lo posible, la secuencia didáctica diseñada para esta investigación.

Para tener acceso a los alumnos que conforman la muestra de estudio, primero se contactó a los profesores y autoridades de las escuelas seleccionadas, a quienes se les informó sobre los objetivos y alcances de esta investigación, una vez que accedieron a participar de manera voluntaria se habló con los alumnos de los diferentes grupos para informarles sobre su participación en este estudio y firmaron una carta de consentimiento informado. Hubo alumnos que participaron en el estudio, pero no se incluyeron en la muestra debido a que no autorizaron su participación, no cubrieron el porcentaje mínimo de asistencia (90%), no realizaron las actividades, o bien, los datos recolectados de sus cuestionarios o entrevistas no brindaron la información necesaria para generar el análisis planteado.

4.2.2 Diseño de la estrategia didáctica

Los programas de estudios de las EPO tienen sus antecedentes en los planes de estudio del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH), por lo que retoman sus objetivos y estructura curricular general, sin incluir las asignaturas ni la metodología (Pérez, 2002).

Actualmente, los programas vigentes en las EPO fueron diseñados por la Dirección General de Bachillerato (DGB, 2018), y están basados en el enfoque por competencias, donde se prioriza el desarrollo de aprendizajes clave, cuyo propósito principal es formar ciudadanos con una cultura general básica que les permita comprender los aspectos de la ciencia para la participación social y democrática a partir de la toma decisiones informadas (DGB, 2018).

Con respecto a las asignaturas de Biología I y Biología II, éstas forman parte de las materias curriculares del componente básico que se imparte en tercero y cuarto semestre, respectivamente; en estas asignaturas se encuentran distribuidos los diferentes temas que permiten lograr una comprensión integral de los procesos de herencia y expresión genética, que incluyen el modelo meiótico, los patrones de herencia y los mecanismos moleculares de expresión (Stewart, Cartier y Passmore; 2005); en la tabla 4.2 se muestra la distribución de dichos temas.

Tabla 4.2. *Distribución de temas necesarios para comprender los procesos de herencia y expresión genética.*

Biología I	**Biología II**
Bloque IV. Genética molecular y biotecnología • Estructura del ADN y ARN: replicación, transcripción, traducción (síntesis de proteínas), código genético.	Bloque III. Herencia genética • Características hereditarias: fenotipo, genotipo, homocigoto, heterocigoto, dominante, recesivo, alelo, locus11º. • Leyes de Mendel • Herencia Post-mendeliana: codominancia, dominancia intermedia, alelos múltiples, herencia ligada al sexo.
Bloque V. Reproducción celular • Meiosis, división celular relacionada con la reproducción sexual • Diferenciación celular	

A partir de esto, se generó una secuencia didáctica que permitiera abordar todos los temas de la tabla 4.2 en un mismo periodo escolar (tercer semestre), con la finalidad de evitar en lo posible la pérdida de datos; por ejemplo, alumnos que no se reinscriben a 4to semestre, alumnos que cambian de centro educativo o estudiantes que, por distintas situaciones, se incorporan tardíamente a sus clases.

Para lograr lo descrito anteriormente, se realizaron ajustes en el programa de Biología I, omitiendo algunos temas como fotosíntesis y respiración celular (los cuales serían retomados en cuarto semestre), considerando temas que incluyen los conceptos mínimos y necesarios que los alumnos deben conocer antes de abordar lo relacionado a la herencia genética, como lo son teoría celular y biomoléculas. En la tabla 4.3. se muestra la estructura general de la organización

de los temas que se abordaron antes de aplicar la secuencia didáctica, así como aquellos que la integraron.

Tabla 4.3. *Programa ajustado de Biología I.*

Programa ajustado de Biología I abordado en el 3er semestre				
Bloque I Biología como ciencia de la vida	Biología II Componentes químicos de los seres vivos	Bloque III La célula y su metabolismo	Bloque IV Genética molecular y biotecnología	Bloque V Reproducción celular
• Características de la ciencia y método científico • Niveles de organización de la materia viva • Características de los seres vivos	• Bioelementos • Biomoléculas: Agua, Carbohidratos lípidos y proteínas • Ácidos nucleicos (ADN, ARN)	•Teoría celular •Tipos de células •Estructura y función de organelos celulares	•Estructura del ADN y ARN •Replicación, transcripción y traducción (síntesis de proteínas)	• Ciclo celular, mitosis • Meiosis y reproducción celular • Diferenciación celular • Características hereditarias • Leyes de Mendel • Herencia Post-mendeliana

La secuencia didáctica se diseñó considerando el uso de múltiples representaciones externas con la intención de favorecer el aprendizaje de los alumnos a partir de su uso como elementos que permiten generar razonamientos e inferencias. Se utilizaron diferentes tipos de representaciones de acuerdo con la clarificación propuesta por Lemke (1998) y Tsui (2003) en relación con la función que cada una de estas tiene, retomando la propuesta de Ainsworth (2007). Se hizo énfasis en incluir actividades que le permitieran al alumno desarrollar los tres modelos conceptuales (genético, molecular y meiótico) y que pudieran establecer una relación entre estos.

Para los temas del Bloque IV, que corresponden al proceso de síntesis de proteínas, se utilizaron nueve recursos representacionales que se describen en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. *Recursos representacionales utilizados para abordar el Bloque IV.*

Representación	Objetivo	Función	Sugerencia de uso
Lectura: “Los brujos blancos de África” Verbal-textual	Explicitar representaciones sobre cómo se expresa y hereda el albinismo	Construcción-abstracción	Discutir sobre la lectura y resolución de preguntas
Animación: Componentes ADN Visual-gráfico	Analizar la estructura del ADN como una molécula	Restricción por propiedades inherentes	Analizar los componentes del ADN
Lectura-imagen: ADN y ARN Verbal-textual Visual-gráfico	Comparar las estructuras moleculares del ADN y ARN y establecer una diferencia funcional	Restricción por familiaridad Comprensión relacional	Análisis comparativo del ADN y ARN, y generar una explicación sobre sus funciones
Modelo: Formando una cadena de ADN Accional-Operacional	Conocer distintas formas de representar el ADN utilizando códigos (ATGC) y estructuras moleculares	Procesos complementarios	Elaborar un modelo en 3D, de la cadena del ADN
Lectura-imagen: Anatomía de un gen Verbal-textual-visual	Comprender la estructura y función del gen, centrado en sus componentes	Información complementaria Comprensión	Analizar la estructura del gen, explicar ¿Relación con el ADN?
Conceptos-imágenes: Glosario genético Verbal-textual Visual-gráfico	Identificar la estructura y comprender la función de los conceptos involucrados en los procesos de herencia y expresión	Procesos complementarios	Construir un glosario ilustrado que incluya la función de los conceptos de los procesos genéticos
Video: Síntesis de proteínas Verbal-textual Visual-gráfico	Comprender cuál es la función del proceso de síntesis de proteínas	Construcción por abstracción	Analizar un video sobre síntesis de proteínas y elaborar un esquema explicativo del proceso
Animación síntesis de proteínas y genes Visual-gráfico	Comprender cuál es la función del proceso de síntesis de proteínas	Procesos complementarios	Uso de la animación para reestructurar su esquema explicativo anterior
Modelo: Formando el OCA2 Accional-Operacional	Generar un modelo explicativo sintético del proceso de síntesis de proteínas	Construcción por abstracción	Construcción de un modelo explicativo en 3D del proceso de síntesis de proteínas

En el caso del Bloque V, para los temas de ciclo celular, mitosis y meiosis se utilizaron siete recursos representacionales que se describen en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. *Recursos representacionales utilizados para abordar el Bloque V referido a la reproducción celular.*

Representación	Objetivo	Función	Sugerencia de uso
Lectura "Mellizos bicolores" Verbal-textual	Explicitar representaciones sobre cómo se expresa y hereda el fenotipo	Construcción-abstracción	Discusión sobre la lectura y resolución de preguntas
Animación del ciclo celular Visual-Gráfico	Reconocer la importancia del ciclo celular, identificando sus etapas	Restricción por propiedades inherentes	Utilizar preguntas guía y generación de representación del ciclo
Video del ciclo celular Visual-Gráfico Simbólico	Identificar qué ocurre con el material genético en cada una de las etapas del ciclo celular	Restricción por familiaridad	Esquema explicativo sobre la diferencia entre células somáticas y las células sexuales
Lectura "Genoma" Visual-Gráfico Simbólico	Reconocer cómo se organiza el genoma en las células	Restricción por familiaridad	Representar en un esquema cómo se organiza el genoma
Lectura "Mitosis" y lectura "Meiosis" Visual-Gráfico Simbólico	Identificar la diferencia entre los procesos de meiosis y mitosis	Restricción por familiaridad	Generar un organizador gráfico comparativo entre ambos procesos
Video meiosis Visual-Gráfico Simbólico	Comprender cómo es que ocurre la variabilidad genética	Construcción-abstracción	Construir un modelo explicativo del proceso *crossing over*
Esquemas de tipos de fecundación Visual-Gráfico Simbólico	Explicar a partir de los esquemas de tipos de fecundación, el caso de los "mellizos bicolores"	Construcción por extensión y comprensión relacional	Utilizar un esquema para generar un modelo explicativo para el caso inicial

Para los temas de mecanismos hereditarios, que también corresponden al Bloque V, se utilizaron un total de seis recursos, los cuales se describen en la tabla 4.6.

Tabla 4.6. *Recursos representacionales utilizados para el Bloque V referido a los mecanismos hereditarios.*

Representación	Objetivo	Función	Sugerencia de uso
Imágenes de niveles de organización Visual-Gráfico Simbólico	Establecer una organización jerárquica de los niveles de complejidad de la materia viva	Construcción-abstracción	Ordenar las imágenes y responder preguntas guía donde se justifique la organización
Página electrónica Leyes de Mendel Textual Visual-Gráfico Simbólico	Conocer las leyes de Mendel a través de un fenotipo humano, y con relación a los conceptos de genética moderna	Restricción por familiaridad	Generar esquemas de las leyes de Mendel utilizando símbolos como cromosomas
Ejercicios de Leyes de Mendel Textual, Visual-Gráfico, Simbólico	Analizar cada caso y determinar qué ley de Mendel se aplica	Procesos complementarios	Utilizar un esquema explicativo por medio de gametos, cromosomas y alelos para cada caso
Lectura y esquemas de codominancia y Herencia intermedia Textual, Visual-Gráfico, Simbólico	Establecer diferencias, similitudes y particularidades entre los distintos mecanismos de herencia	Procesos complementarios	Los alumnos generan esquemas de los mecanismos por codominancia y herencia intermedia
Ejercicios de codominancia y herencia intermedia Textual, Visual-Gráfico Simbólico	Analizar cada caso y determinar qué ley de Mendel se aplica	Procesos complementarios	Utilizar un esquema explicativo por medio de gametos, cromosomas y alelos para cada caso
Lectura Alelos múltiples, herencia ligada al sexo y ejercicios. Textual, Visual-Gráfico, Simbólico	Establecer diferencias, similitudes y particularidades entre los mecanismos de herencia	Procesos complementarios	Los alumnos generan esquemas de los mecanismos por alelos múltiples y herencia ligada al sexo

4.2.3 Diseño y validación de instrumentos

Para analizar las representaciones de los estudiantes desde sus elementos constitutivos, y así determinar si se emplean como herramientas epistémicas, se diseñó un instrumento que les permitiera explicitar, a través de distintos formatos representacionales como textos, dibujos, esquemas y símbolos, sus inferencias sobre distintos aspectos de la herencia genética, abarcando los tres modelos conceptuales (genético, meiótico y molecular) necesarios para lograr una comprensión integral.

Los ítems fueron estructurados considerando la Integración de Conocimiento (Lee, Liu y Linn, 2011) y lo reportado por Flores, García, Báez y Gallegos (2017) donde se realiza una descripción detallada del proceso de diseño y validación de un instrumento que permite analizar las representaciones externas de los estudiantes. Se generaron ítems que permitieran distintos niveles de explicación sobre un mismo tema, para que sus respuestas y argumentos pudieran tener continuidad y con ello poder analizar el modelo que se encuentra implícito en sus explicaciones. Atendiendo a estos aspectos el cuestionario diseñado, que fue utilizado como pretest y postest, cuenta con la siguiente estructura:

1. Ítems que atienden a conocimientos que han sido analizados a lo largo de las trayectorias escolares de los alumnos, es decir, que atraviesan diversos programas curriculares y ciclos escolares, y que además forman parte de sus experiencias extraescolares, para que sea posible generar explicaciones no solo con los conocimientos formales, sino también con evidencia empírica y su bagaje conceptual. En este caso, el tema de genética cumple con este criterio ya que es un tema que se aborda desde la educación básica hasta la media superior.
2. Presenta situaciones cotidianas fácilmente interpretables por los estudiantes, con la intención de permitir que se apoyen en representaciones de su entorno para explicar los fenómenos que se les presentan. El caso de la herencia genética es un tema que forma parte de la cotidianeidad de las personas, por ejemplo, cuando se establecen

relaciones de parentesco con aspectos perceptibles como un lunar o el color de los ojos.

3. Incluye preguntas que permiten generar explicaciones a través de diferentes tipos de representaciones, como las escritas, gráficas y simbólicas. Este criterio se cumple en el tema de genética cuando se solicita una explicación de lazos de parentesco a través de diferentes medios como árboles genealógicos y cuadros de Punnett, empleando el nivel simbólico y el gráfico.
4. Posibilita un proceso de reestructuración de explicaciones a lo largo del instrumento, realizando diversos planteamientos que atiendan un mismo fenómeno, con distintos niveles de complejidad de respuesta. Para el caso de la herencia genética, es importante analizar si sus representaciones se encuentran articuladas en algún modelo conceptual y entre modelos conceptuales; por ejemplo, que en un primer momento representen la información genética dentro de una célula, y posteriormente a través de cuadros de Punnett expliquen cómo dicha representación se relaciona con la expresión de las características.
5. No emplea ítems de opción múltiple, o preguntas que puedan ser respondidas de manera memorística, ya que esto no ayudaría a reconocer sus inferencias sobre el fenómeno.

Para ejemplificar la estructura del instrumento descrita, se puede analizar la figura 4.1 donde se muestran algunos de los ítems que incluye. Se aprecia que en el ítem 6 se realiza un planteamiento sobre la característica de enrollar la lengua, situación que es cercana a la experiencia de los alumnos pues ellos pueden inmediatamente intentar realizar dicho movimiento y forma parte de su contexto cotidiano, mientras que dentro del ámbito escolarizado hace referencia a una característica que cumple con el mecanismo de herencia por dominancia y recesividad. Una vez hecho el planteamiento, se les solicita la generación de un esquema explicativo que pueden responder utilizando representaciones de su entorno, por ejemplo, probando si ellos pueden o no enrollar la lengua, observando a sus compañeros o recordando su contexto familiar. Posteriormente,

el ítem 7 parte del planteamiento anterior, esta vez cambiando el nivel de complejidad, ya que se solicita explícitamente la elaboración de dibujos y representaciones simbólicas del material genético que se encuentra en distintos tipos celulares, en relación con el material genético como ADN, genes, alelos, cromosomas, con la intención de que puedan establecer relaciones de dominancia y recesividad.

Figura 4.1. *Ejemplo de estructura de los ítems que presenta el cuestionario.*

6.- Enrollar la lengua se trata de una característica dominante, mientras que no poder enrollarla es recesiva. Ulises es un chico que no puede enrollar la lengua, mientras que su madre, padre y hermano sí pueden enrollarla. De acuerdo con los fenotipos descritos, indica cuáles serían los **posibles genotipos de los padres** y realiza un esquema con las posibles combinaciones que explican por qué Ulises no puede enrollar la lengua mientras que su hermano sí:

7.- **Dibuja** cómo se encuentra el genotipo de los padres de Ulises dentro de las células indicadas.

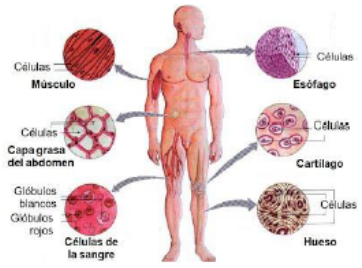
Mamá de o Papá de Ulises		Ulises	
Célula somática	Célula sexual	Célula somática	Espermatozoide

8.- Pensando únicamente en las **células somáticas**, ¿hay diferencia **en la información genética** que tiene cada una de estas células? (por ejemplo, si comparamos las que forman tus ojos con las que forman tu corazón) _____

Para que sea más claro, identifica en el esquema el núcleo de los diferentes tipos celulares y responde:

Si consideras que hay NO hay diferencia, ¿cómo explicas que cada tipo celular tenga diferentes funciones? _____

_____



Nota. Los ítems planteados consideran tanto la elaboración de esquemas, dibujos, símbolos y explicaciones considerando la Integración del conocimiento.

Otro ejemplo es el ítem 8, también presentado en la figura 4.1, que incluye un esquema referido a los diferentes tipos celulares que conforman a una persona, con la finalidad de que los alumnos puedan utilizarlo de apoyo para visualizar

dichas diferencias morfológicas entre las células y, a partir de ello, puedan generar explicaciones en formato representacional textual sobre el proceso de especialización celular. Si bien, en este ítem los alumnos pueden responder una parte con sí o no, deben dar una justificación, permitiendo así conocer la inferencia que generan al respecto.

Los aspectos conceptuales y de representación que cada ítem abordó se muestran en la tabla 4.7, donde puede notarse que, de manera general, su resolución implicaba la integración de los diferentes temas que se abordaron en la secuencia didáctica diseñada.

Tabla 4.7. *Estructura de los ítems del cuestionario.*

Ítem	Estructura de los ítems	Tipo de representación
1	Se solicita la elaboración de representaciones de cómo se y organiza la información genética en una célula somática.	Simbólica-gráfica
2	Se solicita la elaboración de representaciones de cómo se encuentra la información genética que los gametos heredan.	Simbólica-gráfica-textual
3	Se solicita que represente cómo la información genética que está presente en las células se exprese en una característica.	Simbólica-gráfica
4	El ítem demanda una explicación escrita sobre el proceso de variabilidad genética que hace a cada persona única fenotípica y genotípicamente.	Textual
5	Se solicita completar una tabla donde se establecen las diferencias entre células somáticas y sexuales en cuanto a su función e información genética.	Textual
6	El alumno debe realizar un esquema explicativo de la herencia y expresión para el rasgo de enrollar la lengua.	Simbólica-gráfica
7	Se solicita que establezca una relación entre genotipo y fenotipo para el rasgo de enrollar la lengua, representándolo en células somáticas y sexuales.	Simbólica-gráfica
8	Se indaga por medio de respuesta escrita cómo interpretan el concepto de diferenciación celular.	Textual
9	La pregunta solicita una explicación escrita sobre la función de las proteínas y su relación con la información genética.	Textual
10	Solicita una explicación sobre cómo se expresa un rasgo.	Textual

Ítem	Estructura de los ítems	Tipo de representación
11	Este ítem indaga a partir de una respuesta escrita y mediante la elaboración de un esquema, cómo se expresa el fenotipo en relación con las proteínas y la información genética.	Simbólica-gráfica
12, 13 y 14	Estos ítems buscan que los estudiantes reconozcan en distintos genotipos y fenotipos, los mecanismos de herencia y expresión implicados, como la herencia intermedia, alelos múltiples y herencia ligada al sexo.	Simbólica-gráfica-textual
15, 16, 17	Estos ítems solicitan una explicación escrita y gráfica sobre cómo es que se presentan enfermedades genéticas como el síndrome de Down.	Simbólica-gráfica-textual
18	Este ítem solicita una explicación escrita sobre la variabilidad genética a través del proceso de meiosis.	Textual
19	Este ítem solicita una explicación gráfica sobre la variabilidad genética a través del proceso de meiosis.	Simbólica-gráfica

Una vez diseñado el instrumento, fue sometido a pruebas de validación para garantizar su confiabilidad, por lo que fue aplicado a tres profesores que imparten la asignatura de Biología en las Escuelas Preparatorias Oficiales del Estado de México. Los resultados de esta aplicación permitieron identificar qué preguntas tenían problemas de redacción, eran confusas, o no arrojaban las respuestas esperadas, por lo cual se realizaron los ajustes necesarios y se generó la segunda versión del instrumento.

La segunda versión fue revisada por tres profesores distintos a los primeros, los cuales también imparten la asignatura de Biología y pertenecen al mismo subsistema, además de siete alumnos de 3er semestre, quienes aún no abordaban de forma escolarizada los temas de herencia genética. Las respuestas fueron analizadas en cuanto a suficiencia, inteligibilidad, plausibilidad, tiempo de respuesta y completitud. Los resultados indicaron que las preguntas eran comprendidas de manera clara, pues las respuestas que de ellas derivaban pueden analizarse en términos de lo que se espera tanto en el modelo inferencial-representacional, como de comprensión de los conceptos biológicos, por lo que

esta versión del cuestionario se consideró como el instrumento definitivo para hacer la validación.

La versión final del instrumento está conformada por 19 ítems, en los cuales se incluyen descripciones y esquemas, además de que se solicitan respuestas escritas, gráficas y simbólicas. Esta versión se aplicó a 40 alumnos de 3er semestre de bachillerato quienes aún no abordaban de forma escolarizada los temas de herencia genética y no formarían parte de la muestra final. A las respuestas de estos alumnos se les asignaron valores numéricos, lo que permitió contar con datos para realizar las pruebas estadísticas para validar la consistencia interna de los ítems y obtener validación con el Crédito Parcial de Rasch.

Para garantizar que la asignación de los valores a las respuestas fuera consistente y con criterios uniformes, se construyó una rúbrica para cada ítem del instrumento, la cual está basada en la propuesta de Wilson (2005) respecto a los niveles de integración del conocimiento, y los niveles representacionales de Kozma y Russell (2005), la cual se muestra en la tabla 4.8.

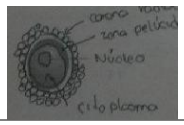
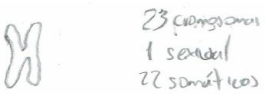
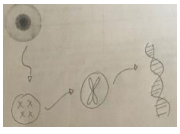
Tabla 4.8. *Criterios para la elaboración de Rúbricas.*

Niveles	Valor y características de las respuestas a los ítems
No hay información	Valor 0. No hay respuesta al ítem.
Irrelevante	Valor 1. Incluye representaciones irrelevantes al contexto, o su respuesta es redundante con respecto a la pregunta, no incluye explicaciones de lo representado.
No hay vínculos	Valor 2. Sus representaciones no son precisas o relacionadas, a pesar de que puede utilizar algún tipo de representación cercana a la pregunta, ya sea de carácter simbólico o gráfico.
Vínculos parciales	Valor 3. Explicita representaciones relevantes al contexto de la pregunta, pero no elabora adecuadamente vínculos entre ellas, utiliza lenguaje o símbolos formales que dan respuesta parcial a la pregunta.
Vínculos totales	Valor 4. Explicita al menos representaciones e ideas relevantes al contexto de la pregunta, y elabora un vínculo válido entre ellas, por medio de explicaciones claras.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.9 se muestra un ejemplo de la construcción de la rúbrica aplicando los criterios descritos. El ejemplo es sobre el ítem 3 en el cual se solicita al alumno realizar un dibujo donde represente la información genética que se encuentra en el núcleo de un óvulo y explique cuál es la función de esa información.

Tabla 4.9. *Ejemplo de aplicación de la rúbrica para asignación de valores.*

Valor	Respuesta del alumno	Descripción del nivel
1	"Es una célula que se encuentra en las mujeres, y en el núcleo se encuentra la información genética". 	La representación gráfica solo hace referencia a las características de la célula en cuanto a sus propias estructuras. Su explicación escrita se centra en la función del óvulo como una célula reproductiva o de algunas de sus estructuras.
2	"Dentro del núcleo se encuentra el material genético, en donde se encuentra la información de las características y constitución de un ser vivo".	En su representación reconoce la existencia de un núcleo que es donde se encuentra la información genética, la cual representa como cromatina. Su explicación escrita se centra en la función del óvulo como una célula que transporta o contiene información genética necesaria para la formación de un nuevo individuo, sin establecer un vínculo con su función.
3	"Tiene un juego de información genética, 23 cromosomas, 1 sexual y 22 somáticos, su función es unirse y formar un nuevo individuo con caracteres nuevos". 	Representa al menos una de las estructuras en que se organiza la información genética que se encuentra la célula, estableciendo alguna relación entre esta y su función en la célula. Su explicación se centra en la caracterización de la información genética y la relación con su función.
4	"Los óvulos llevan cromosomas que están formados de ADN, esto para que se unan en la fecundación a los espermatozoides y se combinen y formen al nuevo  organismo, que va a tener su propio ADN".	Representa al menos una estructura en que se organiza la información genética, estableciendo alguna relación entre esta y su función. Su explicación se centra en la información genética necesaria para la formación de un nuevo individuo y formar su genotipo.

Con las respuestas dadas por estos alumnos al cuestionario, se generó una base de datos que se utilizó para aplicar dos pruebas estadísticas: la prueba de consistencia interna, para lo cual obtuvo el Alpha de Cronbach (Cohen, y Swerdlick, 2001), que es una medida de la confiabilidad o consistencia interna de un instrumento, y la prueba Modelo de Crédito Parcial de Rasch que determina el alineamiento entre los ítems, conociendo su nivel de complejidad y si esto responde a los objetivos planteados.

Con respecto a la consistencia interna, los datos se procesaron en el programa SPSS *Statistics*, obteniendo un valor de *Alpha de Cronbach* de 0.863, lo que indica una correlación adecuada y buena (Quero, 2010). En cuanto a la alineación de los ítems, se realizó el análisis a partir del Modelo de Crédito Parcial de *Rasch* que correlaciona las habilidades de los sustentantes y las dificultades de los reactivos (González, 2008). La calibración de la muestra utilizada tiene un margen de error de ± 1 logit. En la tabla 4.10 se muestran los ítems, organizados por nivel de dificultad a partir del análisis del Modelo de Crédito Parcial de *Rasch*.

Tabla 4.10. *organización de los ítems por nivel de dificultad de acuerdo el Modelo de Crédito Parcial de Rasch.*

Modelo de crédito parcial de Rasch			
Ítem	**Dificultad**	**Ítem**	**Dificultad**
19	0.83	**7**	0.55
18	0.72	**2**	0.054
17	0.68	**14**	-0.04
3	0.66	**9**	-0.12
16	0.64	**1**	-0.22
5	0.64	**12**	-0.56
6	0.64	**13**	-0.61
15	0.55	**4**	-0.70
11	0.55	**8**	-0.87
10	0.55		

En dicha tabla se aprecia que el rango en la dificultad de los reactivos va de -0.87 a 0.83, donde once de los reactivos están por arriba de la dificultad media (0.05) y los siete restantes por debajo de ella, por lo que se observa que el grado de complejidad entre las preguntas del cuestionario va incrementándose discretamente entre ellas, y no hay alguno que muestre asimetría o se dispare del rango (± 1). Por ejemplo, el ítem más fácil de responder fue el reactivo 8 (-0.87), donde los alumnos se apoyan en un esquema para generar una explicación escrita referida a la especialización celular; mientras que el ítem 19 obtuvo el mayor nivel de dificultad (0.83) donde los estudiantes deben generar su propio esquema explicativo sobre la variabilidad genética a través del proceso de meiosis.

Los datos obtenidos permitieron determinar que se generó un instrumento confiable para iniciar con el proceso de recolección de datos y realizar los análisis requeridos para cumplir con los objetivos de esta investigación.

4.2.4 Proceso de recolección de datos

El proceso de recolección de datos inició con la aplicación del instrumento pretest una semana antes de que los alumnos de la muestra comenzaran a ver los temas programados en la secuencia didáctica, los datos obtenidos se transcribieron en formato digital para facilitar su análisis.

El siguiente paso fue proporcionar a todos los alumnos y profesores, un cuadernillo de trabajo con las lecturas, imágenes, páginas electrónicas, esquemas, diagramas, ejercicios, preguntas y actividades contempladas en la secuencia didáctica, lo que dio inicio a las observaciones de clase en los distintos grupos en los que los profesores participantes implementaron la secuencia didáctica, la cual se trabajó a lo largo de catorce sesiones de dos horas para completar los bloques del temario y las actividades programadas, de tal forma que en cada grupo el periodo de aplicación fue de siete semanas. Es importante señalar que antes de cada sesión se revisó con los profesores el trabajo programado y en algunos casos se proporcionó el apoyo necesario en cuanto a la proyección de recursos

como animaciones, videos o impresión de hojas de trabajo, con la finalidad de que todos los estudiantes y profesores tuvieran la oportunidad de utilizar los recursos de la misma forma.

Las observaciones se registraron en una bitácora donde se describieron las actividades que realizaron profesores y alumnos, si el desarrollo de estas estuvo apegado a la propuesta diseñada, cuáles fueron las preguntas y discusiones generadas, y si se abordaron todos los temas programados, con la intención de registrar posibles diferencias significativas en los distintos grupos participantes, lo que se reporta en la tabla 4.11.

Tabla 4.11. *Observaciones relevantes en el desarrollo de la secuencia didáctica a cargo de los distintos profesores titulares.*

Docente 1 **Grupo 3ro1 EPO 314**	**Docente 2** **Grupo 3ro2 EPO 314**	**Docente 3** **Grupo 3ro3 y 3ro4 EPO Anexa a la normal**
Alumnos participantes: 26 -Explicaciones del profesor, con el uso de la mayoría de los apoyos representacionales propuestos en la secuencia; sin embargo, se omitió el uso de dos animaciones para el tema de síntesis de proteínas, las cuales fueron sustituidas por explicaciones verbales. -Uso de cuadernillo como guía para el desarrollo de los temas. -Resolución de los todos los cuestionarios, ejercicios y actividades propuestas. -No se completó la secuencia, ya que el tema de herencia post mendeliana no se trató.	Alumnos participantes: 34 -Explicaciones del profesor, con el uso de todos los apoyos representacionales propuestos en la secuencia. -Uso de cuadernillo como guía para el desarrollo de los temas. -Resolución de todos los cuestionarios, ejercicios y actividades propuestas. -Se completó la secuencia didáctica.	Alumnos participantes: 65 -Explicaciones del profesor, con el uso de la mayoría de los apoyos representacionales propuestos en la secuencia, omitiendo el uso de una animación del proceso de síntesis de proteínas que fue sustituida por imágenes digitales. -Uso de cuadernillo como guía para el desarrollo de los temas. -Resolución de los cuestionarios, ejercicios y actividades propuestas. -No se completó la secuencia, pues no se abordaron algunos de los mecanismos del tema de herencia post mendeliana.

Como puede notarse, no todos los profesores utilizaron al 100% los recursos representacionales y actividades propuestas en la secuencia didáctica, esto por distintas circunstancias, como falta de recursos digitales por parte de los alumnos, asuetos académicos no previstos, reuniones colegiadas docentes o uso de mayor tiempo de algunos alumnos para realizar las actividades programadas; en consecuencia, se realizaron algunos ajustes en el análisis de los temas, para tratar de reducir los posibles sesgos de este estudio, eliminando el análisis de los ítems referidos a los mecanismos de herencia post mendelianos.

Con respecto al cuestionario postest, se aplicó una semana después de que los estudiantes concluyeron los temas con su respectivo profesor(a), esto con el propósito de que no lo vieran como parte de su evaluación sumativa dentro de la asignatura, y tratar de disminuir la recuperación de conceptos memorísticos; de igual forma que con el pretest, los datos obtenidos se transcribieron en formato digital para facilitar su análisis.

A partir de las respuestas del instrumento postest resuelto, se seleccionó una submuestra de estudio, a quienes se les aplicó una entrevista semiestructurada utilizando como guía las respuestas y representaciones elaboradas por el entrevistado en el cuestionario postest, con la finalidad de analizarlas con mayor nivel de profundidad, lo que implicó que sobre sus respuestas realizaran nuevas representaciones para generar explicaciones más completas y claras. Cada entrevista tuvo una duración aproximada de 40 minutos y fue sistematizada en el programa ATLAS.ti, para proceder al análisis cualitativo.

Los datos obtenidos del cuestionario pretest y postest fueron sistematizados en bases de datos, y se determinaron categorías s de análisis, que en conjunto permiten determinar la comprensión que el alumno tiene sobre los procesos de herencia genética. A partir de las categorías s, se rastrearon los elementos constitutivos en las representaciones que los alumnos explicitan para dar respuesta a los ítems, y de esta forma se determinó su uso como herramientas epistémicas, mismas que se describen en el capítulo de análisis de resultados.

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados cuantitativos y cualitativos obtenidos en la investigación, los cuales corresponden a la información obtenida mediante los distintos instrumentos de evaluación aplicados: cuestionarios pretest y postest y entrevistas, los cuales se analizaron con diferentes objetivos y en diferentes niveles de detalle.

En primer lugar, se realiza una descripción de la manera en que se construyeron las categorías de análisis y los elementos constitutivos de las representaciones que incluyen la intención, representación, signo-material, inferencia y regla de coordinación, con distintos ejemplos que permiten ilustrarlos y analizar de qué forma interactúan estos componentes y cuáles son las implicaciones de cada categoría en la comprensión de la herencia genética. Es importante señalar que los elementos de interpretación no fueron considerados dentro de la construcción de las categorías de análisis debido a que no se

En segundo lugar, se realizó un análisis cuantitativo y cualitativo de los resultados obtenidos en el pretest y postest sobre las frecuencias obtenidas en cada categoría de análisis y el tipo de herramientas epistémicas utilizadas por los alumnos de la muestra, determinando cuáles son las inferencias más recurrentes, las categorías s más complicadas para los estudiantes y las correlaciones entre estas.

En tercer lugar, se realizó una comparación entre los resultados obtenidos en cada grupo participante con la intención de analizar posibles diferencias significativas y determinar el posible factor que explique la situación.

Para finalizar, se realizó un análisis de grano fino a partir de los datos de las entrevistas, donde se generó un comparativo entre el pretest, postest y las inferencias explicitadas en las entrevistas.

5.1 Construcción de las categorías de análisis

Como se ha comentado en capítulos anteriores, el marco teórico representacional-inferencial, permite analizar los procesos de razonamiento de los estudiantes, ya que de acuerdo con la forma en que abordan y articulan cada elemento constitutivo de la representación se puede determinar si se está realizando un uso epistémico de esta, y conocer cuáles son los conceptos implicados en las inferencias que explicitan. Si alguno de estos elementos no se encuentra explícito en la representación, ésta no tendrá un uso epistémico bajo este marco interpretativo.

Para establecer las categorías de análisis que den cuenta de los procesos de comprensión sobre la herencia genética, se utilizó la propuesta de Stewart y colaboradores (2005), debido a que mencionan que, para lograr una comprensión clara y completa de este tema, los estudiantes deben realizar una conexión entre tres modelos conceptuales; y considero por el análisis bibliográfico que he realizado hasta el momento, que la integración de estos modelos delimitan el análisis de los temas de genética en los procesos hereditarios, y a la vez permiten relacionar las representaciones en el nivel macroscópico, microscópico y simbólico, para generar así un modelo completo sobre la herencia y expresión de las características. A continuación, se mencionan los tres modelos conceptuales considerados para la construcción de las categorías de análisis.

- **El modelo genético:** en este modelo se construyen representaciones sobre cómo es que se heredan las características de padres a hijos, lo que permite generar inferencias sobre los posibles patrones de herencia de diferentes caracteres y con ello las probabilidades de expresión. La construcción de este modelo se realiza a partir del análisis de características macroscópicas, que pueden ser perceptibles para el alumno, y para su explicación puede realizar uso del nivel gráfico y simbólico. En este sentido, si solo se hace uso de este modelo para analizar la comprensión de los procesos hereditarios, no se puede determinar cuál es el significado que los estudiantes le dan a los símbolos, cómo integran los

conceptos de variabilidad genética, gen, alelo y cromosoma, y cuáles son los procesos que permiten la expresión del ADN en un rasgo físico.

- **El modelo meiótico:** concerniente a los procesos celulares implicados en la variabilidad genética; es decir, el proceso de meiosis, es un modelo que se construye a partir de representaciones microscópicas de células, genes y cromosomas. La integración de este modelo con el genético permite analizar cómo se heredan las características, dando sentido a los resultados de probabilidad obtenidos con el modelo genético.

- **El modelo molecular:** implica reconocer las propiedades de la información genética, las cuales se refieren a los procesos moleculares que hacen posible la expresión del ADN en una característica física. Es un modelo que se construye a partir de representaciones simbólicas de los procesos moleculares, su integración con los modelos genético y meiótico permite explicar además de cómo es que se hereda la característica, cómo es que se expresa.

De acuerdo con lo anterior y con el análisis de las distintas respuestas obtenidas de los instrumentos de evaluación, se determinaron seis categorías de análisis, vinculadas a los tres modelos conceptuales (dos para cada modelo). De tal forma que, para el modelo genético se generó la categoría A correspondiente a representaciones en el nivel microscópico-simbólico de la información genética que se encuentra en los gametos de los progenitores, y la categoría B correspondiente al nivel macroscópico-simbólico de cómo esa información genética se expresa en la descendencia a través de procesos de dominancia y recesividad. Para el modelo meiótico la categoría C en el nivel microscópico-simbólico de cómo se organiza la información genética en células somáticas y sexuales, lo que permite relacionarlo con la categoría D sobre cómo ocurre el proceso de variabilidad genética. Y para el modelo molecular la categoría E con representaciones simbólicas de los procesos moleculares del proceso de

expresión de las características y la categoría F referida al proceso de especialización celular, lo que da sentido a los procesos moleculares de expresión del ADN. En la tabla 5.1 se presentan las categorías de análisis correspondientes a cada modelo conceptual, así como la demanda conceptual requerida en los ítems que la abordaron, y los ítems en los cuales se puede obtener la información correspondiente a la categoría.

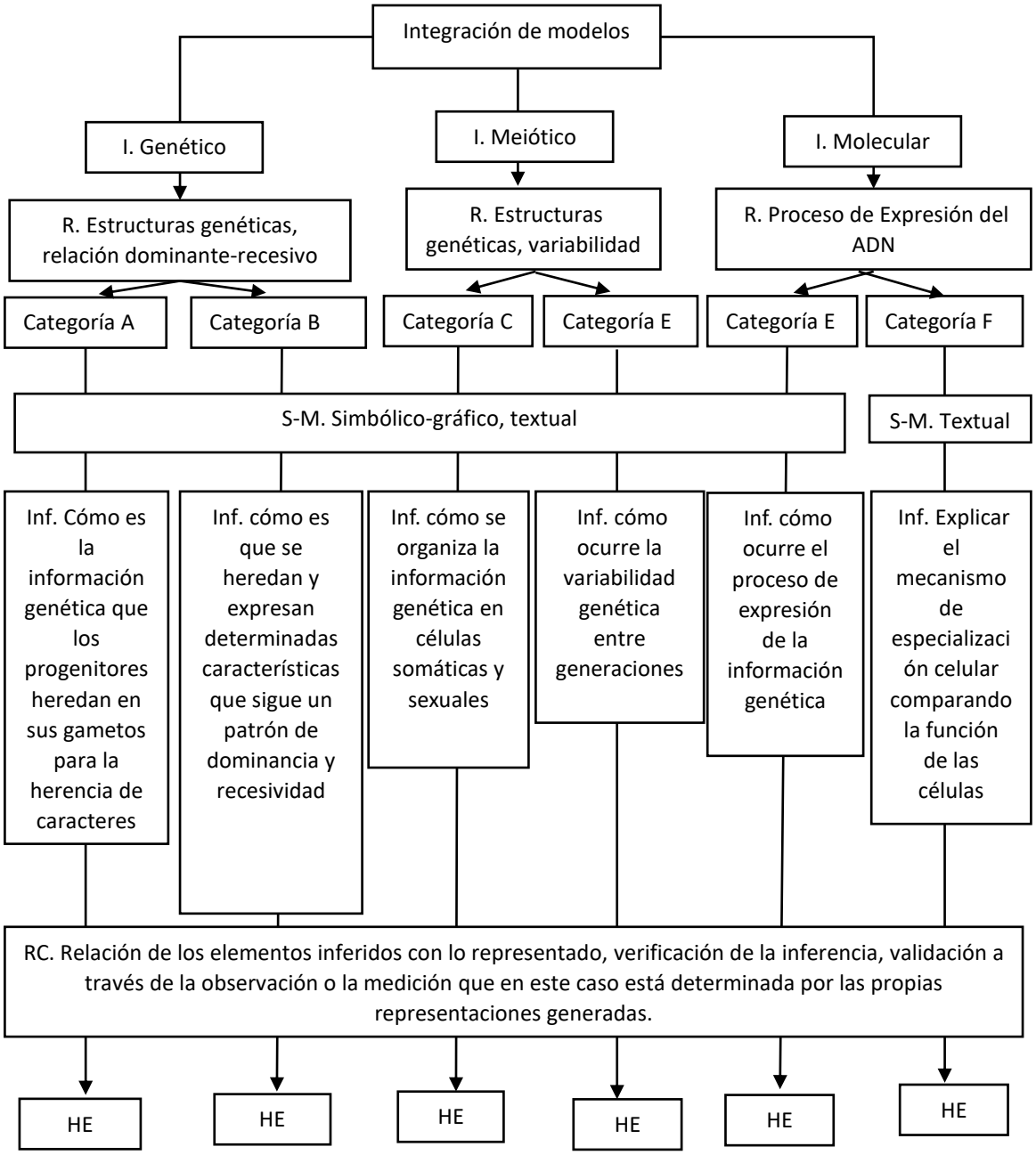
Tabla 5.1. *Categorías de análisis.*

Modelo	Categoría	Demanda conceptual	Ítems
Genético	A. Información genética en gametos.	Representar cómo es la información genética que los progenitores heredan en sus gametos, para la expresión de determinada característica.	2, 3, 6, 7
	B. Mecanismo de herencia.	Representa cómo es que se heredan y expresan determinadas características que sigue un patrón de dominancia y recesividad.	6, 7
Meiótico	C. Niveles de la información genética.	Representar cómo se encuentra y organiza la información genética dentro de las células somáticas y sexuales.	1, 2
	D. Variabilidad genética.	Representa cómo ocurre la variabilidad genética entre generaciones.	4, 5, 18, 19
Molecular	E. Expresión génica.	Representa cómo ocurre el proceso de expresión de la información genética.	1, 9, 10,11
	F. Especialización.	Explicar el mecanismo de especialización celular comparando la función de las células.	5 y 8.

Es importante mencionar que algunos de los ítems se repiten en las categorías de análisis, como el ítem 2 que se presenta en la A y C; esto se debe justamente a que los tres modelos conceptuales no son independientes ni excluyentes, todo lo contrario, como se mencionó anteriormente, se integran y complementan entre sí y son dependientes uno del otro para lograr una comprensión integral de los procesos de herencia genética.

En consecuencia, el análisis de las respuestas de los estudiantes en los instrumentos de evaluación pretest y postest fueron analizadas en función de la integración de los tres modelos conceptuales y los elementos constitutivos de las representaciones, lo cual se sintetiza en el esquema de la figura 5.1.

Figura 5.1. *Esquema que muestra el análisis de las respuestas de los estudiantes bajo las seis categorías de análisis derivadas de los tres modelos conceptuales y las representaciones con los elementos constitutivos.*



En el esquema anterior se muestra el análisis que se realizó para cada categoría a partir de las respuestas de cada uno de los estudiantes, considerando los elementos constitutivos de las representaciones que se describieron en el capítulo 2 página 40, con los cuales se puede determinar si las representaciones se emplean como una herramienta epistémica. La simbología empleada en el esquema corresponde a lo siguiente: **I.** es la intención, **R** es la representación, **S-M** se refiere al signo-material empleado, **Inf.** es la inferencia generada a partir de la representación, y **RC** hace referencia a la regla de correspondencia.

Como puede notarse, el elemento constitutivo denominado “elementos de interpretación” no fue considerado como parte del análisis, pues, como se mencionó con anterioridad los alumnos acceden a ellos desde sus experiencias personales, sociales y escolares, por lo cual cada uno de ellos puede tener sus referentes, y no es propósito de esta investigación identificarlos; en este sentido, los elementos de interpretación considerados son los recursos representacionales que se emplearon en la secuencia didáctica diseñada que fue descrita previamente, por lo que no se describen nuevamente en el análisis de las categorías.

5.2 Herramientas epistémicas por categoría de análisis del cuestionario en el Pretest y Postest

Los resultados muestran que para todas las categorías analizadas, en el cuestionario pretest se exhiben menos herramientas epistémicas que en el postest; además de que las utilizadas en el pretest muestran el uso de representaciones e inferencias que se podrían considerar intuitivas o más lejanas al conocimiento escolarizado del tema de genética; por ejemplo, para la categoría A, se encontró el uso de cuatro herramientas que emplean representaciones simbólico-gráficas, las cuales no corresponden a las representaciones escolarizadas de la genética; mientras que en el postest para la misma categoría se encontraron un total de seis herramientas epistémicas, con representaciones de estructuras genéticas en el nivel simbólico como cromosomas o ADN. También

se encontró que en cada categoría se presentó distinto número de herramientas epistémicas; por ejemplo, en la categoría A se encontraron seis HE, mientras en la categoría D, únicamente se encontraron cuatro.

A continuación, se presentan los resultados encontrados entre el uso de las herramientas epistémicas en el pretest y postest para cada categoría; para ello se muestran algunos ejemplos de las respuestas de los alumnos y cómo a partir de ellas se obtuvieron los elementos constitutivos de las representaciones que dan cuenta de la herramienta epistémica utilizada y cuáles son las implicaciones conceptuales en cada una de ellas.

En todos los casos, las HE fueron caracterizadas con números que van desde el 0 hasta el 3, siendo el valor más alto la representación que es más cercana al conocimiento escolarizado del tema; por lo tanto, que en una categoría se presente una HE2 y en otra una HE3 no significa necesariamente que en una llegaron a un nivel de abstracción más complejo, eso depende de la cantidad de HE encontradas en cada categoría, pudiendo ser la H2 y HE3 equiparables en cuanto al nivel de abstracción.

5.3 Análisis de las categorías

5.3.1 Categoría A

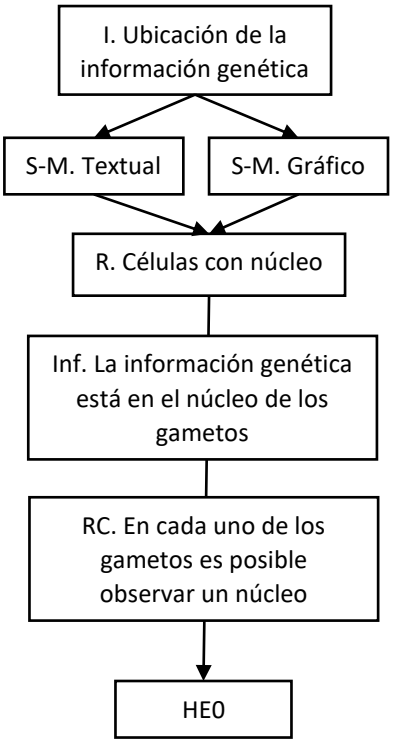
En esta categoría la demanda conceptual se encuentra alineada a que los alumnos generen representaciones e inferencias que expliquen cómo consideran que es la información genética que se encuentra en los gametos (óvulo y espermatozoide), y cómo dicha información se relaciona con la herencia y expresión de las características en la descendencia. En la tabla 5.2 se muestra el conjunto de los ítems que fueron considerados en esta categoría.

Tabla 5.2. *Preguntas consideradas para la obtención de las herramientas epistémicas de la categoría A.*

Ítems de la categoría A
Ítem 2. Realiza un dibujo donde representes la información genética que se encuentra en el núcleo de un óvulo y explica cuál es la función de esa información.
Ítem 3. La madre heredó al bebé la característica de la textura del cabello lacio, y el padre el cabello chino. Dibuja cómo imaginas que esta información genética se encuentra en los gametos.
Ítem 6. Enrollar la lengua es una característica dominante y no hacerlo es recesiva. Ulises no puede enrollar la lengua, pero su madre, padre y hermano sí pueden. Realiza un esquema con las posibles combinaciones de genotipos que expliquen esta situación.
Ítem 7. Dibuja cómo se encuentra el genotipo de los padres de Ulises dentro de los gametos.

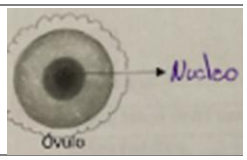
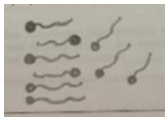
Como se esperaba, se obtuvieron distintos tipos de representaciones en los ítems planteados, lo que pone en evidencia el uso de diferentes herramientas epistémicas, cada una con distintos niveles de representación, inferencias e implicaciones conceptuales, encontrándose un total de cinco HE. En la figura 5.2 se muestra un esquema de los elementos constitutivos de la herramienta epistémica 0.

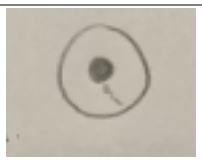
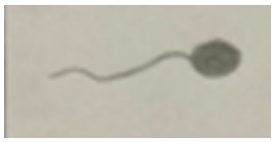
Figura 5.2. *Elementos constitutivos de la herramienta epistémica 0 de la categoría A.*



Como se puede notar en la figura 5.2, los alumnos que la emplearon no reconocen la intención planteada en las preguntas, la cual es representar la información genética presente en los gametos, pero sí tienen una intención, referida a mencionar cuál es su ubicación dentro del núcleo de los gametos. En la tabla 5.3 se muestran las respuestas de un alumno, que en conjunto indican el uso de la HE categorizada como 0.

Tabla 5.3. *Respuestas del alumno folio 14 Grupo 3ro2 TM EPO 314 con HE0.*

Ítem	Representaciones del alumno
Ítem 2. Dibujo y explicación de la información genética dentro del óvulo.	"En el núcleo se encuentra la información genética necesaria para formar al feto, y es el centro de control". 
Ítem 3. Representación de caracteres dentro del óvulo y espermatozoide.	

Ítem	Representaciones del alumno
Ítem 6. Esquema para explicar la herencia y expresión de un carácter.	"… alguno de sus familiares ya sea paterno o materno puede tener esa dificultad y la pasó en su información genética".
Ítem 7. Representación de genotipo dentro de gametos.	 

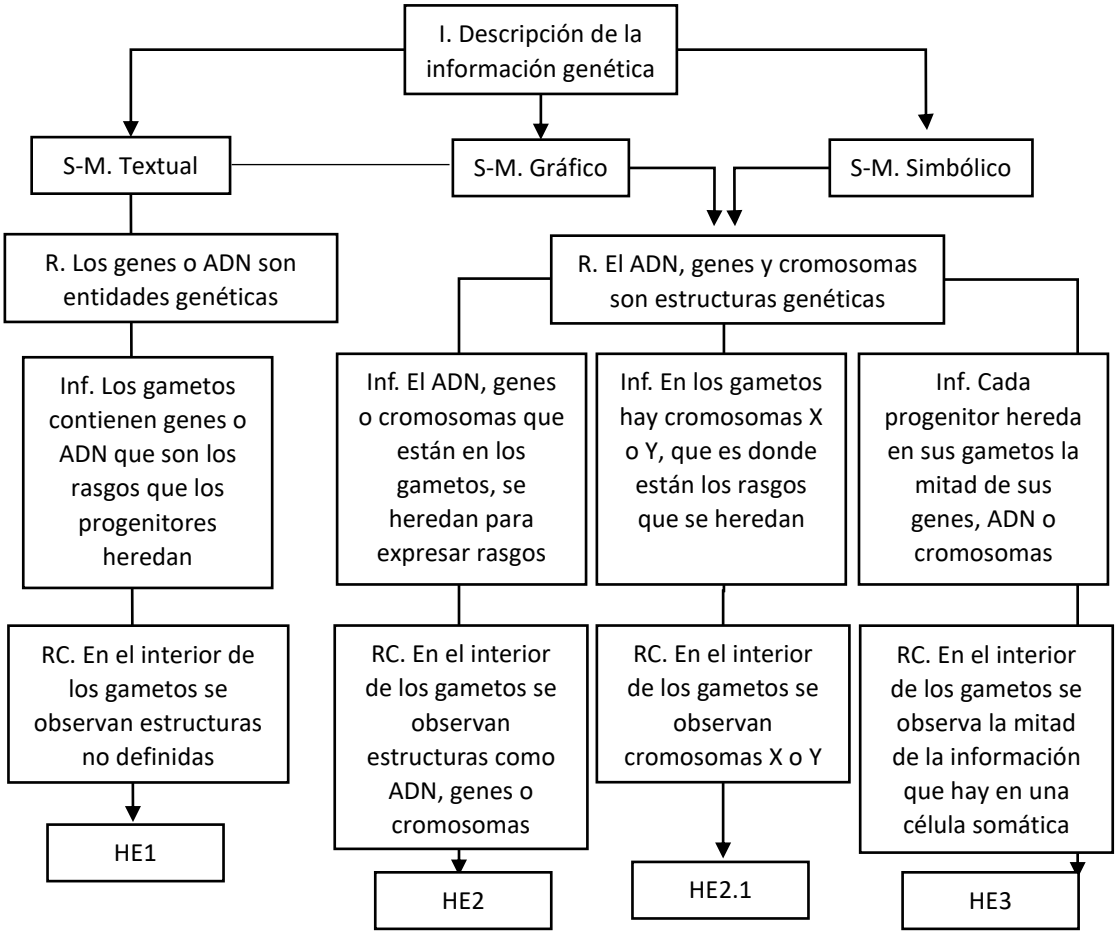
Como se puede notar en las respuestas que se muestran en la tabla 5.3, los alumnos que exhiben la HE0 en esta categoría, reconocen, mediante representaciones textuales, la existencia de información genética dentro del núcleo el cual representan gráficamente con un círculo pequeño (núcleo) que está dentro de un círculo más grande (célula). Este grupo de alumnos considera que esta información genética se hereda a la descendencia para la formación de un nuevo individuo; sin embargo, no representan dicha información en algún nivel gráfico o simbólico que permita visualizar cómo la conciben. Cabe destacar que estas respuestas se enmarcan en la HE0, porque la intención de esta categoría no es reconocida totalmente, pero sí tienen la posibilidad de determinar una ubicación para el material genético y describir que está relacionado con la herencia de características.

En el pretest, la HE0 tuvo una frecuencia de 51 alumnos, lo que corresponde al 41% total de la muestra; mientras que en el postest solo fue utilizada por seis alumnos, lo que corresponde con el 5% del total, situación que indica un avance importante en el número de alumnos que responden esta categoría reconociendo la intencionalidad original, y emplean signos materiales para representar la información genética en algún formato representacional.

Las otras cuatro herramientas epistémicas encontradas en la categoría A, fueron agrupadas en un único esquema explicativo debido a que, en todas, el sujeto reconoce la intención de inferir y representar cómo es la información genética que se encuentra en los gametos para la herencia de los rasgos, empleando para ello distintos formatos representacionales. Por ejemplo, los alumnos que exhiben la

HE1 emplean el signo material textual y gráfico, generando representaciones de entidades genéticas, mientras que en el resto de las herramientas epistémicas, los alumnos que las utilizan emplean el formato textual, gráfico y simbólico, utilizando representaciones de estructuras genéticas definidas, las cuales son las "portadoras de rasgos", con lo que es posible identificar que sus representaciones corresponden a un modelo sustancialista-mendeliano donde la información genética es concebida como unidades discretas, lo que termina siendo una limitación para la construcción e integración de los modelos genético, meiótico y molecular. En la figura 5.3 se muestran los elementos constitutivos de estas cuatro HE de la categoría A.

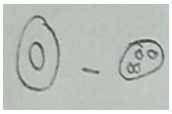
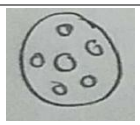
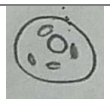
Figura 5.3. *Elementos constitutivos de las HE 1, 2, 2.1 y 3 de la categoría A.*



Las representaciones que ejemplifican el uso de la HE1 se muestran en la tabla 5.4, las cuales indican que los alumnos reconocen la existencia de información

genética dentro del núcleo de los gametos la cual se hereda a la descendencia para la formación de un nuevo individuo; las representaciones de esta HE se muestran como estructuras gráficas, como líneas, figuras, y en el caso del ejemplo, pequeños círculos, los cuales identifican como genes y para otros alumnos como ADN, concibiendo la información genética como unidades fragmentadas que portan o contienen las características. Los alumnos que emplean esta herramienta epistémica también emplean la HE0, ya que reconocen la existencia de un núcleo, por lo cual la configuración se sus respuestas será HE0+HE1. En el pretest, la HE1 tuvo una frecuencia de 49 alumnos, lo que corresponde al 39% total de la muestra; en el postest la frecuencia fue de 51 alumnos, correspondiente al 41%.

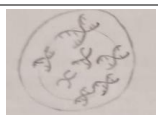
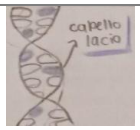
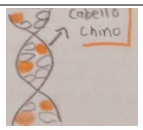
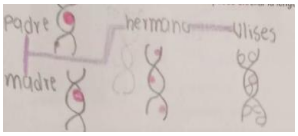
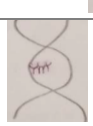
Tabla 5.4. *Respuestas del alumno folio 50 Grupo 3ro2 EPO 314 con HE1.*

Ítem	Representaciones del alumno
Ítem 2. Dibujo y explicación de la información genética dentro del óvulo.	"En el óvulo y en el espermatozoide se encuentran genes en el núcleo, los cuales se combinan para formar al nuevo individuo". 
Ítem 3. Representación de caracteres dentro del óvulo y espermatozoide.	
Ítem 6. Esquema para explicar la herencia y expresión de un carácter.	"No todos heredan los mismos genes de sus padres, algunos sí y algunos no, por eso se da la diferencia en la expresión de las características".
Ítem 7. Representación de genotipo dentro de gametos.	

Con respecto a la herramienta epistémica denominada como HE2 fue subdividida en dos, la HE2 y HE2.1, debido a que los alumnos que la emplean parten de la misma representación al reconocer que en los gametos hay estructuras definidas que pueden ser ADN, genes o cromosomas, los cuales se encuentran implicados en la expresión de las características; sin embargo, presentan diferencias en la representación en su signo material, la inferencia y la regla de correspondencia.

Con respecto a la HE2, los alumnos que la emplearon reconocen la existencia de información genética dentro del núcleo de los gametos la cual se hereda a la descendencia para determinar las características que formarán a un nuevo individuo; las representaciones de esta información se muestran como estructuras genéticas que el alumno puede identificar como genes, ADN o cromosomas, concibiendo a la información genética como unidades que se encuentran dentro de los distintos tipos celulares, con variaciones dependiendo de la información genética que se hereda. La diferencia principal que tiene el uso de esta herramienta con las HE1 es que en este caso la información genética sí tiene una estructura determinada. Los alumnos que emplean esta herramienta epistémica también emplean la HE0, ya que reconocen la existencia de un núcleo, y en algunas de sus representaciones a pesar de que utilizan símbolos genéticos, representan a la información como entidades fragmentadas y mezclan representaciones con figuras como “bolitas”, por lo cual la configuración se sus respuestas será HE0+HE1+HE2. En el pretest, la HE2 tuvo una frecuencia de 16 alumnos, lo que corresponde al 13% total de la muestra; en el postest la frecuencia fue de 40 alumnos, correspondiente al 32%. En la tabla 5.5 se muestran las respuestas del uso de la HE2.

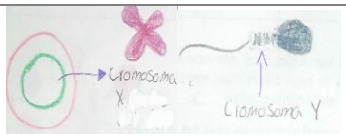
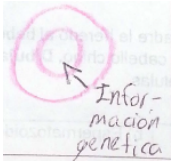
Tabla 5.5. *Respuestas del alumno folio 64 Grupo 3ro3 EPO Anexa a la Normal de Chalco con HE2.*

Ítem	Representaciones del alumno
Ítem 2. Dibujo y explicación de la información genética dentro del óvulo.	“En el óvulo está un núcleo donde se encuentra el material genético ADN que va a determinar las características que va a tener la persona”. 
Ítem 3. Representación de caracteres dentro del óvulo y espermatozoide.	 
Ítem 6. Esquema para explicar la herencia y expresión.	“Por todos tenemos diferente información, que dependen de lo que nos hayan heredado”. 
Ítem 7. Representación de genotipo dentro de gametos.	

Con respecto a la HE2.1, la diferencia principal con la HE2 es la representación empleada y la inferencia que a partir de esta se genera, ya que los alumnos que la utilizan consideran que las estructuras que se encuentran en los gametos y que son las responsables de heredar la información genética de los progenitores, corresponden únicamente a los cromosomas sexuales X o Y dependiendo de si es un óvulo o un espermatozoide. Esta herramienta fue utilizada por nueve alumnos, correspondiente al 7%, en el pretest; en el postest la frecuencia disminuyó a seis alumnos, lo que representa el 5% de la muestra.

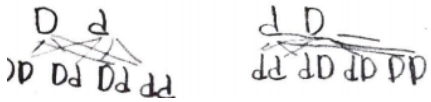
Los alumnos que emplean esta herramienta epistémica también emplean la HE0, ya que reconocen la existencia de un núcleo, y en algunas de sus representaciones a pesar de que utilizan símbolos genéticos empleando la HE2, conciben a la información como entidades fragmentadas y mezclan representaciones con figuras como “bolitas”, por lo cual la configuración se sus respuestas será HE0+HE1+HE2.1. La trayectoria de respuestas del uso de esta HE se muestra en la tabla 5.6.

Tabla 5.6. *Respuestas del alumno folio 86 Grupo 3ro3 EPO Anexa a la Normal de Chalco con HE2.1.*

Ítem	Representaciones del alumno
Ítem 2. Dibujo y explicación de la información genética dentro del óvulo.	“En el óvulo se encuentra la información genética que es donde está el cromosoma X el cual contiene todas las características que se heredan”.
Ítem 3. Representación de caracteres dentro del óvulo y espermatozoide.	
Ítem 6. Esquema para explicar la herencia y expresión de un carácter.	“Por no todos tenemos o heredamos las mismas características”.
Ítem 7. Representación de genotipo dentro de gametos.	

En la HE3 los alumnos que la evidenciaron parten de la misma representación, al reconocer que la información genética que se encuentra dentro de los gametos se localiza en estructuras definidas como ADN, genes o cromosomas, estableciendo una diferencia con la HE2 o HE2.1 al mencionar que la información contenida en cada gameto corresponde a la mitad de la información genética de los progenitores, inferencia que le puede permitir en otras categorías explicar algún mecanismo de expresión y variabilidad genética. En la tabla 5.7 se muestran las respuestas que evidencian el uso de la HE3.

Tabla 5.7. *Respuestas del alumno folio 43 Grupo 3ro1 TM EPO 314 HE3.*

Ítem	Representaciones del alumno
Ítem 2. Dibujo y explicación de la información genética dentro del óvulo.	"En el óvulo se encuentran la mitad del ADN de la mujer, para que se combine con el del hombre y así formar un nuevo ser".
Ítem 3. Representación de caracteres dentro del óvulo y espermatozoide.	
Ítem 6. Esquema para explicar la herencia y expresión de un carácter.	"Porque los padres tienen un gen recesivo que heredan". 
Ítem 7. Representación de genotipo dentro de gametos.	En los cromosomas está el gen recesivo".

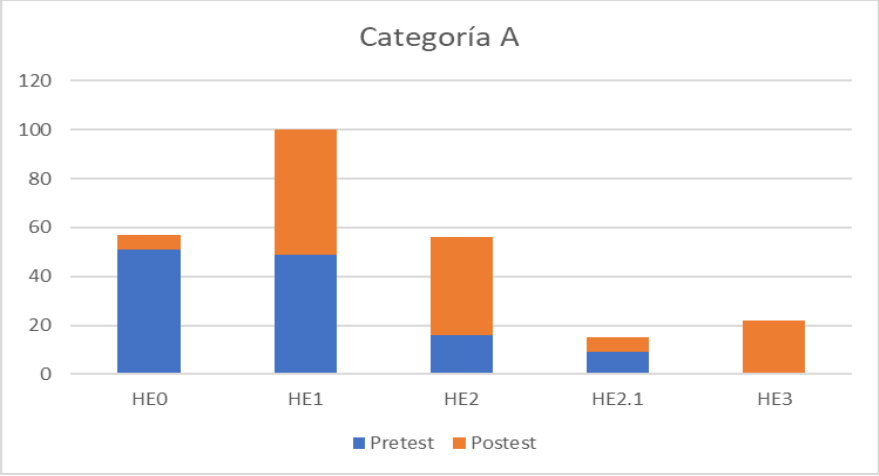
Las respuestas que se muestran en la tabla 5.7 indican que los alumnos reconocen la existencia de información genética dentro del núcleo de los gametos la cual se hereda a la descendencia para determinar las características que formarán a un nuevo individuo; las representaciones de esta información se muestran como estructuras genéticas que el alumno puede identificar como genes y/o ADN, la información genética es representada como unidades que se encuentran en los gametos, con variaciones dependiendo de la información

genética que se hereda; estos alumnos reconocen que la información genética que se encuentra al interior de los gametos corresponde a la mitad del total de un individuo. En el pretest la herramienta epistémica 3 no se presentó; mientras que en el postest la frecuencia fue de 22 alumnos (18%).

Los alumnos que emplean la herramienta epistémica 3, también emplean la HE0, ya que reconocen la existencia de un núcleo, utilizan símbolos genéticos que evidencia el uso de la HE2, conciben a la información como entidades fragmentadas y mezclan representaciones con figuras no "genéticas", por lo cual la configuración de sus respuestas será HE0+HE1+HE2+HE3.

Para analizar todos los datos correspondientes a la categoría A, estos se presentan de forma sintética en el gráfico 5.1, donde se muestran las frecuencias que se presentaron por herramienta epistémica, tanto el pretest como el postest.

Gráfico 5.1. *Frecuencias de la categoría A del pretest y postest.*



Los resultados indican diferencias significativas entre los diferentes momentos en que se aplicó el instrumento. Uno de los resultados más evidentes es que en el pretest el 41% de los alumnos utilizan la HE0, lo que indica que la intención no es reconocida de manera completa, ya que no representan la información genética de ninguna forma, solo señalan que se encuentra en el núcleo dentro de la célula, situación que cambia de manera importante en el postest al disminuir su uso a 5%.

Por otro lado, el uso de la HE1 presenta un comportamiento constante ya que la diferencia de frecuencia entre pretest y postest es solo del 2%; en este sentido es relevante destacar que son 24 alumnos los que la utilizan tanto en el pretest como en el postest, mientras que 25 alumnos que utilizaron la HE0 en el pretest utilizan la HE1 en el postest, y a pesar de que la HE1 indica una concepción alejada de las representaciones de los conceptos genéticos, sus representaciones funcionan como herramienta epistémica al poder generar una inferencia válida para responder la demanda conceptual de la pregunta.

Con respecto a la HE2, se observa que presenta una mayor frecuencia de uso en el postest, lo que muestra un cambio significativo ya que 40 fueron los alumnos que la emplean y reconocen la existencia de estructuras genéticas relacionadas con la herencia y expresión de las características, las cuales son más cercanas a la simbología empleada de forma escolarizada. En la HE2.1 la frecuencia de uso es baja en ambas aplicaciones, ya que representa menos del 10%, lo cual conceptualmente es significativo para la construcción del modelo genético y meiótico, pues reconocen que en los gametos no se encuentra únicamente un cromosoma sexual X o Y.

En cuanto a la HE3 se muestra un logro conceptual significativo entre el pretest y postest, en primer lugar porque es hasta el postest donde se presenta esta HE, y es utilizada por el 17% del total de alumnos, en segundo lugar debido a que los alumnos no solo reconocen la existencia de estructuras genéticas relacionadas con la herencia y expresión de las características, sino que también logran reconocer que en cada gameto solo se encuentra la mitad de información genética del total de un individuo, brindando así la posibilidad de construir el modelo genético y el molecular ya que estos alumnos, al reconocer cómo es que las características de los progenitores a la descendencia se heredan a través de estructuras genéticas determinadas, podrían relacionarlo con los mecanismos de expresión de dichas características. Sin embargo, el uso de las HE3 sigue denotando que los alumnos conciben a la información genética como unidades

fragmentadas contenedoras o portadoras de las características, lo que seguramente dificultará la construcción del modelo molecular.

Por otra parte, los resultados de esta primera categoría indican que existe una relación importante entre los elementos constitutivos de las representaciones, ya que en representaciones que corresponden a las HE0 y HE1, el signo material empleado es textual y gráfico, mientras que en las HE2 y HE3, se utiliza también el nivel simbólico. Por el momento, estos resultados indican que el uso de representaciones en diferentes formatos permite generar inferencias más complejas y en este caso, al ser de naturaleza simbólica, permiten al alumno generar inferencias más completas con respecto al contexto planteado.

5.3.2 Categoría B.

La categoría B se encuentra directamente relacionada con la categoría A, puesto que, de manera conjunta, dan cuenta del modelo genético. Con esta categoría se pretende que el alumno establezca un mecanismo que dé cuenta de la herencia y expresión de determinadas características; los casos presentados en el cuestionario utilizaron como ejemplo al albinismo, el tipo de cabello y el poder enrollar la lengua, características que presentan un comportamiento de herencia y expresión por dominancia y recesividad. En la tabla 5.8 se muestra el conjunto de los ítems que fueron considerados en esta categoría y como puede observarse, dos de las preguntas fueron también contempladas en la categoría A.

Tabla 5.8. *Preguntas consideradas para la obtención de las herramientas epistémicas de la categoría B.*

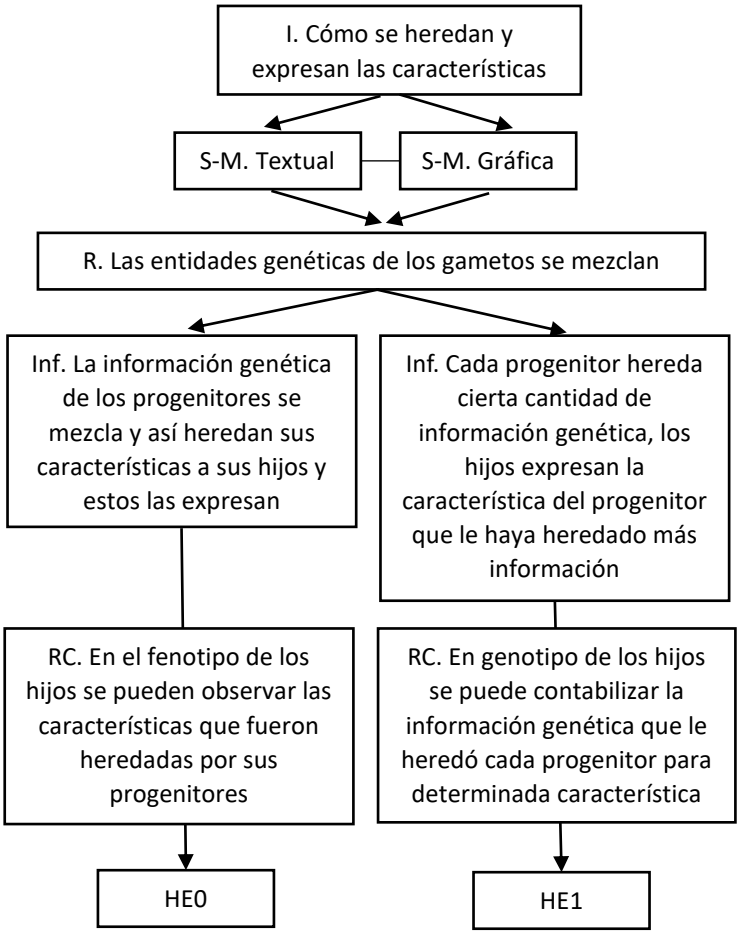
Ítem
Ítem 3. En un evento de fecundación, la madre heredó al bebé la característica de la textura del cabello lacio, y el padre el cabello chino. Dibuja cómo imaginas que esta información genética se encuentra dentro de los gametos.
Ítem 6. Enrollar la lengua es una característica dominante y no hacerlo es recesiva. Ulises no puede enrollar la lengua, pero su madre, padre y hermano sí pueden. Realiza un esquema con las posibles combinaciones de genotipos que expliquen esta situación.
Ítem 18. Una pareja con un bebe albino se pregunta ¿Cómo se ocasiona el albinismo y por qué se presentó esta condición si ninguno de ellos es albino?

Al igual que en la categoría A, se obtuvieron distintos tipos de respuestas en los ítems planteados, lo que pone en evidencia el uso de diferentes herramientas epistémicas, con distintos niveles de representación, inferencias e implicaciones conceptuales, encontrándose un total de cuatro HE.

En la figura 5.4 se muestra un esquema de los elementos constitutivos de la HE0 y la HE1 de esta categoría, en las cuales los alumnos si bien reconocen la intención, que es representar cómo las características de los progenitores (que representaron en la categoría A) se heredan y expresan en la descendencia,

evidencian una visión sustancialista de la información genética, que conciben como entidades genéticas para las que no establecen reglas de expresión.

Figura 5.4. *Elementos constitutivos de las HE0 y HE1 de la categoría B.*



Como se puede apreciar en el esquema, que los alumnos consideren a la información genética como entidades, no les permite establecer y aplicar una regla de expresión, limitándose a mencionar que ocurren mezclas, o bien, establecen un mecanismo referido a la cantidad de información que se puede heredar, sin que justifiquen cómo se aplica este criterio para cada característica o evento de fecundación, pudiendo ser azaroso. En la tabla 5.9 se muestran las respuestas de un alumno, que en conjunto indican el uso de la herramienta epistémica designada como HE0.

Tabla 5.9. *Respuestas del alumno folio 12 Grupo 3ro2 TM EPO 314 con HE0 de la categoría B.*

Ítem	Representaciones del alumno
Ítem 3. Dibuja cómo imaginas que la información genética se encuentra dentro de los gametos.	
Ítem 6. Realiza un esquema con las posibles combinaciones de genotipos que expliquen esta situación.	
Ítem 18. ¿Cómo se ocasiona el albinismo y por qué se presenta esta condición cuando ningún progenitor es albino?	

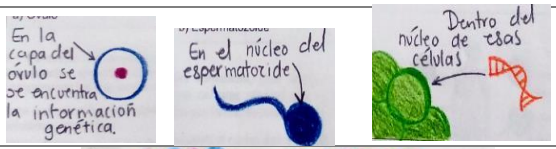
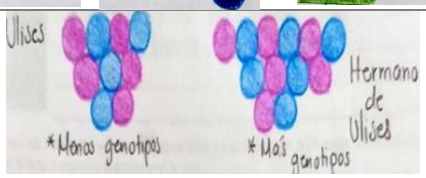
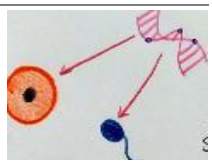
Las respuestas que se muestran en la tabla 5.9 indican que se reconoce que los progenitores heredan información genética en la que se encuentran las características; sin embargo, no la representan en algún nivel gráfico o simbólico que permita analizar cómo es que la conciben y cuál es el mecanismo por el cual es expresada en la descendencia; dentro de esta HE también se incluyeron respuestas de alumnos que parecen generar una representación simbólica, como el ADN o los cromosomas, pero no explicitan el mecanismo que explica por qué algunas características se expresan sobre otras, solo representan una combinación de estas; es decir, a pesar de que utilizan diferentes tipos de representaciones gráficas y al parecer simbólicas empleadas en la categoría A, estas no son empleadas para generar inferencias sobre los mecanismos de herencia bajo alguna regla de expresión.

En el pretest la HE0 tuvo una frecuencia de 47 alumnos, lo que corresponde al 38% total de la muestra; de los cuales 43 utilizaron representaciones gráficas sin símbolos genéticos, mientras que cuatro alumnos utilizaron representaciones como ADN o cromosomas. Por su parte, en el postest solo seis alumnos (5%) de la muestra utilizaron la HE0, tres de ellos emplearon símbolos gráficos y los tres restantes símbolos genéticos como el ADN.

En la herramienta epistémica denominada HE1, los alumnos intentan establecer un mecanismo de expresión, que indica una visión sustancialista y en piezas de la información genética, pues consideran que la expresión de las características en la descendencia depende de la cantidad de información genética que los progenitores le heredan a la descendencia; de esta forma, si el padre puede enrollar la lengua y hereda más genes que la madre, que no puede enrollarla, el descendiente tendrá como fenotipo el poder enrollar la lengua.

Los alumnos que emplean esta herramienta epistémica también emplean la HE0, ya a pesar de que en la HE1 reconocen que la expresión se determina por la cantidad de genes, no explican si esto es para todas las características o de qué depende que en un momento se hereden más genes de un progenitor que de otro, por lo cual la configuración de sus respuestas será HE0+HE1. En la tabla 5.10 se muestran las respuestas de un alumno las cuales, en conjunto, indican el uso de la herramienta epistémica designada como HE1.

Tabla 5.10. *Respuestas del alumno folio 49 Grupo 3ro4 TV EPO 314 con HE1 de la categoría B.*

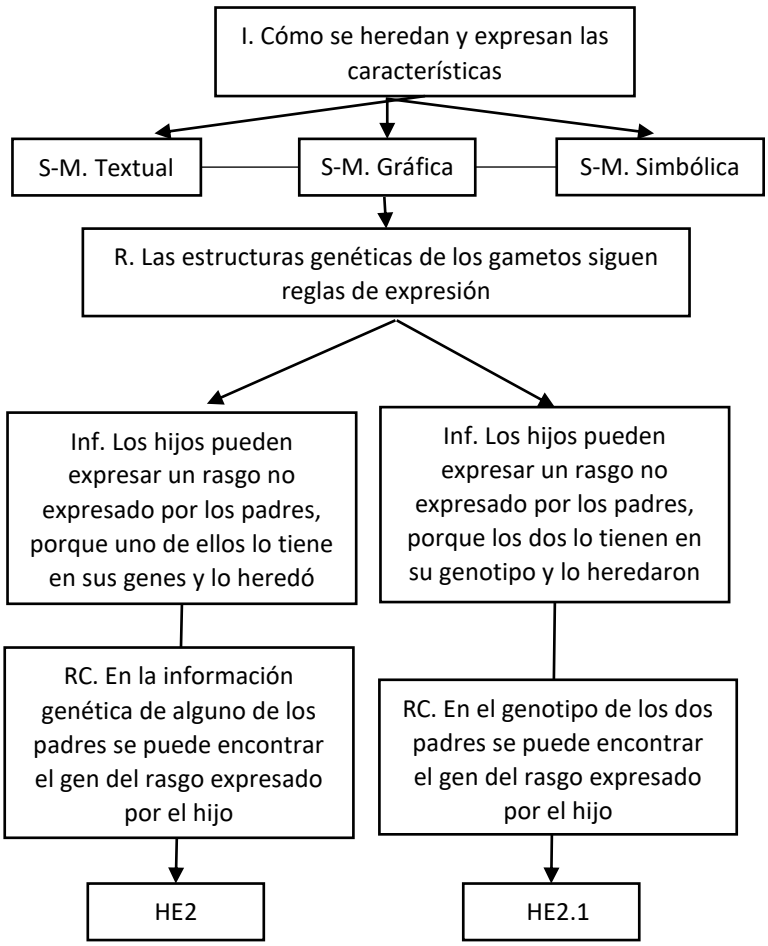
Ítem	Representaciones del alumno
Ítem 3. Dibuja cómo imaginas que la información genética se encuentra dentro de los gametos.	
Ítem 6. Realiza un esquema con las posibles combinaciones de genotipos que expliquen esta situación.	
Ítem 18. ¿Cómo se ocasiona el albinismo y por qué se presenta esta condición cuando ningún progenitor es albino?	"Tenían la condición y uno heredó más genes y esta vez se presentó". 

Las respuestas que se muestran en la tabla 5.10 indican que los alumnos con este tipo de representaciones reconocen que los progenitores heredan información genética en la que se encuentran las características, la cual pueden o no

representar en algún nivel gráfico o simbólico que permita analizar cómo es que la conciben; sin embargo, resulta evidente que esta información se encuentra fragmentada y es posible determinar su expresión por la cantidad heredan, ya que en todos los casos, los alumnos utilizan pequeños círculos para representar los genes que los padres heredan y se expresan en el individuo, tal como se muestra en la respuesta al ítem 6. En el pretest el uso de esta herramienta epistémica tuvo una frecuencia de 16 alumnos, lo que corresponde al 13% total de la muestra; mientras que en el postest solo el 7% de la muestra la utilizó (9 alumnos).

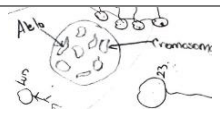
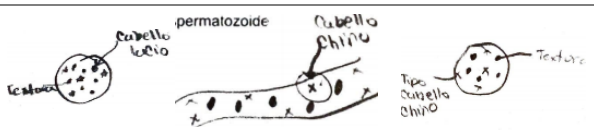
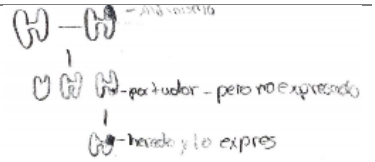
Las otras dos HE encontradas en la categoría B se muestran en la figura 5.5; en ellas, el sujeto representa e infiere cómo es que se hereda y expresa la información genética a la descendencia, estableciendo un mecanismo explicativo.

Figura 5.5. *Elementos constitutivos de la HE2 y HE2.1 de la categoría B.*



En las HE2 y HE2.1, los alumnos establecen un mecanismo de expresión, que indica que reconocen la existencia de genes que pueden ser heredados a pesar de que los progenitores no los expresen; sin embargo, las condiciones de expresión cambian en cada HE, debido a que las inferencias generadas son distintas. En la tabla 5.11 se muestran las respuestas de un alumno, las cuales en conjunto indican el uso de la herramienta epistémica designada como HE2.

Tabla 5.11. *Respuestas del alumno folio 3 Grupo 3ro1 TM EPO 314 con HE2 de la categoría B.*

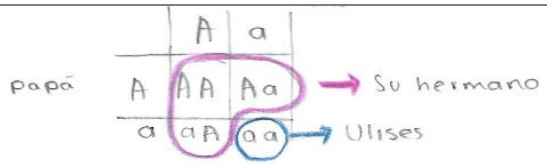
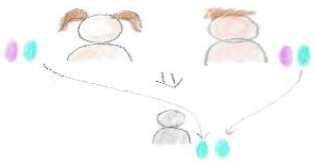
Ítem	Representaciones del alumno
Ítem 3. Dibuja cómo imaginas que la información genética se encuentra dentro de los gametos.	
Ítem 6. Realiza un esquema con las posibles combinaciones de genotipos que expliquen esta situación.	
Ítem 18. ¿Cómo se ocasiona el albinismo y por qué se presenta esta condición cuando ningún progenitor es albino?	"Uno de los padres porta el gen y el hijo lo expresó". 

Las respuestas que se muestran en la tabla 5.11 indican que los alumnos con esta HE reconocen que los progenitores heredan información genética en estructuras como cromosomas, que es donde se encuentran las características, y que es posible heredarlas, aunque estas no hayan sido expresadas en los progenitores, las cuales sí pueden ser expresadas en la descendencia. Bajo esta herramienta, los alumnos consideran que basta con que uno de los progenitores contenga la característica para que la descendencia la exprese, lo cual no muestra de manera clara cuál es el mecanismo por el cual se expresan, pero sí evidencia que consideran que la información genética se comporta de forma distinta en cada persona, aun cuando se trate del mismo rasgo, por lo cual la configuración de sus respuestas será HE0+HE2. En el pretest el uso de esta herramienta epistémica tuvo una frecuencia de 62 alumnos, lo que corresponde al 50% total de la muestra;

mientras que en el postest fue empleada por 44 alumnos, lo que corresponde al 35% de la muestra.

En la HE2.1 los alumnos establecen un mecanismo de expresión que hace referencia a la existencia de genes dominantes y recesivos; sin embargo, los alumnos por lo regular representan con letras, o estructuras como bolitas, o cromosomas, lo cual indica que no hay una vinculación clara con el modelo meiótico. La configuración de sus respuestas será HE0+HE2.1. En la tabla 5.12 se muestran las respuestas de un alumno las cuales, en conjunto, indican el uso de esta herramienta epistémica HE2.1.

Tabla 5.12. *Respuestas del alumno folio 67 Grupo 3ro3 TM EPO anexa a la normal de Chalco con HE2.1 de la categoría B.*

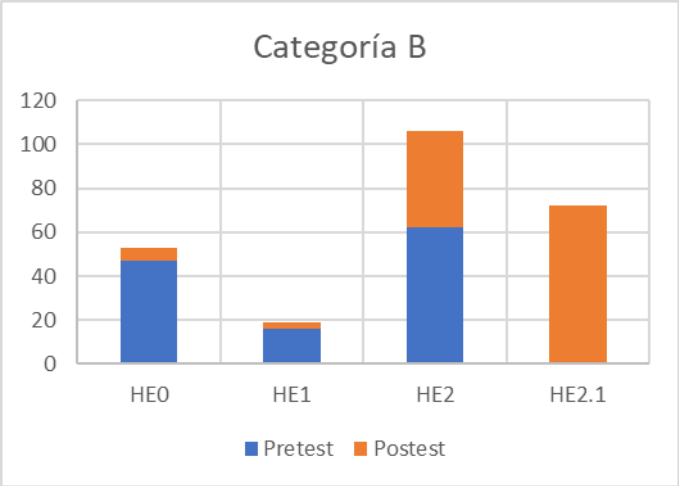
Ítem	Representaciones del alumno
Ítem 3. Dibuja cómo imaginas que la información genética se encuentra dentro de los gametos.	
Ítem 6. Realiza un esquema con las posibles combinaciones de genotipos que expliquen esta situación.	
Ítem 18. ¿Cómo se ocasiona el albinismo y por qué se presenta esta condición cuando ningún progenitor es albino?	"Esto es debido a que los padres solo son portadores" 

Las respuestas que se muestran en la tabla 5.12 indican que los alumnos con esta HE reconocen que los progenitores heredan información genética en estructuras que conciben como cromosomas, ADN o genes, que es donde se encuentran las características, y que es posible heredar características no expresadas en los progenitores, las cuales sí pueden ser expresadas en la descendencia debido a que existen genes recesivos que se expresan bajo ciertas condiciones, los cuales caracteriza simbólicamente con letras que representan los alelos dominantes y recesivos. En el pretest el uso de esta herramienta epistémica no se presentó;

mientras que en el postest fue empleada por 72 alumnos, lo que corresponde al 58% de la muestra; es relevante mencionar que, de estos 72 alumnos, 68 utilizan un nivel simbólico con letras que representan los genes, y presentan las posibles combinaciones a través de cuadros de Punnett, y 50 de ellos representan, además, estructuras genéticas como ADN o cromosomas.

Para presentar los datos de la categoría B de manera sintética, en el gráfico 5.2 se muestran las frecuencias por herramienta epistémica de los instrumentos pretest y postest; como puede observarse, existen diferencias significativas entre las herramientas que los alumnos emplean en cada instrumento. Uno de los resultados más evidentes es que en el pretest el 88% de los alumnos utilizan la HE0 y la HE1, en las que no se cumple con la intención de describir el mecanismo por el que se expresan las características heredadas. Por otro lado, el uso de la HE2.1 no se presenta en el pretest, pero en el postest su uso es alto, representando al 58% de la muestra.

Gráfico 5.2. *Frecuencias de la categoría B del pretest y postest.*



Los resultados de esta categoría indican que existe una relación importante entre los elementos constitutivos de las representaciones, ya que en representaciones que corresponden a las HE0 y HE1, el signo material empleado es textual y gráfico sin uso de símbolos genéticos, mientras que en las HE2 y HE2.1, se utiliza además el nivel simbólico. Es importante señalar que en esta categoría es evidente que el uso de representaciones simbólicas de estructuras genéticas no

está necesariamente vinculado con el uso de herramientas epistémicas cercanas al conocimiento escolarizado de la genética, pues pueden utilizar estructuras como ADN, genes o cromosomas, pero no logran expresar alguna relación entre ellas y los mecanismos de expresión de las características. Por otro lado, siempre que los alumnos utilizan una HE cercana al conocimiento escolarizado, utilizan en conjunto, representaciones textuales, gráficas y simbólicas.

Con respecto a la relación entre las categorías A y B, que dan cuenta del modelo genético, en el pretest gran parte de las frecuencias se encuentran en las HE0, HE1 y HE2 en las cuales los alumnos no utilizan el nivel simbólico de estructuras genéticas, y es hasta el postest que se generan inferencias cercanas al contenido escolarizado de la genética. También es importante hacer notar que las inferencias entre estas dos categorías están relacionadas, ya que en el pretest de los 51 alumnos que utilizaron la HE0 en la Categoría A, 36 también la utilizaron en la categoría B; los 49 que utilizaron la HE1 en la categoría A, en la categoría B utilizaron las HE1 y HE2, con las que no establecen un mecanismo de expresión referente a la dominancia y recesividad.

En el postest, la relación más significativa que se presenta es entre la HE3 de la categoría A, ya que todos los alumnos que la utilizaron, emplearon la HE2.1 en la categoría B, y de los 21 que utilizaron la HE1 en la categoría A emplearon la HE2 en la categoría B; de los 24 que emplearon la HE2 utilizaron la HE2.1 en la categoría B y de los seis que emplearon la HE3.1 en la A, utilizaron la 2.1 de la B, lo que demuestra en este caso que ambas categorías se encuentran relacionadas al conformar el modelo genético, además de que el uso de símbolos como letras les permite a los alumnos establecer relaciones de dominancia y recesividad sin necesidad de utilizar símbolos genéticos, lo que también es un indicio de que se comprende el modelo genético sin establecer un vínculo claro con el modelo meiótico, porque el alumno no establece una relación entre los niveles de organización de la información genética y el mecanismo de expresión de las características, situación que podría afectar en la vinculación o construcción del modelo molecular.

5.3.3 Categoría C

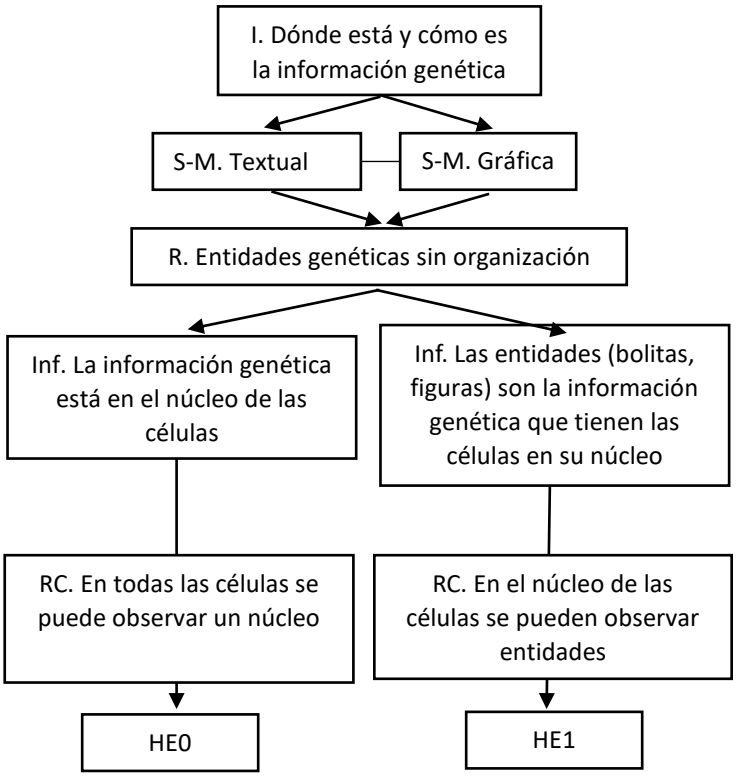
Como ya ha sido señalado, el modelo meiótico es uno tres modelos que contribuyen a explicar los procesos de herencia y expresión genética. Para que los alumnos puedan construir este modelo, deben identificar los niveles en los que se organiza la información genética, reconocer que el ADN se compacta para formar cromosomas durante los procesos de división celular de la meiosis que da como resultado células haploides, y cómo ocurre la variabilidad genética específicamente durante el proceso de *crossing over*. De acuerdo con esto, el modelo meiótico está implicado en la categoría C, que agrupa los ítems 1, 2, en los que se solicita al alumno que represente los distintos niveles en los que la información genética se organiza. En la tabla 5.13 se muestran los ítems 1 y 2. categoría.

Tabla 5.13. *Preguntas consideradas para la obtención de las herramientas epistémicas de la categoría C.*

Ítem
Ítem 1. Realiza un esquema con dibujos de los diferentes niveles en que se organiza la información genética, desde el nivel más simple hasta el nivel más complejo.
Ítem 2. Realiza un dibujo donde representes la información genética que se encuentra en el núcleo de un óvulo y explica cuál es la función de esa información.

Al analizar las respuestas que los alumnos dieron en ambos ítems, se identificaron seis herramientas epistémicas. En la figura 5.6 se muestra un esquema de los elementos constitutivos de las HE0 y HE1, en las cuales los alumnos identifican la información genética que se encuentra dentro de las células como entidades genéticas, sin que indiquen cómo se organiza.

Figura 5.6. *Herramientas epistémicas 0 y 1 de la categoría C.*

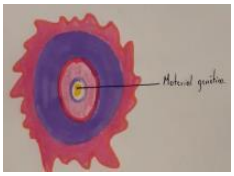


En cuanto a la frecuencia de aparición, en el pretest la HE0 fue evidenciada por 26 alumnos, lo que corresponde al 21% total de la muestra. Por su parte en el postest solo un alumno utilizó esta herramienta.

Con respecto a la HE1, en el pretest obtuvo una frecuencia de 28 alumnos, lo que corresponde al 22% total de la muestra. En el postest, 14 alumnos utilizaron esta herramienta (11%). Los alumnos que la utilizan incluyen la representación de un núcleo, por lo cual, la configuración de sus respuestas será HE0+HE1.

En la tabla 5.14 se muestran las respuestas de un alumno que, en conjunto, indican el uso de la herramienta epistémica designada como HE0, con la que los alumnos reconocen que dentro de las células hay material genético, pero no indican cómo es o cómo se organiza.

Tabla 5.14. *Respuestas del alumno folio 69 Grupo 3ro3 TM EPO anexa a la normal de Chalco con HE0 de la categoría C.*

Ítem	Representaciones del alumno
Ítem 1. Realiza un esquema con dibujos de los diferentes niveles en que se organiza la información genética.	
Ítem 2. Realiza un dibujo de la información genética que se encuentra en el núcleo de un óvulo.	"Tiene un núcleo cuya función es almacenar el material genético". 

En la HE1, los alumnos reconocen la existencia de un núcleo en el que hay entidades no definidas, ya que pueden presentar diversas formas, y aunque pueden dibujarlas en distintos tamaños, no se muestra una organización definida. En la tabla 5.15 se muestran las respuestas de un alumno, que en conjunto indican el uso de esta HE1.

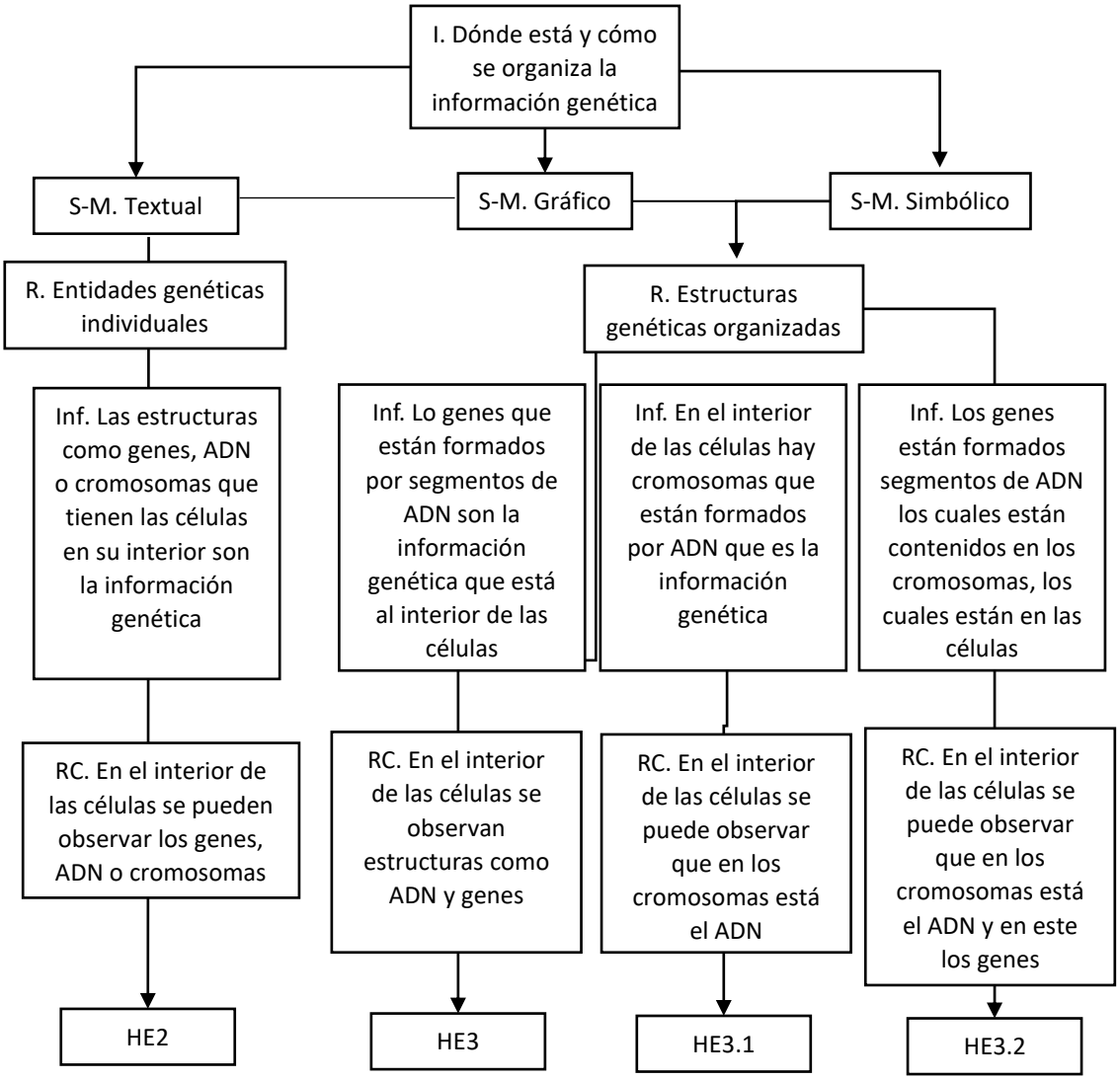
Tabla 5.15. *Respuestas del alumno folio 12 Grupo 3ro1 TM EPO 314 HE1 de la categoría C.*

Ítem	Representaciones del alumno
Ítem 1. Realiza un esquema con dibujos de los diferentes niveles en que se organiza la información genética.	
Ítem 2. Realiza un dibujo de la información genética que se encuentra en el núcleo de un óvulo y explica su función.	"Contiene los genes de la información que hereda"

En el siguiente grupo de herramientas epistémicas, los alumnos emplean el nivel gráfico y simbólico para representar cómo la información genética se organiza en estructuras, las cuales pueden ubicar como fragmentadas o individuales (HE2), o bien, organizadas (HE3, HE3.1 y HE3.2).

En la figura 5.7 se muestra un esquema de los elementos constitutivos de las HE2, HE3, HE3.1 y HE3.2, en las cuales se puede observar la diferencia entre los elementos constitutivos de estas HE donde en unas la inferencia hace referencia a la existencia de estructuras genéticas individuales y en el otro conjunto a estructuras genéticas organizadas.

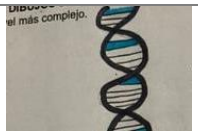
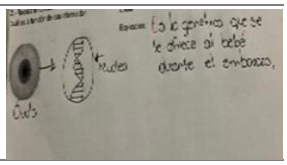
Figura 5.7. *Elementos constitutivos de las HE2, HE3, HE3.1 y HE3.2 de la categoría C.*



La HE2 tuvo una frecuencia de 71 alumnos en el pretest, lo que corresponde al 57% total de la muestra, mientras que en el postest 41 alumnos (33%) la utilizaron. La trayectoria de esta HE es HE0+HE2, debido a que reconocen la existencia de

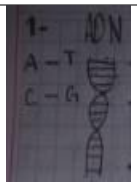
un núcleo, y en todo momento realizan estructuras genéticas que refieren como genes, ADN o cromosomas En la tabla 5.16 se muestran las respuestas de un alumno, que en conjunto indican el uso de la herramienta epistémica designada como HE2 donde puede notarse la representación de estructuras individuales.

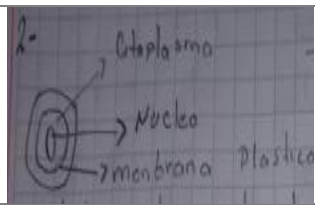
Tabla 5.16. *Respuestas del alumno folio 22 Grupo 3ro4 TM EPO 314 HE2 de la categoría C.*

Ítem	Representaciones del alumno
Ítem 1. Realiza un esquema con dibujos de los diferentes niveles en que se organiza la información genética.	
Ítem 2. Realiza un dibujo de la información genética que se encuentra en el núcleo de un óvulo y explica su función.	"Es la genética que se le ofrece al bebé durante el embarazo" 

Con lo que respecta al conjunto de HE3, como puede apreciarse en la figura 5.7, los alumnos que las evidenciaron parten de la misma representación, al reconocer que la información genética se encuentra en estructuras contenidas unas en otras; sin embargo, presentan diferencias en el signo material, la inferencia y la regla de correspondencia de la representación. La HE3 no se presentó en el pretest, mientras que en el postest cinco alumnos utilizaron esta herramienta (4%). En la tabla 5.17 se muestran las respuestas que evidencian el uso de la HE3.

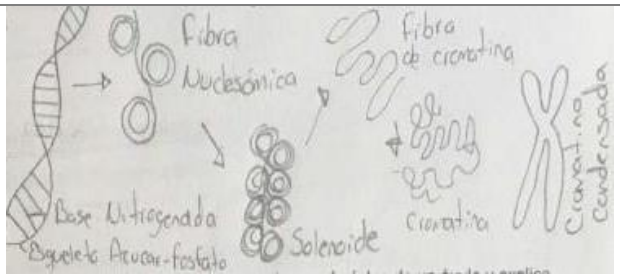
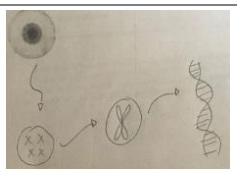
Tabla 5.17. *Respuestas del alumno folio 59 Grupo 3ro4 TV EPO 314 HE3 de la categoría C.*

Ítem	Representaciones del alumno
Ítem 1. Realiza un esquema con dibujos de los diferentes niveles en que se organiza la información genética.	 "Los genes están formados por ADN, cada persona tiene dos copias de cada gen, una del padre y una de la madre".

Ítem 2. Realiza un dibujo de la información genética que se encuentra en el núcleo de un óvulo y explica su función.	"En su interior contiene el material genético como ADN, para ser fecundado por un espermatozoide"	

Con respecto a la HE3.1, los estudiantes que la emplean reconocen dos niveles de organización estableciendo una relación entre los cromosomas y el ADN, y a diferencia de la HE3, aquí no mencionan a los genes. En el pretest la HE3.1 no se presentó en la muestra, mientras que en el postest 56 alumnos la utilizaron, lo que representa al 45% de la muestra total. En la tabla 5.18 se muestran las respuestas que evidencian el uso de la HE3.1.

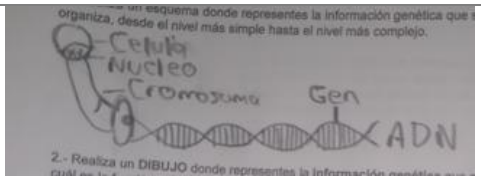
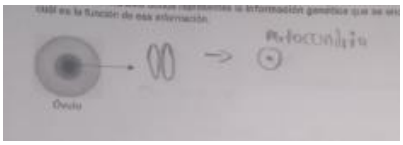
Tabla 5.18. *Respuestas del alumno folio 63 Grupo 3ro4 TM EPO anexa a la normal de Chalco HE3.1 de la categoría C.*

Ítem	Representaciones del alumno	
Ítem 1. Realiza un esquema con dibujos de los diferentes niveles en que se organiza la información genética.		
Ítem 2. Realiza un dibujo de la información genética que se encuentra en el núcleo de un óvulo y explica su función.	"Los óvulos al llegar a la fecundación con el espermatozoide provocan la combinación de cromosomas".	

Por su parte, en la HE3.2 los estudiantes reconocen tres niveles de organización de la información genética, estableciendo una relación entre los genes, los cromosomas y el ADN. En el pretest la HE3.2 no se presentó en la muestra, en el postest ocho alumnos la utilizaron, lo que representa al 6% de la muestra total de alumnos. Es importante mencionar que las HE3, 3.1 y 3.2 son excluyentes entre sí y excluyentes con la HE2, por lo tal la trayectoria de cada una de ellas sería:

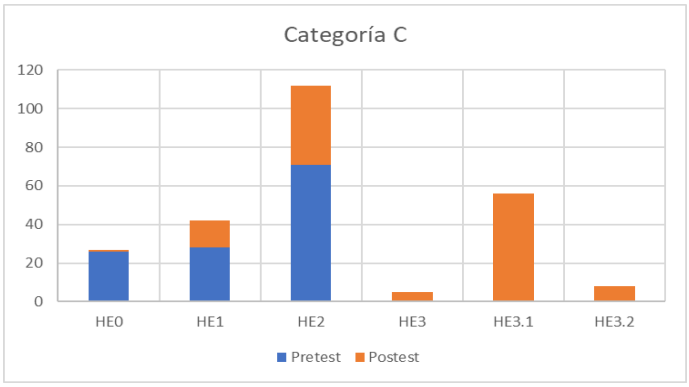
HE0+HE3, HE0+HE3.1, HE0+HE3.2 En la tabla 5.19 se muestran las respuestas que evidencian el uso de la HE3.2.

Tabla 5.19. *Respuestas del alumno folio 34 Grupo 3ro2 TM EPO 314 HE3.2 de la categoría C.*

Ítem	Representaciones del alumno	
Ítem 1. Realiza un esquema con dibujos de los diferentes niveles en que se organiza la información genética.		
Ítem 2. Realiza un dibujo de la información genética que se encuentra en el núcleo de un óvulo y explica su función.	"Se encuentran los cromosomas donde está toda la genética, genes y ADN"	

Para analizar el conjunto de datos de la categoría C, en el gráfico 5.3 se muestran las frecuencias por herramienta epistémica de los instrumentos pretest y postest; y como puede observarse, existen diferencias significativas entre las herramientas que emplean los alumnos en cada instrumento. Uno de los resultados más evidentes es que en el pretest no aparece ninguna herramienta epistémica perteneciente al conjunto de las HE3, lo que permite determinar que en esta muestra ese conjunto de HE se construye de manera escolarizada. Por otro lado, solo un alumno usó la HE0 en el postest, lo que indica que todos los estudiantes lograron representar la información genética de alguna forma.

Gráfico 5.3. *Frecuencias de la categoría C del pretest y postest.*



En esta categoría, al igual que en las anteriores es evidente la relación entre los elementos constitutivos de las representaciones con la inferencia que construyen, además de que el empleo de representaciones simbólicas de estructuras genéticas no necesariamente está vinculado con el uso de herramientas epistémicas cercanas al conocimiento escolarizado de la genética, pues pueden utilizar estructuras como ADN, genes o cromosomas, de manera fragmentada, sin establecer vínculos entre estas, lo que será un obstáculo conceptual para construir el modelo meiótico y en consecuencia relacionarlo con el genético. Solo en el conjunto de las HE3, los alumnos establecen relaciones entre las representaciones simbólicas, lo que será importante para que logren incorporarlo a los procesos de variabilidad genética y expresión de la información genética.

5.3.4 Categoría D

Como se mencionó anteriormente, la categoría D está directamente relacionada con la categoría C, ya que en conjunto dan cuenta del modelo meiótico, con el cual es posible explicar por qué ocurre la variabilidad genética. En la tabla 5.20 se muestra el conjunto de los ítems que se consideraron únicamente en esta categoría.

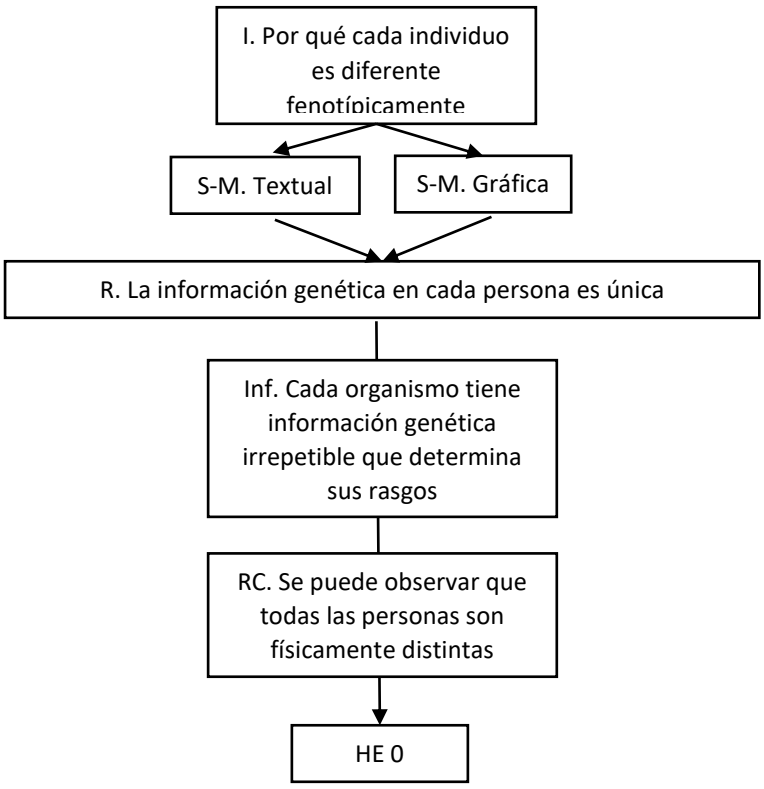
Tabla 5.20. *Preguntas consideradas para la obtención de las herramientas epistémicas de la categoría D.*

Ítem
Ítem 4. Describe a detalle por qué cada individuo es único e irrepetible físicamente; por ejemplo, aunque en ocasiones los hijos de un matrimonio sean muy parecidos, estos nunca son iguales.
Ítem 5. Responde lo que se te solicita para establecer la diferencia o semejanza entre los tipos celulares espermatozoide y célula de la piel: # de cromosomas, # de alelos, proceso por el cual se forma.
Ítem 18. Una pareja con un bebe albino se pregunta ¿Cómo se ocasiona el albinismo y por qué se presentó esta condición si ninguno de ellos es albino?
Ítem 19. Dibuja el proceso de meiosis donde se demuestre cómo el albinismo pudo ser heredado y cómo se expresó en uno de sus hijos.

En esta categoría únicamente se encontraron tres herramientas epistémicas, con distintos niveles de representación, inferencias e implicaciones conceptuales, lo que indica que es una de las categorías más complicadas para los alumnos, quienes no establecen relaciones entre esta y las otras categorías.

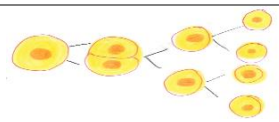
La primer HE encontrada es la denominada como 0, y los alumnos que la exhiben reconocen que cada organismo es único debido a la información genética que contiene; sin embargo, como se ve en los elementos constitutivos, la inferencia indica que los alumnos no establecen las razones de esta variabilidad fenotípica y en caso de que realicen representaciones, como un esquema del proceso de meiosis para esta situación, no indican qué ocurre con la información genética, es decir, a pesar de que pueden utilizar diferentes tipos de representaciones gráficas, estas no incluyen un nivel simbólico que permita dar respuesta a la pregunta planteada. En la figura 5.8 se muestran los elementos que componen esta HE.

Figura 5.8. *Elementos constitutivos de la HE0 de la categoría D.*



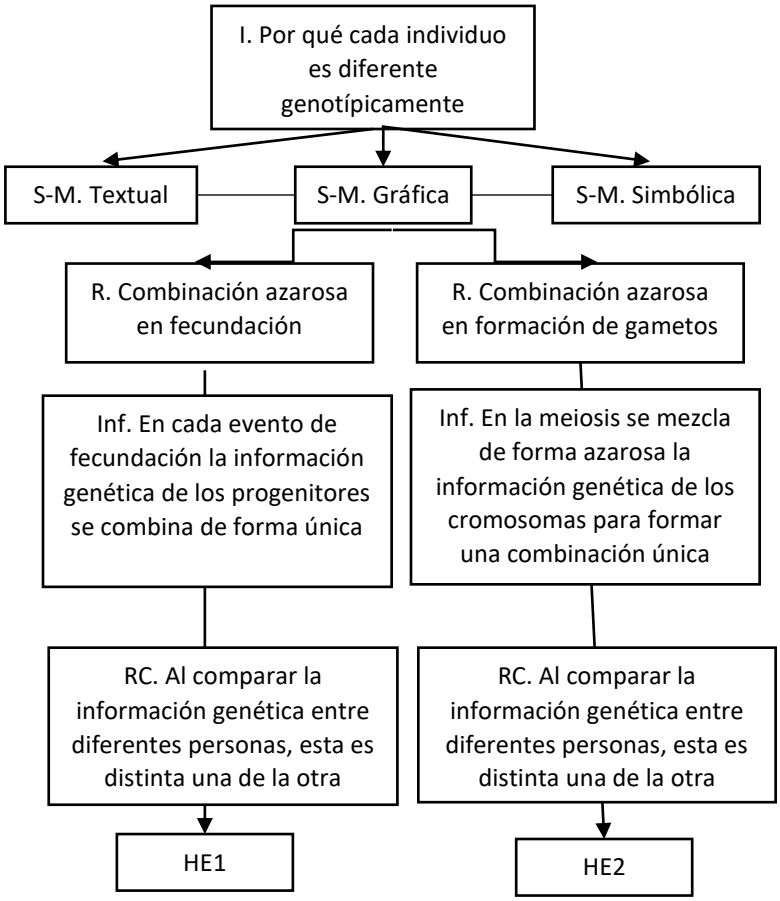
En el pretest, la HE0 tuvo una frecuencia de 89 alumnos, lo que corresponde al 71% total de la muestra; 22 de estos alumnos no utilizaron ningún tipo de representación gráfica o simbólica. En el postest, solo el 7% (9 alumnos) de la muestra utilizó la HE0, y todos ellos la emplearon también en el pretest. Esta diferencia entre pre y postest indica un cambio significativo en el uso de esta herramienta. En la tabla 5.21 se muestran las respuestas de un alumno, las cuales en conjunto indican el uso de la HE0.

Tabla 5.21. *Respuestas del alumno folio 70 Grupo 3ro3 TM EPO anexa a la normal de Chalco con HE0 de la categoría D.*

Ítem	Respuesta del alumno
Ítem 4. Describe por qué cada individuo es único e irrepetible físicamente.	Porque cada uno adquiere células de los padres, pero también tengan sus propios genes únicos
Ítem 5. Establece la diferencia o semejanza entre espermatozoide y célula de la piel.	El espermatozoide es para reproducirse y el óvulo para la división celular.
Ítem 18 ¿Cómo se ocasiona el albinismo y por qué se presenta si ningún padre es albino?	Se presenta cuando la sangre hace falta una parte de melanina piel y esta va a provocar la falta
Ítem 19. Dibuja el proceso de meiosis donde se demuestre cómo el albinismo pudo ser heredado y expresó	

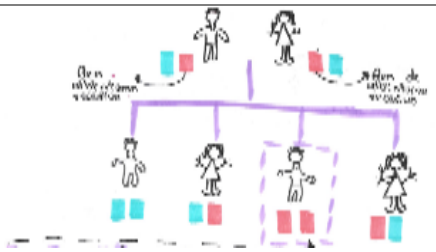
En lo referente a las HE1 y HE2, en la figura 5.9 se presentan sus elementos constitutivos.

Figura 5.9. *Elementos constitutivos de la HE1 y HE2 de la categoría D.*



En la herramienta epistémica denominada HE1, los alumnos establecen un mecanismo por el cual ocurre la variabilidad genética, y este hace referencia a la combinación de genes de ambos progenitores y, aunque algunos estudiantes que utilizan esta herramienta epistémica pueden emplear representaciones gráficas a través de esquemas que representan el proceso de meiosis, no lo relacionan con la información genética de los progenitores y, por tanto, con la variabilidad genética. En la tabla 5.22 se muestran las respuestas de un alumno que, en conjunto, indican el uso de la HE1.

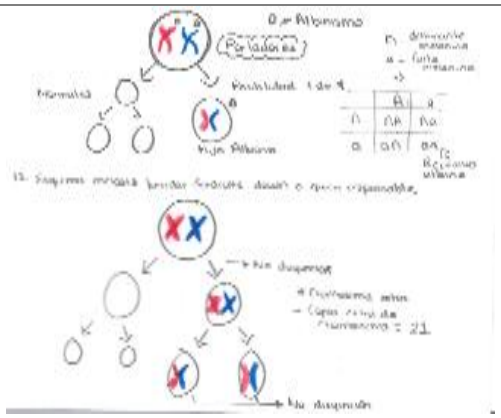
Tabla 5.22. *Respuestas del alumno folio 100 Grupo 3ro3 TM EPO anexa a la normal de Chalco con HE1 de la categoría D.*

Ítem	Respuesta del alumno
Ítem 4. Describe por qué cada individuo es único e irrepetible físicamente.	"Porque la combinación de los cromosomas cuando ocurre la fecundación jamás es igual puede tener muchas coincidencias, pero jamás será idéntica, esto lo podemos saber gracias al cuadro de Punnett, siempre existirá un tanto por ciento de probabilidad de que salga con una característica especifica".
Ítem 5. Establece la diferencia o semejanza entre tipos celulares.	"El espermatozoide es para reproducirse se forma por espermatogénesis y el óvulo para la queratinización".
Ítem 18 ¿Cómo se ocasiona el albinismo y por qué se presenta si ningún padre es albino?	"Bueno pues este defecto genético se caracteriza porque el cuerpo es incapaz de producir o distribuir melanina, en este caso puede ser que los padres tuvieron albinismo recesivo, pero al tener a su bebe los dos genes recesivos se combinaron y por eso salió en él bebe".
Ítem 19. Dibuja el proceso de meiosis donde se demuestre cómo el albinismo pudo ser heredado y expresado	

En el pretest la HE1 tuvo una frecuencia de 35 alumnos, lo que corresponde al 28% total de la muestra; todos ellos emplearon un tipo de representación gráfica con respecto a la combinación de información genética de los progenitores, representada en su mayoría como bolitas, rectángulos, colores. En el postest, 104 alumnos la utilizaron, lo que representa el 83% de la muestra.

En lo referente a la HE2, es distinta a la HE1 debido a que los alumnos establecen un mecanismo por el cual ocurre la variabilidad genética, que se relaciona con el proceso de meiosis y que da como resultado que cada una de las células sexuales sea distinta. En la tabla 5.23 se muestran las respuestas de un alumno, las cuales indican el uso de la herramienta epistémica designada como HE2.

Tabla 5.23. *Respuestas del alumno folio 76 Grupo 3ro3 TM EPO anexa a la normal de Chalco con HE2 de la categoría D.*

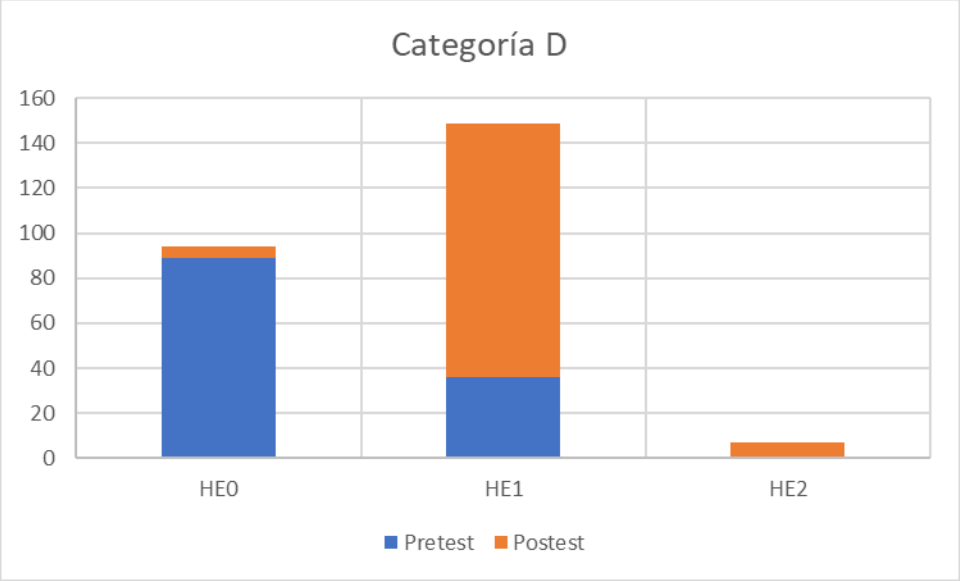
Ítem	Respuestas del alumno
Ítem 4. Describe por qué cada individuo es único e irrepetible físicamente.	"Somos únicos e irrepetibles porque el material genético contenido en cada ovulo y espermatozoide es diferente. El espermatozoide es para reproducirse se forma por espermatogénesis. La mayoría del ADN se encuentra en el núcleo celular, dentro de la célula existe el cariotipo y los cromosomas. Tiene 46 porque 23 fueron por cada progenitor en su núcleo, 22 pares son los que contienen la información para construir al individuo y 1 par que configura el sexo genético".
Ítem 5. Establece la diferencia o semejanza entre los tipos celulares espermatozoide y célula de la piel.	"Los espermatozoides se forman por meiosis y tienen 23 cromosomas, y las células de la piel por mitosis".
Ítem 18 ¿Cómo se ocasiona el albinismo y por qué se presenta si ningún padre es albino?	Cada gameto va a llevar dos ciertos genes y coincidió que se unieron los recesivos que determinan la mitosis.
Ítem 19. Dibuja el proceso de meiosis donde se demuestre cómo el albinismo pudo ser heredado y expresado	

En el pretest, la HE2 tuvo una frecuencia de un alumno, quien describió el proceso de meiosis, pero no realizó representaciones gráficas o simbólicas del mismo. Por otra parte, en el postest 13 alumnos utilizaron esta herramienta, lo que representa el 10% del total de la muestra, cabe mencionar que todos emplearon un tipo de representación gráfica con uso de símbolos respecto a la combinación de información genética de los cromosomas, lo que ocasiona la variabilidad de genes

o ADN, es decir, reconocen los niveles de organización genética y establecen un vínculo entre estos.

Para analizar los datos anteriores, en el gráfico 5.4 se muestran las frecuencias por herramienta epistémica de los instrumentos pretest y postest. Como puede observarse, existen diferencias significativas entre las herramientas que emplean los alumnos en cada instrumento.

Gráfico 5.4. *Frecuencias de la categoría D del pretest y postest.*



Uno de los resultados más evidentes es que en el pretest el 74% de la muestra empleó una herramienta epistémica cuya inferencia no establece un mecanismo de variabilidad genética; mientras que en el postest la HE1 es la que tiene mayor uso, y en ella sí se describe un mecanismo por el cual ocurre la variabilidad genética y aunque éste no se encuentra relacionado con el proceso de meiosis, sí se centra en los procesos de dominancia y recesividad, lo cual es consistente con los resultados obtenidos en la categoría B. Sin embargo, esta consistencia no se presenta con las categorías A y C, en la que hay un mayor de número de alumnos que emplean herramientas epistémicas con símbolos genéticos, lo que pone en evidencia que, aunque pueden utilizarlos, lo hacen de manera fragmentada, sin establecer relaciones en términos de modelos.

Como es evidente, el modelo meiótico es uno de los más complicados de construir y comprender por los alumnos pues, en primer lugar, solo siete alumnos realizaron representaciones e inferencias referidas al proceso de meiosis, y en segundo lugar solo se identificó el uso de tres HE, y las primeras dos HE no son cercanas al conocimiento escolarizado, ya que la HE0 se centra en cuestiones intuitivas o perceptibles y la HE1 se limita al proceso de dominancia y recesividad, evidenciando que se sigue pensando en el modelo genético y no en el meiótico.

Es importante señalar que los alumnos que pudieron generar inferencias que muestran una construcción del modelo meiótico, para la categoría C utilizaron representaciones donde reconocen los distintos niveles en los que la información genética se organiza, desde ADN, cromosomas y genes. Sin embargo, no todos los que utilizan estas representaciones pueden relacionarlas con el modelo meiótico, lo cual es un indicativo que los alumnos no reconocen la intencionalidad de generar un modelo explicativo, pues sus respuestas son fragmentadas. Además, las herramientas epistémicas que incluyen el uso de inferencias cercanas al conocimiento escolarizado de la genética no se presentan en el pretest, y en dicha aplicación predominan visiones sustancialistas, en las que la información genética es pensada como entidades genéticas, que presentan variaciones en la expresión de las generaciones, principalmente por cómo se combina esta información durante el proceso de fecundación.

5.3.5 Categoría E

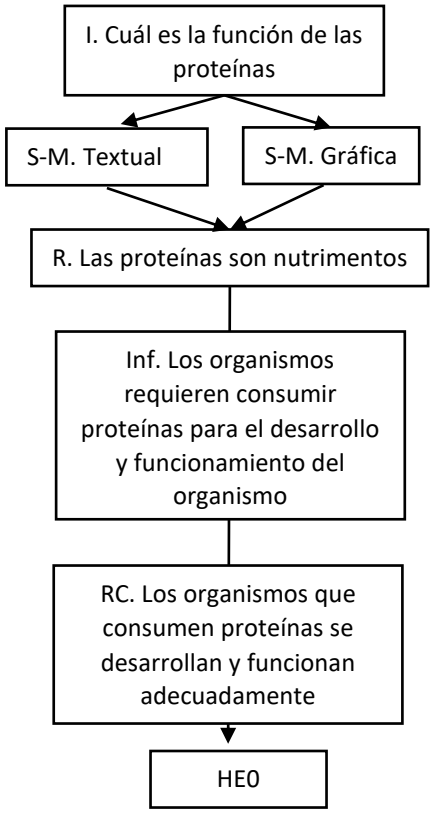
El modelo molecular está implicado en las categorías E y F que contribuyen a explicar cómo es el ADN se puede expresar en el fenotipo de los individuos. Para que los alumnos puedan construir este modelo, deben identificar el nivel de ADN, los aminoácidos, código genético, ARN, proteínas y los procesos de transcripción y traducción. En total se encontraron cuatro herramientas para esta categoría. Sin embargo, una de ellas no está relacionada con la información genética sino con las proteínas como biomoléculas que se encuentran en los alimentos. En la tabla 5.24 se muestra el conjunto de los ítems que fueron considerados en esta categoría.

Tabla 5.24. *Preguntas consideradas para la obtención de las herramientas epistémicas de la categoría E.*

Ítems de la categoría E
Ítem 9. ¿Las proteínas tienen alguna relación con la información genética y el fenotipo de una persona, como el tipo de cabello o el color de ojos?
Ítem 10. Algunas bacterias como las *E. coli* presenta un color fluorescente ¿Cómo es que se expresa esta característica y por qué algunas bacterias lo tienen con mayor intensidad que otras?
Ítem 11. Para que sea más claro. Realiza un esquema o dibujo donde puedas explicar cómo la información genética que se encuentra en el ADN de un organismo se expresa en un fenotipo

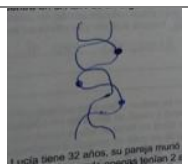
La HE0 identificada en esta categoría está referida al hecho de que los alumnos conceptualizan a las proteínas como biomoléculas, y refieren que se consumen a través de los alimentos y que estas son importantes para el correcto funcionamiento del organismo y, aunque su inferencia es correcta, no responden a la intención de la categoría, que buscaba que explicaran cómo es que el ADN genera proteínas para la expresión de las características. Esta HE indica que los alumnos que la utilizan no realizan una conexión conceptual con las demás HE referidas a los procesos de herencia y expresión genética. En la figura 5.10 se muestran los elementos constitutivos de la HE0.

Figura 5.10. *Elementos constitutivos de la HE0 de la categoría E.*



El tipo de representaciones e inferencias que emplearon este grupo de alumnos se muestran en la tabla 5.25, donde se observa que los alumnos reconocen que la información genética se relaciona con la expresión de las características en un individuo, pero no explican cuál es el mecanismo por el cual se expresa.

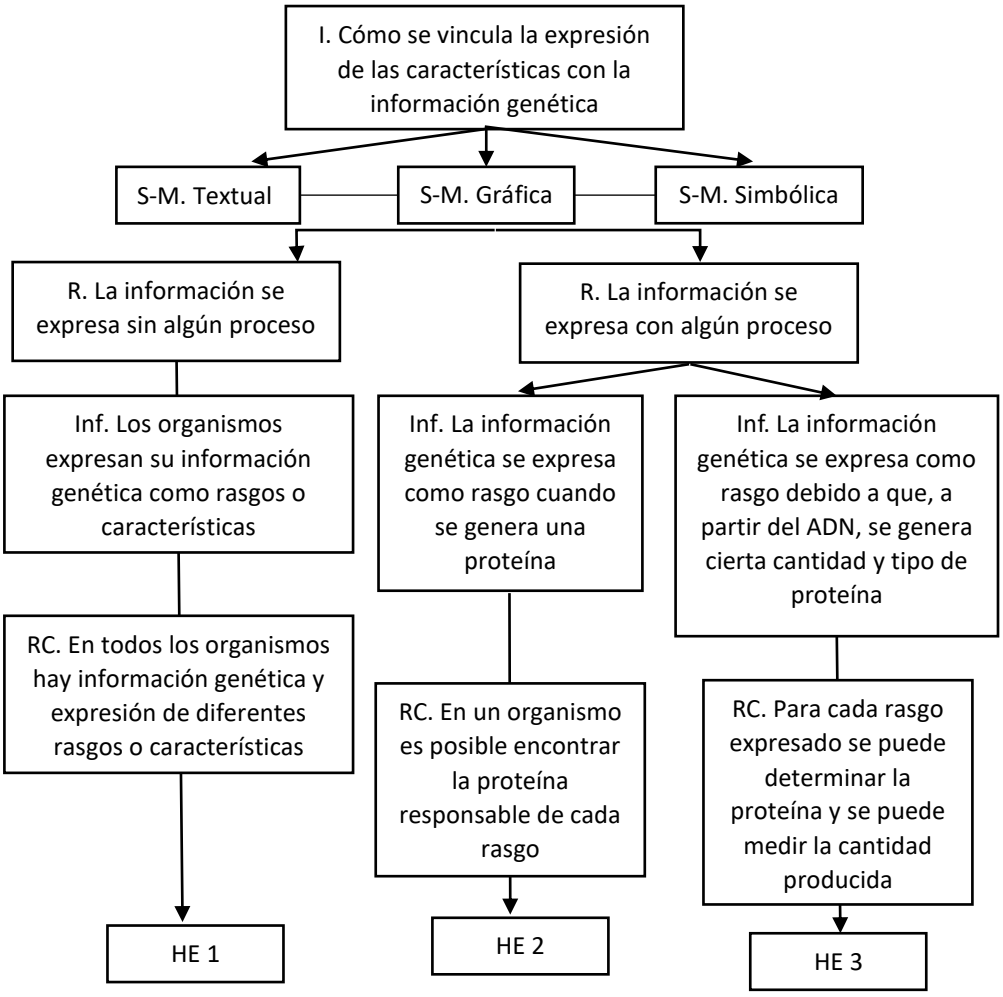
Tabla 5.25. *Respuestas del alumno folio 6 Grupo 3ro1 TM EPO 314 con HE0.*

Ítem	Representaciones del alumno
Ítem 9. ¿Las proteínas tienen alguna relación con la información genética y el fenotipo?	"solo un poco, porque son biomoléculas que uno consume, son nutrientes que ayudan en el desarrollo del cuerpo, la salud, etc.…"
Ítem 10 ¿Cómo es que se expresa una característica en bacterias?	"Esto es porque todas las bacterias son diferentes, unas más fuertes que otras, aunque tengan el mismo proceso"
Ítem 11. Realiza un esquema o dibujo donde puedas explicar cómo la información se expresa en un fenotipo	

En el pretest la HE0 tuvo una frecuencia de 22 alumnos, lo que corresponde al 18% total de la muestra, mientras que en el postest su uso bajó a la mitad, al presentarse en un 9% de la muestra (11 alumnos).

Con respecto al otro conjunto de HE, los alumnos reconocen que la información genética está relacionada con la expresión de los rasgos en los organismos. En la figura 5.11 se muestran los elementos constitutivos de este grupo de HE.

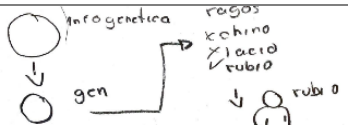
Figura 5.11. *Elementos constitutivos de las HE1, HE2 y HE3 de la categoría E.*



Con respecto a la HE1, los alumnos reconocen que la información genética se relaciona con la expresión de las características en un individuo, pero no explican cuál es el mecanismo por el cual se expresa. En el pretest la HE1 tuvo una frecuencia de 103 alumnos, lo que corresponde al 82% total de la muestra; mientras que en el postest 53 alumnos (42%) de la muestra la utilizaron.

Es importante señalar que de los 103 alumnos que utilizan la HE1 en esta categoría en el pretest, 57 de ellos emplean símbolos genéticos de ADN, cromosomas o genes en las categorías A y C, mientras que para el postest de los 53 alumnos que usan la HE1, 47 emplean símbolos genéticos en las categorías A y C. Esta situación indica que pueden reconocer cómo son las estructuras de la información genética, pero no identifican un mecanismo por el cual éstas se expresan en los rasgos del fenotipo. En la tabla 5.26 se muestran las respuestas de un alumno, las cuales en conjunto indican el uso de la herramienta epistémica designada como HE1.

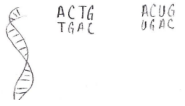
Tabla 5.26. *Respuestas del alumno folio 16 Grupo 3ro2 TM EPO 314 con HE1.*

Ítem	Representaciones del alumno
Ítem 9. ¿Las proteínas tienen alguna relación con la información genética y el fenotipo?	"no sé, podría ser para ayudar a dar color o forma"
Ítem 10 ¿Cómo es que se expresa una característica en bacterias?	"Esto depende del tamaño, hay bacterias más grandes y por eso"
Ítem 11. Realiza un esquema o dibujo donde puedas explicar cómo la información se expresa en un fenotipo	

La HE2 fue evidenciada por alumnos que para esta generaron representaciones sobre la información genética como las que se muestran en la tabla 5.27. Estas representaciones indican que los alumnos reconocen que la información genética (ADN y genes) se relaciona con la expresión de las características en un individuo, y aunque no explican claramente cuál es el mecanismo por el cual se expresa, porque sus respuestas se limitan a hablar únicamente de la activación de un gen, reconocen que este proceso genera proteínas las cuales son las encargadas de la expresión de determinado rasgo en el organismo, por lo que la trayectoria de estos alumnos sería HE1+HE2. En el pretest, esta herramienta epistémica no se presentó. Sin embargo, en el postest tuvo una frecuencia de 56 alumnos, lo que corresponde al 45% de la muestra total, todos los que la emplearon generaron representaciones de estructuras genéticas definidas. Vale la pena destacar que el

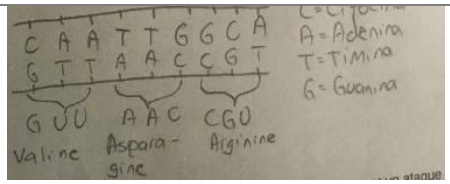
uso de esta herramienta es un paso importante en la construcción del modelo molecular, porque los genes comienzan a concebirse como partículas activas que tienen que pasar por un proceso para su expresión.

Tabla 5.27. *Respuestas del alumno folio 50 Grupo 3ro4 TV EPO 314 con HE2.*

Ítem	Representaciones del alumno
Ítem 9. ¿Las proteínas tienen alguna relación con la información genética y el fenotipo?	"sí están relacionadas porque ellas se encargan de crear el color o formar algunas características del individuo".
Ítem 10 ¿Cómo es que se expresa una característica en bacterias?	"Esto es porque las bacterias también crean sus proteínas cuando se activa el gen para eso, así las que tienen un color intenso es porque las producen más proteínas".
Ítem 11. Realiza un esquema o dibujo donde puedas explicar cómo la información se expresa en un fenotipo	"Código para activar el gen y producir una proteína" 

La siguiente herramienta epistémica, denominada HE3, fue evidenciada por alumnos que dieron respuestas como las que se muestran en la tabla 5.28.

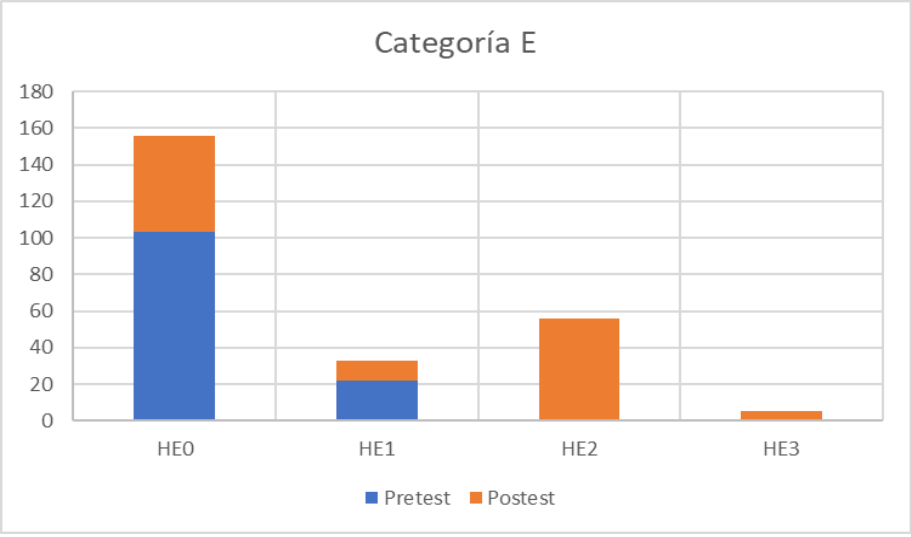
Tabla 5.28. *Respuestas del alumno folio 63 Grupo 3ro3 TM EPO Anexa a la normal de Chalco con HE3.*

Ítem	Representaciones del alumno
Ítem 9. ¿Las proteínas tienen alguna relación con la información genética y el fenotipo?	"sí están relacionadas, porque están hechos de aminoácidos y estas son la información dentro de un gen, además cada una tiene una función como la de pigmentación que es la que da el color".
Ítem 10 ¿Cómo es que se expresa una característica en bacterias?	"Esto es porque las bacterias producen determinada cantidad de pigmento por las proteínas que producen, es mayor que la de otras".
Ítem 11. Realiza un esquema o dibujo donde puedas explicar cómo la información se expresa en un fenotipo	

Las respuestas que se muestran en la tabla 5.28 ponen en evidencia que los alumnos reconocen que la información genética (ADN y genes) se relaciona con la expresión de las características en un individuo, explican cuál es el mecanismo implicado (síntesis de proteínas), y reconocen la activación de un gen que produce aminoácidos y estos a su vez generan una proteína, que es la encargada de la expresión de determinado rasgo en el organismo, la configuración para esta HE es HE1+HE2+HE3. Esta herramienta epistémica no se presentó en el pretest, y en el postest tuvo frecuencia de 5 alumnos, 4% total de la muestra.

Para analizar los datos anteriores, en el gráfico 5.4 se muestran las frecuencias por herramienta epistémica de los instrumentos pretest y postest; y como puede observarse, existen diferencias significativas. Uno de los resultados más evidentes es que en el pretest solo emplearon las herramientas epistémicas 0 y 1, con las que utilizan inferencias intuitivas con respecto a que la información genética se expresa en rasgos sin mencionar algún mecanismo y desvinculando totalmente a las proteínas dentro de la expresión de la información genética. Por otra parte, en el postest se emplean las HE2 y HE3 donde los alumnos pueden establecer un mecanismo por el cual ocurre la expresión de la información genética, vinculándolo con la activación de genes y la formación de proteínas.

Gráfico 5.5. *Frecuencias de la categoría E del pretest y postest.*



5.3.6 Categoría F

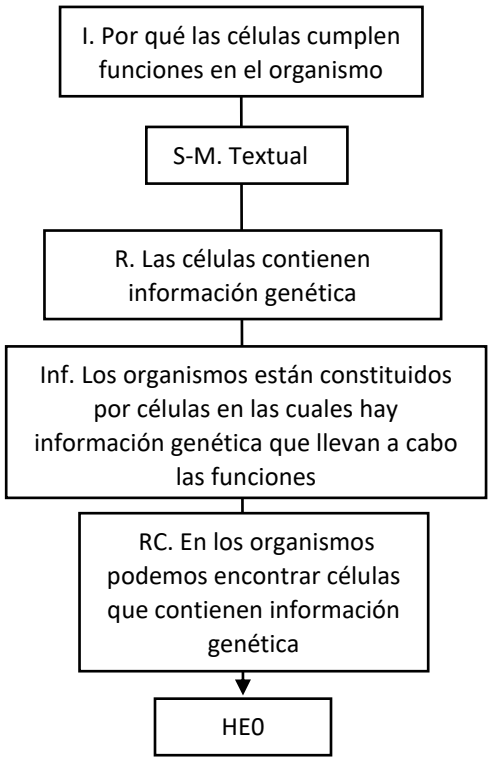
Esta categoría forma parte del modelo molecular, en la cual se busca que los alumnos reconozcan los procesos de especialización celular; es decir, por qué, aunque todas las células de un mismo individuo tienen la misma información genética, cada tipo celular se encarga de funciones distintas y forma estructuras diferentes. En la tabla 5.29 se muestra el conjunto de los ítems que fueron considerados en esta categoría.

Tabla 5.29. *Preguntas consideradas para la obtención de las herramientas epistémicas de la categoría F.*

Ítems de la categoría F
Ítem 5. Menciona las diferencias que existen entre un espermatozoide y una célula de la piel, con respecto al proceso que las forma y número de cromosomas que contienen.
Ítem 8. Pensando únicamente en las células somáticas, ¿hay diferencia en la información genética que tiene cada una de estas células? ¿por ejemplo, si comparamos las que forman tus ojos con las que forman tu corazón?

Como se puede notar en las preguntas, en esta categoría se solicita una respuesta escrita, por lo cual el símbolo material empleado únicamente fue textual. Los resultados encontrados ponen en evidencia el uso de cuatro diferentes herramientas epistémicas, cada una con distintos niveles de representación, inferencias e implicaciones conceptuales, las cuales se separaron en dos condiciones. En la primera solo está presente la herramienta epistémica 0 en la cual el alumno se limita a generar inferencias que mencionan que cada organismo tiene información genética que es responsable de llevar a cabo las funciones en las células, sin que haga mención si esta es la misma o diferente en cada una de ellas. En la figura 5.12 se encuentran los elementos constitutivos de la HE0.

Figura 5.12. *Elementos constitutivos de la HE1 de la categoría F.*



En el pretest la herramienta epistémica 0 tuvo una frecuencia de 40 alumnos, lo que corresponde al 32% total de la muestra; mientras que en el postest el 22% de la muestra la utilizaron (28 alumnos). En la tabla 5.30 se muestran las respuestas de un alumno, las cuales en conjunto indican el uso de la herramienta epistémica designada como HE0.

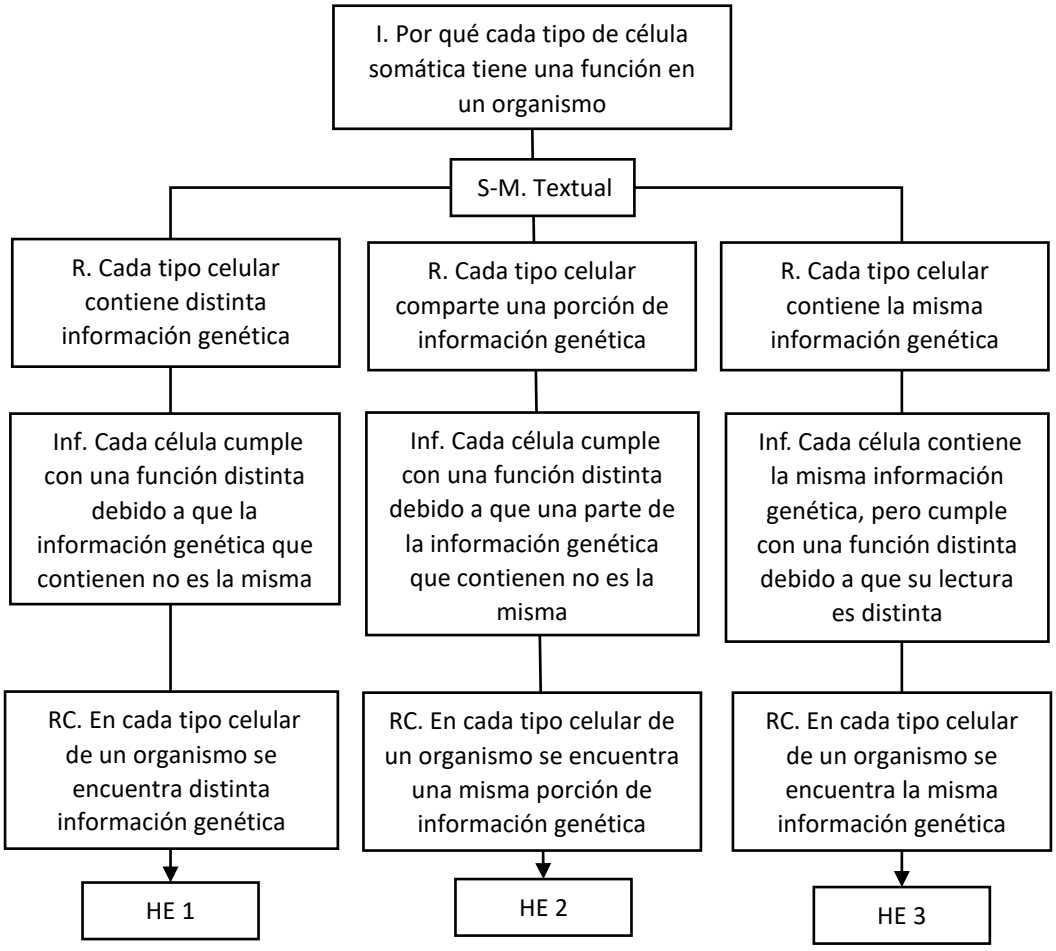
Tabla 5.30. *Respuestas de alumno folio 33 Grupo 3ro2 TM EPO 314 con HE0.*

Ítem	Representaciones del alumno
Ítem 5. Menciona las diferencias que existen entre un espermatozoide y una célula de la piel.	"Las dos se forman por reproducción, tienen los 46 cromosomas que es su información genética"
Ítem 8. ¿Hay diferencia en la información genética que tiene cada una de las células somáticas que conforman a un individuo?	"En cualquier ser vivo se encuentran los tipos de células, donde hay ADN que es la información genética, y cada célula cumple funciones".

En la segunda condición, los alumnos generan distintas inferencias que dan respuesta a porqué las diferentes células somáticas que conforman a un

organismo tienen distintas funciones, siendo cada una de estas excluyentes entre sí. En la figura 5.13 se muestran los elementos constitutivos de dichas HE.

Figura 5.13. *Elementos constitutivos de la HE1, HE2 y HE3 de la categoría F.*



Con respecto a la HE1, en el pretest tuvo una frecuencia de 63 alumnos, lo que corresponde al 50% total de la muestra; mientras que en el postest el 22% de la muestra la utilizaron (28 alumnos), lo que muestra una diferencia significativa. Los alumnos que emplearon esta HE emplearon respuestas como las que se muestran en la tabla 5.31.

Tabla 5.31. *Respuestas del alumno folio 19 Grupo 3ro2 TM EPO 314 con HE1.*

Ítem	Representaciones del alumno
Ítem 5. Menciona las diferencias que existen entre un espermatozoide y una célula de la piel.	"Uno tiene información genética para la reproducción y otro para las características del organismo".
Ítem 8. ¿Hay diferencia en la información genética que tiene cada una de las células somáticas que conforman a un individuo?	"Si, si hay diferencia, y es que la información genética en uno y otro tipo celular cambia, cada parte del cuerpo tiene un código genético que es distinto".

Las respuestas que se muestran en la tabla previa indican que los alumnos reconocen que cada tipo celular contiene información genética distinta, ya que en eso radica la diferencia y función de los tipos celulares. En el pretest la HE1 tuvo una frecuencia de 63 alumnos, lo que corresponde al 50% total de la muestra; mientras que en el postest el 22% de la muestra la utilizaron (28 alumnos).

La herramienta epistémica denominada HE2 fue evidenciada por alumnos que generaron representaciones como las que se muestran en la tabla 5.32.

Tabla 5.32. *Respuestas del alumno folio 76 Grupo 3ro3 TM EPO Anexa a la normal de Chalco con HE2.*

Ítem	Representaciones del alumno
Ítem 5. Menciona las diferencias que existen entre un espermatozoide y una célula de la piel.	"Unas se forman por espermatogénesis u otras por el desarrollo embrionario, de ahí las células madre".
Ítem 8. ¿Hay diferencia en la información genética que tiene cada una de las células somáticas que conforman a un individuo?	"Si, si hay diferencia, pero a la vez no, yo diría que porque las células son diferentes porque están diseñadas para crear o conformar alguna parte de nuestro cuerpo en particular, y algunas necesitan más de otras cosas, pero lo que no se modifica es el material genético base que cada una contiene y nos hace únicos".

Las respuestas que se muestran en la tabla 5.32 indican que los alumnos reconocen que cada tipo celular contiene información genética distinta, ya que en eso radica la diferencia y función de cada tipo celular, pero además reconocen que como provienen de un mismo individuo, comparten cierto tipo de información genética propia de dicho individuo. En el pretest la HE2 tuvo una frecuencia de 22 alumnos, lo que corresponde al 18% total de la muestra; mientras que en el postest la utilizaron 28 alumnos (22%).

La siguiente herramienta epistémica, denominada HE3, fue evidenciada por alumnos que generaron representaciones sobre la información genética como las que se muestran en la tabla 5.33.

Tabla 5.33. *Respuestas del alumno folio 79 Grupo 3ro3 TM EPO Anexa a la normal de Chalco con HE3.*

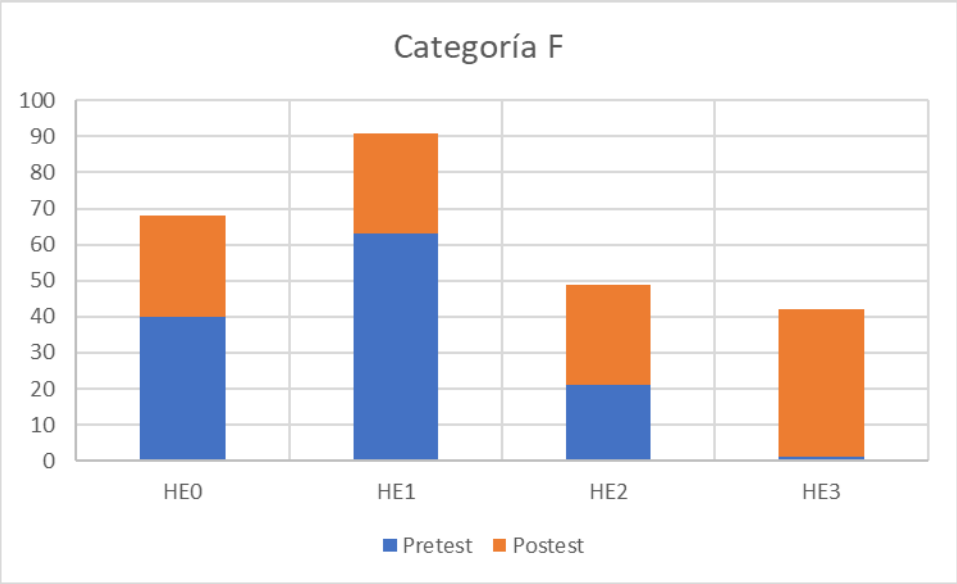
Ítem	Representaciones del alumno
Ítem 5. Menciona las diferencias que existen entre un espermatozoide y una célula de la piel.	"Unas se forman por espermatogénesis y las otras por el proceso de mitosis".
Ítem 8. ¿Hay diferencia en la información genética que tiene cada una de las células somáticas que conforman a un individuo?	"Si, si hay diferencia, y es que la información genética en uno y otro tipo celular cambia en el orden, es decir, la lectura del código genético es distinto, pero solo eso, porque el ADN es el mismo, ya que se trata de la misma persona".

Las respuestas que se muestran en la tabla 5.33 indican que los alumnos reconocen que cada tipo celular contiene información genética idéntica ya que proviene de un mismo individuo, además de que estas células son creadas a través del proceso de mitosis, lo que indica que establecen un vínculo con los modelos molecular y genético. En el pretest la HE3 no fue evidenciada; mientras que en el postest el 33% de la muestra la utilizó (41 alumnos).

Para analizar los datos anteriores, en el gráfico 5.6 se muestran las frecuencias por herramienta epistémica de los instrumentos pretest y postest de esta categoría. Como puede observarse, existen diferencias significativas entre las

herramientas que los alumnos emplean en cada instrumento. Uno de los resultados más evidentes es que en el pretest las herramientas epistémicas 0 y 1 presentan las frecuencias más altas, y están caracterizadas porque los alumnos no evidencian conocimientos sobre los procesos de mitosis o especialización celular, las inferencias que utilizan son de tipo intuitivo. Con respecto a la HE2 pareciera que los alumnos están en proceso de comprender el proceso de especialización celular al reconocer que en parte todas comparten algo del ADN pues corresponden a un mismo organismo. Por otra parte, en el postest, aunque con frecuencia baja, se presenta la HE3 con la que los alumnos pueden establecer un mecanismo por el cual todas las células que conforman a un organismo comparten la misma información genética.

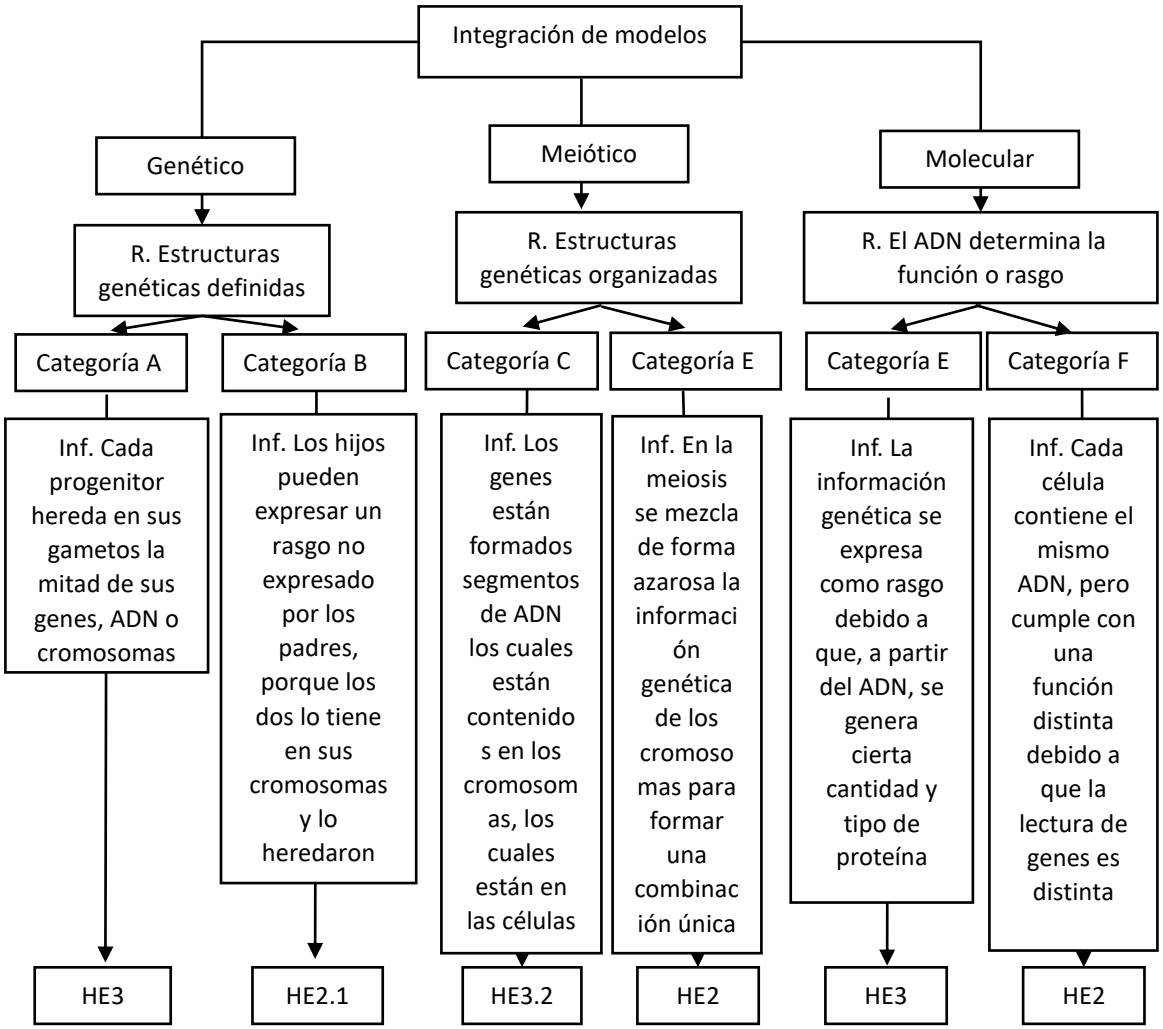
Gráfico 5.6. *Frecuencias de la categoría F del pretest y postest.*



5.4 Análisis de la integración de los tres modelos

Los resultados analizados muestran la dificultad que los alumnos tienen para lograr una comprensión adecuada e integrada de los temas genéticos, ya que, en primer lugar, solo un alumno de toda la muestra mostró un dominio completo e integrado de los tres modelos conceptuales pues empleó herramientas epistémicas cercanas al conocimiento genético. En la figura 5.14 se muestra la trayectoria de HEs acompañada de las inferencias empleadas por este alumno.

Figura 5.14. *Herramientas epistémicas utilizadas por un alumno con dominio completo de los tres modelos conceptuales.*

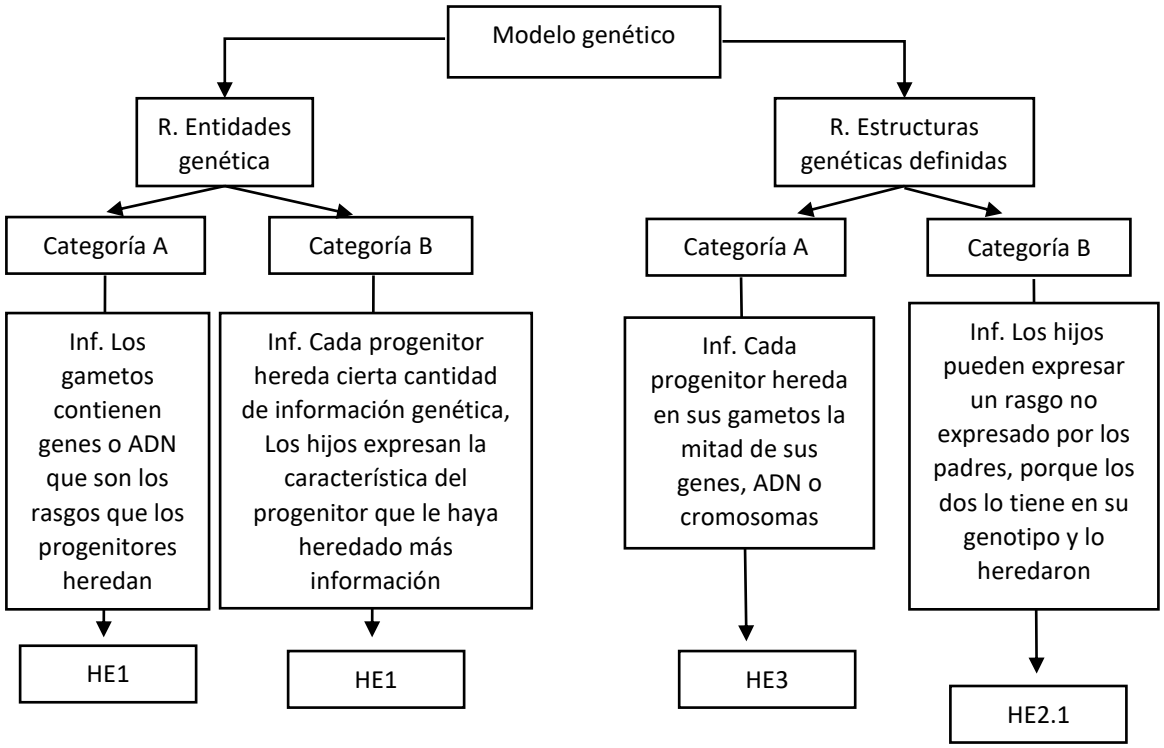


Como puede apreciarse en la figura 5.13, un mismo alumno exhibe una gama de HE que dan cuenta de sus alcances en los tres modelos. no utiliza la misma. Cabe destacar que no es posible pensar que en todas las categorías su HE tendrá el mismo número, esto debido a las HE se numeraron por categoría de acuerdo con su aparición en toda la muestra. Lo que sí es válido asumir es que mientras más alto sea el número de HE que aparece en cada categoría, se refleja un conocimiento más cercano a lo que se busca que el alumno construya desde el ámbito escolar.

5.4.1 Modelo genético

En particular, para analizar la construcción del modelo genético, podemos partir del ejemplo que se muestra en la figura 5.15, donde se aprecia que las A y B dan cuenta del alcance en la comprensión de los estudiantes para dicha construcción; estas categorías los alumnos con la HE1 consideran a la información genética como entidades materiales e individuales, y construyen inferencias en las cuales se refleja una visión sustancialista que concibe que la información es el rasgo y, por tanto, se puede contabilizar, por lo que es evidente que no existe una construcción del modelo genético, en el pretest la frecuencia de las HE1 fue de 40 y en el postest de 30 alumnos.

Figura 5.15. *Herramientas epistémicas que ejemplifican la construcción del modelo genético.*

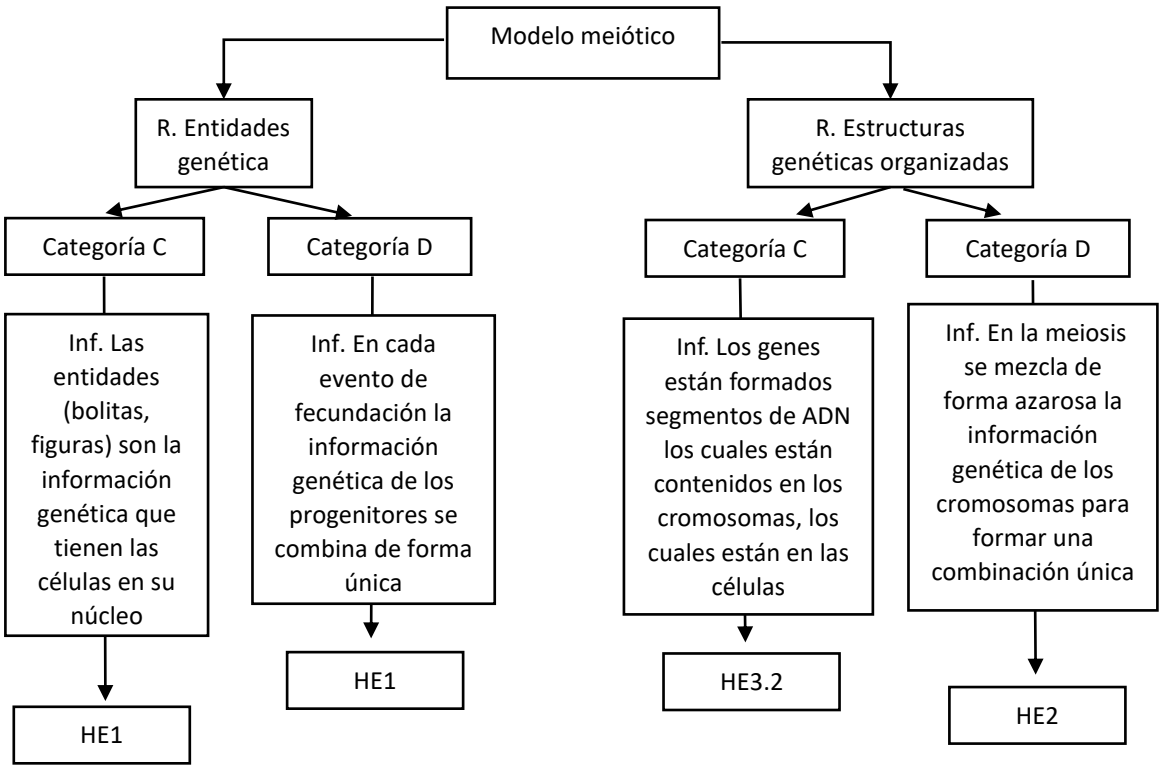


En cuanto a los alumnos que en las categorías A y B exhiben las HE3 y HE2.1, en su representación consideran a la información genética como estructuras definidas, se nota la construcción del modelo genético en quienes reconocen que es la mitad de la información la que se hereda y, por tanto, para que se exprese un gen debe de existir un mecanismo como el de dominancia y recesividad el cual se encuentra implícito en su inferencia. En el pretest ningún alumno utilizó la HE3 o la HE2.1 en las categorías A y B, mientras que en el postest 25 alumnos mostraron un dominio completo del modelo genético.

5.4.2 Modelo meiótico

Con respecto al modelo meiótico, solo cinco alumnos mostraron un dominio completo de este proceso, situación que solo se presentó en el postest. En el lado izquierdo de la figura 5.16 se observan inferencias con herramientas epistémicas designadas como HE1 para las categorías C y D, donde los alumnos conciben a la información genética como entidades, lo que no les permite establecer un modelo de recombinación de genes para explicar la variabilidad genética, si bien reconocen su existencia, no reconocen el mecanismo. En la parte derecha de la figura se ubican los alumnos que en conjunto emplean la HE3.2 y HE2 en las categorías C y D, quienes reconocen la información genética como estructuras organizadas, lo que les permite construir un modelo conceptual sobre el proceso de variabilidad genética.

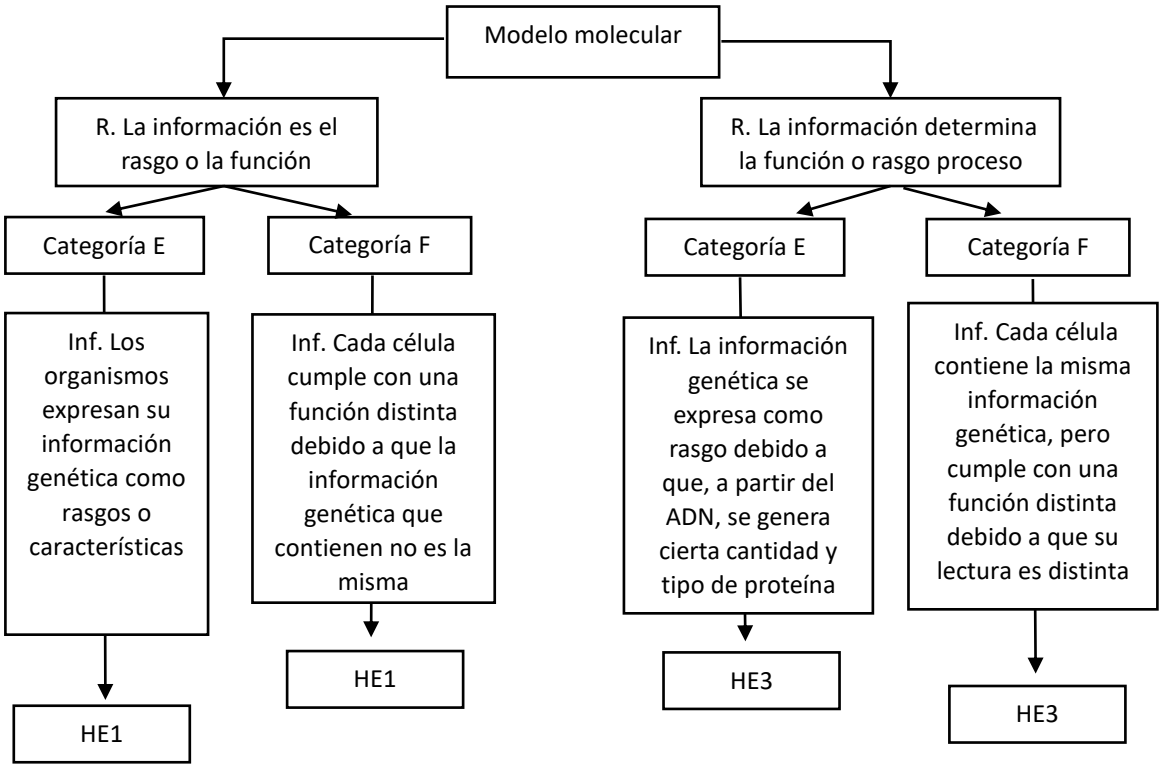
Figura 5.16. *Herramientas epistémicas que ejemplifican la construcción del modelo meiótico.*



5.4.3 Modelo molecular

Uno de los modelos más complejos reportados en la literatura es el modelo molecular, situación que es coincidente con los resultados obtenidos, ya que solo dos alumnos, en el postest, generaron inferencias que indican un dominio completo de este modelo, mientras que 37 alumnos emplearon herramientas como la HE1 con la que no generan inferencias que expliquen cómo ocurre la expresión de características a partir del ADN. En la figura 5.17 se ejemplifica la trayectoria de alumnos que en las categorías E y F tienen esta situación.

Figura 5.17. *Herramientas epistémicas que ejemplifican la construcción del modelo molecular.*



Estos resultados indican que los alumnos, en su mayoría, no utilizan de manera articulada las representaciones que generan en cada categoría para integrarlas en modelos, y evidencia que es aún más complicado establecer conexiones entre los diferentes modelos.

Con respecto a la dificultad por categoría, los resultados indican que la categoría B, que hace referencia a la expresión de un fenotipo con los conceptos de dominancia y recesividad, es la que los alumnos pudieron responder con mayor facilidad, ya que 72 de ellos emplearon herramientas epistémicas que son correspondientes con el conocimiento escolarizado. La categoría C, referida a cómo se organiza la información genética dentro de las células, también mostró que los alumnos tienen una alta comprensión, puesto que 64 lograron dar respuestas en distintos formatos representacionales que son correspondientes con el conocimiento escolarizado.

En contraste con los datos anteriores, se encontró que la categoría D presentó mayor dificultad y está referida a cómo ocurre el proceso de variabilidad genética, pues en el postest los alumnos siguen utilizando concepciones sustancialistas de la información genética, pues 113 de ellos no reconocen a la meiosis como fuente de variabilidad genética, ya que todo lo atribuyen al mecanismo de dominancia y recesividad, haciendo evidente que estos dos modelos están ligados, pero los alumnos no establecen dicha relación de manera adecuada.

El mayor avance con respecto a los datos del pretest y postest, se obtuvo en la categoría E, referente a la expresión del ADN, ya que se pone en evidencia que los alumnos comienzan a construir un modelo encaminado a reconocer y comprender procesos moleculares. Sin embargo, también para esta categoría, en el pretest se identificó la menor correlación con el resto de las categorías, lo que nuevamente indica que el nivel molecular es complejo para los alumnos y no logran vincularlo con el resto de las categorías. Por otro lado, la mayor correlación se encontró entre las categorías A y C, lo que indica que cuando los alumnos pueden identificar de manera simbólica cómo es la información genética, también pueden establecer conexiones sobre qué es lo que los gametos heredan para la expresión de las características, es decir, que si en la categoría A pueden representar estructuras genéticas, en la categoría C relacionan esas estructuras para explicar cómo es que en ellas se encuentran las características que los progenitores heredan a su descendencia.

En el postest, la menor correlación se presentó entre la categoría A concerniente a la información genética y el resto de las categorías, lo que indica que los alumnos pueden generar representaciones gráficas y simbólicas sobre la información genética, pero esto no garantiza que puedan vincularlas con otros aspectos para generar inferencias de otros modelos conceptuales, por lo que la construcción se sigue presentando de manera fragmentada.

Por otro lado, aunque no es el propósito de esta investigación, se realizó un análisis para saber si se presentaron diferencias entre los distintos grupos de estudio, pues a pesar de que todos trabajaron con la misma secuencia didáctica, y no se presentaron diferencias significativas en el uso de esta, en las explicaciones verbales cada profesor empleó las representaciones de distinto modo, y como se describió en la metodología, en el tema de síntesis de proteínas, dos profesores sustituyeron los recursos propuestos. Los resultados de este análisis indican que en el pretest no se presentaron diferencias significativas entre los alumnos de la muestra, situación que es importante destacar ya que los contextos de los alumnos participantes de la EPO 314 y la preparatoria Anexa a la Normal de Chalco son muy distintos en cuanto al promedio de los alumnos y el número de aciertos con el que ingresaron a la escuela como se mencionó en el capítulo de descripción metodológica.

En el postest sí se presentaron diferencias significativas, en cuanto al grupo 3°1, perteneciente a la EPO 314, pues para el tema de síntesis de proteínas los alumnos emplearon con mayor frecuencia herramientas epistémicas intuitivas y lejanas al conocimiento escolarizado de la genética, lo que es coincidente con la aplicación de la secuencia ya que el profesor omitió el uso de algunos recursos representacionales como animaciones, y los sustituyó por explicaciones verbales, que no tuvieron apoyo de otro tipo de representación. Lo anterior da cuenta de la importancia de utilizar múltiples representaciones para el análisis de los distintos conceptos, ya que cada representación seleccionada tiene un propósito y función específica, y en este caso se hizo evidente que, el uso de representaciones verbales en procesos complejos como la síntesis de proteínas, no tiene el mismo

potencial explicativo que el uso de otros recursos que se apoyan además en representaciones gráficas y simbólicas.

Por último, es importante señalar que, si bien cada grupo tiene un contexto distinto, todas las herramientas epistémicas reportadas en las diferentes categorías se encontraron en los diferentes grupos de análisis, aunque con distintas frecuencias; esta situación indica que las inferencias que construyen los alumnos no son tan diversas, ya que forman parte de los contextos cotidiano y escolarizado del tema de genética.

5.5 Análisis de entrevistas

De la muestra total de alumnos, 35 conforman el grupo al cual se les aplicaron entrevistas. Cada entrevista tuvo una duración aproximada de 45 a 60 minutos y se realizaron después de la aplicación del postest, usando como guía de la entrevista los cuestionarios postest de cada alumno. Las entrevistas realizadas abarcaron las mismas categorías de los cuestionarios, con los temas de niveles de organización de la información genética (ADN, cromosoma, gen, alelos), meiosis, herencia mendeliana y síntesis de proteínas. Estos temas demandan a los estudiantes un nivel de abstracción distinto, ya que abarcan desde el reconocimiento e interpretación de una imagen que los remite a estructuras y su organización jerárquica, a describir y explicar procesos, hasta el uso de representaciones simbólicas, como el cuadro de Punnett, a partir de las cuales puedan inferir genotipos y fenotipos, y vincularlos con mecanismos de herencia.

Los resultados generales de este análisis indican que todos los alumnos pueden utilizar las representaciones que explicitan como herramientas epistémicas, las cuales son las mismas que se encontraron en los cuestionarios. Once alumnos de esta submuestra de análisis evidenciaron el uso e integración de los tres modelos, lo que implica una comprensión de la genética. De manera fragmentada, solo una persona dio cuenta del genético, trece estudiantes reconocieron el modelo meiótico y el molecular fue evidenciado por ocho alumnos.

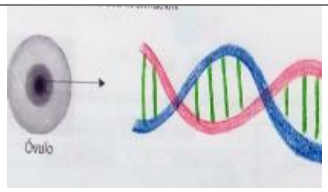
Es relevante mencionar que, en todos los casos, los alumnos a través de sus explicaciones verbales muestran un mayor refinamiento conceptual que el exhibido en los cuestionarios, además de que en algunos casos se observa cómo realizan conexiones entre los modelos conceptuales, a pesar de que en el cuestionario esto no se muestra.

5.5.1 Entrevista con los tres modelos integrados

A continuación, se realiza un análisis de la entrevista de la única alumna, del grupo 3ro 2, que en el cuestionario postest mostró un dominio integrado de los tres modelos para la comprensión de la herencia genética, situación que ocurrió también en la entrevista. Cabe destacar que esta entrevista es representativa de los otros once alumnos que en las entrevistas también emplearon herramientas epistémicas en el mismo nivel, y que dan cuenta de que su comprensión sobre los procesos genéticos tiene cercanía conceptual con los conocimientos escolarizados.

Para fines prácticos de análisis, en cada categoría se incluyen las representaciones gráficas que la alumna utilizó en el cuestionario pretest y postest, así como fragmentos de la entrevista organizados por categoría, para poder realizar las comparaciones de los cambios representacionales que ocurrieron. En la tabla 5.34 se muestran las respuestas de la alumna para la categoría A.

Tabla 5.34. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 49, categoría A.*

Pretest	**Postest**
HE2	HE3
	

Como se puede observar, la alumna de este ejemplo en el pretest representó una cadena de ADN, empleando la HE2, en la cual reconoce que el ADN que tienen los gametos, se hereda a la descendencia para la expresión de los rasgos. En el postest representa una cadena de ADN a partir de la cual se forman cromosomas, empleando la HE3 con la que reconoce diferentes formas en las que la

información genética se organiza, en su explicación escrita menciona que eso corresponde a la mitad, sin dar más detalles al respecto.

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría A:

Entrevistadora: En esta pregunta te solicitan que representes la información genética que se encuentra en el óvulo, y aquí en tu cuestionario veo que dibujas una cadena de ADN y cromosomas, me puedes explicar por favor, ¿por qué colocaste eso?

Alumna: "*Porque eso es lo que van a heredar, la mitad del ADN que nos hereda nuestra mamá y esto (señala la cadena del ADN) va en los cromosomas, que también son la mitad, también van a heredar el sexo, bueno para determinar si somos hombres o mujeres… el espermatozoide también va a llevar la mitad de la información del ADN que me va a heredar*".

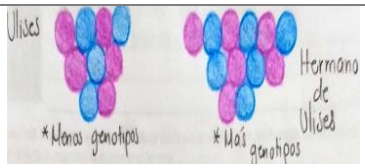
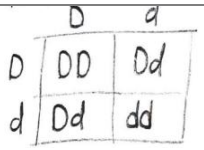
Entrevistadora: ¿A qué te refieres cuando dices la mitad?

Alumna: "*La mitad, tenemos 46 cromosomas, entonces nos heredan 23 cada padre*".

Como se puede notar, la alumna emplea la HE3, ya que reconoce que en sus gametos cada progenitor hereda la mitad de su información genética por medio de los cromosomas, lo cual indica que, aunque su representación gráfica es la misma que en el cuestionario, porque no adiciona ningún elemento, en la entrevista su inferencia se modifica hacia una más precisa en cuanto a la cantidad de información genética que hereda cada gameto, mostrando un mayor refinamiento conceptual.

Con respecto a la categoría B, en el pretest la alumna emplea una herramienta epistémica sustancialista donde infiere que la expresión de las características en la descendencia está determinada por la cantidad de genes que cada progenitor hereda, mientras que en el postest su inferencia se modifica empleando la HE2.1 en la cual reconoce una regla de expresión por dominancia y recesividad. En la tabla 5.35 se muestran las respuestas empleadas en el pretest y postest para la categoría B.

Tabla 5.35. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 49, categoría B.*

Pretest	Postest
HE1	HE2.1
	

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría B:

Entrevistadora: Aquí me puedes ayudar a entender esta pregunta, de por qué si cada uno de mis papás me hereda la mitad de información genética yo me parezco más a mi papá, ¿será que él me da más información genética, o cómo funciona?

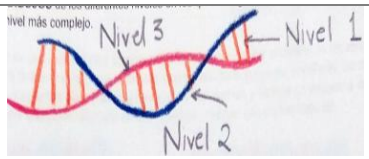
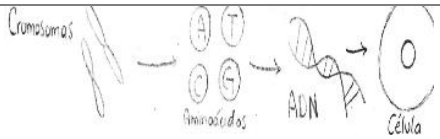
Alumna: "*No, porque si le hereda más genes, por ejemplo, del papá en este caso sería una anomalía, estrictamente tendrían que heredar la mitad de su ADN, si heredan más ocurriría algo, podría desarrollar una mutación en su ADN. En este caso sería una característica dominante si el ADN que me heredó mis papás, en este caso, el papá heredó el gen de piel morenita que es un gen dominante y mi mamá me heredó el gen de la piel blanca que es un gen recesivo entonces el juntarse esos 2 genes pues obviamente el gen dominante va a ser el que sobresale más y por eso en este caso se parece más al papá que a la mamá, bueno aquí en mi cuadro la letra mayúscula viene siendo como la representación de un gen dominante y la letra minúscula viene siendo la representación de un gen recesivo, entonces los pequeños circulitos de abajo los que le siguen es una célula por así decirlo y tienen la mitad de la información entonces esto es, al juntarse se juntan y aunque sólo tenga un gen dominante pues es el que se expresa*".

Como se puede notar, la alumna emplea la HE2.1, tanto en el postest como en la entrevista. Lo importante en este punto, es que la alumna de inicio no necesitó apoyarse en la representación gráfica (cuadro de Punnett) que empleó en el

postest, posteriormente lo empleó y clarificó que las letras representan genes, dominantes y recesivos.

Con respecto a la categoría C, en el pretest la alumna emplea una herramienta epistémica donde reconoce únicamente un nivel de organización de la información genética, mientras que en el postest utiliza la HE3.1 en la cual reconoce distintos niveles en los que se organiza la información genética. En la tabla 5.36 se muestran las respuestas empleadas en el pretest y postest para la categoría C.

Tabla 5.36. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 49, categoría C.*

Pretest	**Postest**
HE2	HE3.2
	

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría C:

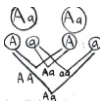
Entrevistadora: en esta pregunta te solicitan que dibujes cómo se organiza la información genética y yo veo que pones diferentes cosas, ¿me puedes explicar tu dibujo por favor?

Alumna: "*ah no, está mm puse como la organización, aquí por ejemplo puse el ADN que es más grande que todo, porque es una cadena muy, muy larga, en comparación a los cromosomas que están formados por ese ADN, y entonces así lo estiramos, el ADN mediría como 2 metros, entonces yo considero que el ADN es mucho más grande que un cromosoma y pues de aminoácidos como la timina la guanina, son las moléculas que están conformando al ADN, y éste tiene a los genes*".

Las respuestas de la entrevista son consistentes con las empleadas en el pretest en donde se emplea la HE 3.2, en la cual se reconoce que los genes están formados por segmentos de ADN y están contenidos en los cromosomas.

Con respecto a la categoría D, en el pretest, la alumna emplea una HE0 donde en realidad la variabilidad genética entre individuos no la atribuye a ningún tipo de mecanismo o proceso, mientras que en el postest utiliza la HE3.1 en la cual reconoce que pueden ocurrir diferentes combinaciones de genes que heredan los progenitores, refiriéndose al proceso de variabilidad genética. En la tabla 5.37 se muestran las respuestas empleadas en el pretest y postest para la categoría D.

Tabla 5.37. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 49, categoría D.*

Pretest	**Postest**
HE0	HE3.1
Cada individuo es distinto por cómo están acomodadas sus células o el tipo de gen que predomina en cada persona que hace que tenga ciertas características únicas.	Son distintos por la probabilidad de combinación de los genes que heredan los padres, cada uno hereda distintos (*genes*) en cada evento de fecundación. 

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría D:

Entrevistadora: en esta pregunta mencionan que un niño es albino, pero sus papás y los otros hijos de esa pareja no, ¿cómo fue posible esto?, ¿me puedes explicar? Si quieres utiliza el esquema que dibujaste para dar respuesta a la pregunta.

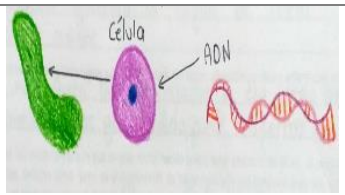
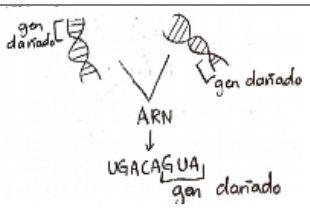
Alumna: "*por el ADN, entonces ahí como que, al juntarse hay varias posibilidades, como una lotería por así decirlo, bueno eso viene desde que se forma el óvulo o el espermatozoide, no sabes qué va a traer, esas combinaciones no se pueden repetir y ya cuando se juntan pues hay otras posibilidades. Un bebé puede heredar un gen dañado y el otro (bebé) no, porque el óvulo lo puede llevar o no*".

Las respuestas de la entrevista son consistentes con las empleadas en el postest en donde se emplea la HE3.1, en la cual menciona que cada óvulo o

espermatozoide pueden heredar distintos genes y cuando estos se combinan forman al individuo, todos son únicos.

Con respecto a la categoría E, en el pretest, la alumna emplea una HE0 donde a pesar de emplear un símbolo genético como el ADN, no establece una inferencia sobre cómo es que éste puede expresarse en un fenotipo, es decir, que la representación empleada, a pesar de tener cercanía con los símbolos genéticos utilizados convencionalmente en la enseñanza de la genética, no los emplea para generar inferencias articuladas o alineadas con el modelo molecular. Por otro lado, en el postest emplea la HE2 en la cual escribe un código genético de secuencia de aminoácidos con las cuales ejemplifica que se puede expresar el gen de referencia. En la tabla 5.38 se muestran las respuestas empleadas en el pretest y postest para la categoría E.

Tabla 5.38. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 49, categoría E.*

Pretest	**Postest**
HE0	HE2
	

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría E:

Entrevistadora: yo veo que en tu esquema pones letras, ¿qué significa eso?, y ¿por qué lo pones como respuesta a cómo es que se expresa una característica?

Alumna: "*bueno, es que cuando se hereda esa información, no está por así decirlo traducida, entonces se tiene que llevar a cabo un proceso para traducir ese ADN y que con esa información, no ya me perdí, bueno tiene que traducirse el ADN porque no se sabe este segmento para qué va a servir o cuál otro segmento va para esta otra función, entonces, con este proceso se traduce; por ejemplo,*

este segmento a va a funcionar para células de la sangre, el segmento b para las células del corazón, es como un ejemplo, como una receta que tenemos que saber para qué sirve cada segmento, tiene que haber un proceso para que nosotros podamos saber para qué sirve cada segmento de ADN. Sí, está el ADN, pero como no está traducido entonces tiene que crear una copia que es el ARN, ese sí está traducido, y éste que ya está traducido… ya se me fue la idea, ah, ya con esa información traducida se dividen los segmentos de tres letras cada uno, citosina guanina y adenina, entonces esa información ya tiene una función y al juntarse varias letras, al juntar una determinada combinación de aminoácidos puede arrojar una característica, una función por ejemplo para crear la melanina, ya tiene ese como código que le dice que esa cadena de letras es la que forma la melanina, es que obviamente no se ve así, en este ejemplo la cadena de letras es lo que forman la característica".

En el ejemplo anterior, es claro que la alumna tiene una HE3, ya que puede explicar el proceso de síntesis de proteínas, en este caso es relevante mencionar que en el cuestionario postest la alumna explicita una inferencia que, si bien conceptualmente hablando es cercana al conocimiento escolarizado de genética, en la entrevista puede expresar esta misma con mayor refinamiento conceptual, utilizando la misma representación gráfica y simbólica empleada en el cuestionario.

Con respecto a la categoría F, en el pretest, la alumna emplea una HE0 donde menciona que existen diferencias en los tipos celulares, pero no hace referencia a cuáles. Por otro lado, en el postest emplea la HE3 en la cual explica el proceso de especialización celular. En la tabla 5.39 se muestran las respuestas empleadas en el pretest y postest para la categoría F.

Tabla 5.39. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 49, categoría F.*

Pretest	Postest
HE0	HE3
Sí existe una diferencia entre los diferentes tipos de célula, como la diferencia por los genes que determinan su sexo.	No, existe ninguna diferencia, porque cuando se crea el ARN este se va traduciendo la información, que es lo que la función que formará a cada tipo de célula, por eso son distintas

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría F:

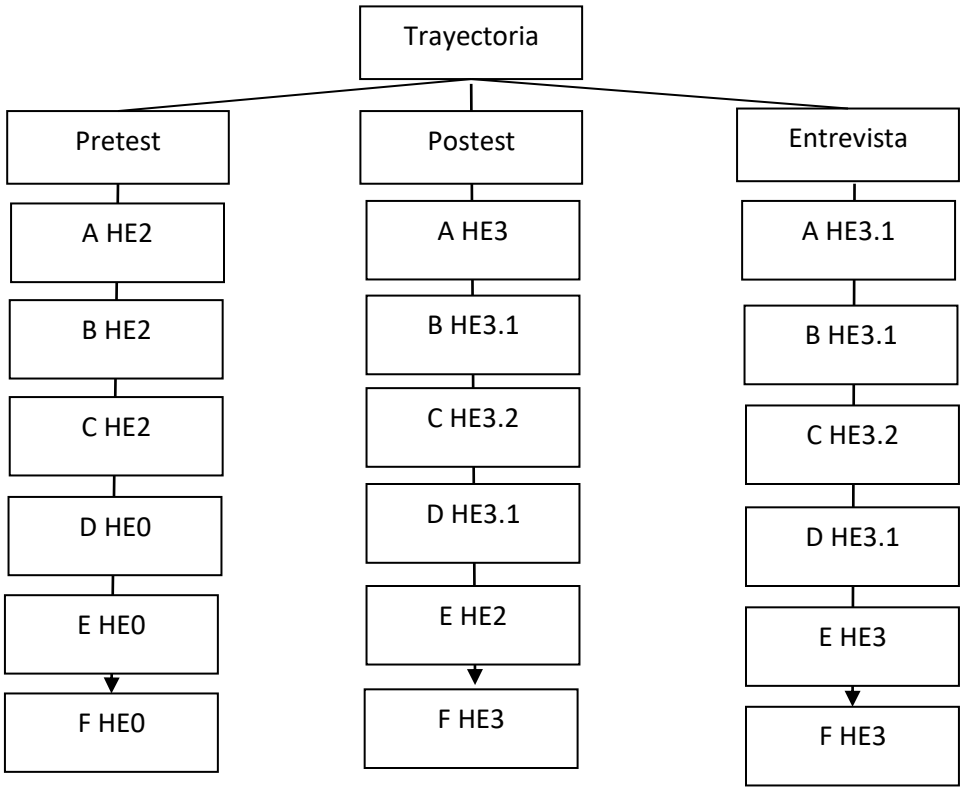
Entrevistadora: y entonces si dices que existen diferentes células en el cuerpo, como en el esquema que aquí está, ¿estas tienen diferente información genética, o cómo funciona?, ¿me explicas por favor?

Alumna: "*no, es la misma, bueno las sexuales son diferentes porque llevan la mitad y determinan el sexo y así, pero las demás son iguales, porque todas llevan el mismo ADN, solo que sí en cada una es como, por ejemplo, si dijeran solamente ocupo un cachito a pesar de que el ADN está en todas sus células en su información, ese cachito va a ser el que se traduzca y eso va a ser lo que dé la función que va a realizar cada una*".

A lo largo del análisis de la entrevista presentada, los principales cambios de HE se dieron entre el pretest y el postest, pues en categorías donde en el pretest había empleado la HE0, en el postest llega al nivel de refinamiento escolar requerido. En cuanto al postest y la entrevista, la alumna, al explicitar sus inferencias de manera verbal, muestra un mayor refinamiento conceptual, situación que se repite en el resto de las entrevistas, lo que puede deberse a que para los alumnos es más fácil explicar de manera verbal sus inferencias, o que las preguntas planteadas en algunas ocasiones pueden quedar un poco limitadas a lo que se pretende que el alumno responda. En la figura 5.18 se muestra la

trayectoria que siguió el alumno de la entrevista previamente reportada, en el pretest, postest y sus respuestas de entrevistas.

Figura 5.18. *Trayectoria representativa de alumna que en entrevista muestra la construcción de los tres modelos conceptuales (genético, molecular y meiótico).*



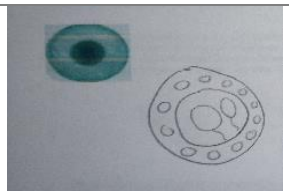
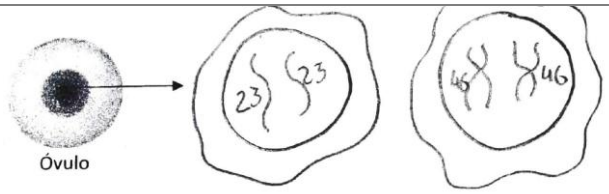
Al realizar el análisis de la trayectoria de esta estudiante desde su pretest, postest y entrevistas, en primer lugar muestra que sí ocurrió un cambio en el tipo de HE que utilizó de manera inicial, las cuales son de tipo más intuitivo como en la empleada en la categoría B, donde infiere que dependiendo de la cantidad de genes que hereda cada padre se determina la expresión de una característica en el hijo y posteriormente realiza construcciones conceptuales más cercanas al conocimiento escolarizado de la genética, como la expresión del mecanismo por dominancia y recesividad.

Por otra parte, se puede notar cómo esta alumna utiliza herramientas epistémicas en todas las categorías s que indican un dominio conceptual de los tres modelos conceptuales, así como la integración de éstos. Por ejemplo, cuando explica el mecanismo de dominancia y recesividad (modelo genético), reconoce que en cada evento de fecundación los genes de los padres se pueden combinar de distintas formas debido al proceso de formación del óvulo o espermatozoide (modelo meiótico), y que su expresión depende de la proteína que se codifique por medio de las proteínas (modelo molecular).

5.5.2 Entrevista con dos modelos integrados

A continuación, se realiza un análisis de la entrevista de un alumno del grupo 3ro 1 en la Escuela Anexa a la Normal de Chalco, quien en el cuestionario postest y en la entrevista mostró un dominio integrado de los modelos genético y meiótico para la comprensión de la herencia genética, empleando herramientas epistémicas que dan cuenta de que su comprensión sobre los procesos genéticos tiene una cercanía conceptual con los conocimientos escolarizados del tema. Esta entrevista es representativa de diez alumnos más, que también mostraron este tipo de HE. En la tabla 5.40 se muestran las respuestas de la alumna en el pretest y postest para la categoría A.

Tabla 5.40. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro1 folio 1, categoría A.*

Pretest	**Postest**
HE0	HE1
	

Como se puede observar, el alumno de este ejemplo, en el pretest realiza representaciones isomórficas que no permiten analizar cuál es la información genética que llevan los gametos y cuál es su función, empleando la HE0, en la cual reconoce que el ADN que los gametos tienen, se hereda a la descendencia para la expresión de los rasgos. Por su parte en el postest, representa lo que de manera escrita menciona que es información genética, empleando así la HE2.

Posteriormente, en la entrevista, el alumno utiliza la representación para explicar qué es lo que representa su dibujo.

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría A:

Entrevistadora: en esta pregunta te solicitan que representes la información genética que se encuentra en el óvulo, y aquí en tu cuestionario veo que dibujas unas líneas curvas y colocas el número 23, ¿a qué te refieres con eso, me puedes explicar por favor?

Alumno: "*fui pensando en el proceso de información, en el cual primero puse el proceso, 2 alelos de 23, proceso como de meiosis, y cómo se iban separando y se iban haciendo más chiquitos y ahí formaban 23 cromosomas cada uno para formar el cromosoma, en el cual completo formaría el 46*".

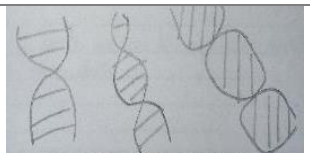
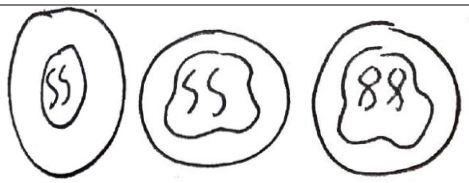
Entrevistadora: pero a ver, estos 2 dibujos que pones, ¿sería el mismo óvulo o ya es un óvulo y este ya es otra célula?, no le entiendo, ¿me lo explicas por favor?

Alumno: "*esto que dibujo es el óvulo y a un lado ya una diferente célula, mi mamá en su óvulo me da 23 cromosomas, esos cromosomas pues llevan el ADN de mi mamá y entonces se une con el espermatozoide que lleva igual 23 eso se completa y se forman 46*".

Como se puede notar, el alumno emplea la HE denominada como 3, ya que reconoce que cada progenitor en sus gametos hereda la mitad de su información genética por medio de los cromosomas, lo cual indica que, aunque su representación gráfica es la misma que en el cuestionario, porque no adiciona ningún elemento gráfico, en la entrevista se modifica su inferencia por una más precisa en cuanto a la cantidad de información genética que hereda cada gameto, mostrando un mayor refinamiento conceptual.

Con respecto a la categoría B, en el pretest el alumno emplea una herramienta epistémica 0 donde con su representación indica que las características se heredan por medio del ADN, pero no establece ninguna regla de expresión, y lo mismo ocurre en el postest. En la tabla 5.41 se muestran las respuestas empleadas en el pretest y postest para la categoría B.

Tabla 5.41. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro1 folio 1, categoría B.*

Pretest	Postest
HE0	HE0
	

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría B:

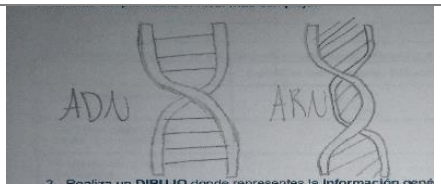
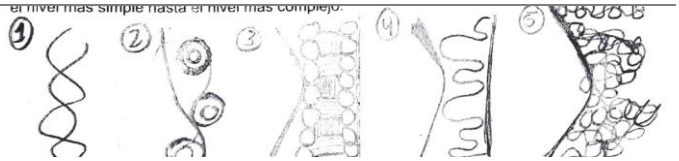
Entrevistadora: ahora tengo una duda bien importante, dicen que yo me parezco mucho a mi papá, entonces yo pensaba que me parecía más a mi papá porque me había dado más información genética, ¿eso puede ocurrir o no?

Alumno: "*cómo le explico, de la formación a la hora de unirse a los alelos puede que la genética se transmitió más de una persona que de la otra, es en el caso por ejemplo de las mutaciones, en el que los 2 pueden transmitir lo mismo, pero si uno de los genes está, ¿cómo será? Contaminado, pues puede adquirir esa, y no precisamente en esa generación sino generaciones próximas. Más bien yo creo que dependería más del gen dominante, a ver le explico, el gen también es el que se ve, que serían los rasgos físicos, si mal no recuerdo había 2 tipos de genes el gen dominante y el gen recesivo, en el cual uno interpretaba por así decirlo lo externo y uno lo interno, bueno uno se expresa y otro no, el dominante es el que se ve en el externo, por ejemplo y mi papá podría llevar un gen guardado sin que lo sepa, por ejemplo que me herede ojos azules, y depende del gen que tenga la otra persona, si es recesiva pues entonces ahora sí se va a ver*".

Como se puede notar, en la entrevista el alumno emplea la HE denominada como 2.1. Lo importante en este punto es que en el cuestionario la representación del alumno no es clara, al igual que su inferencia, pero en la entrevista puede utilizar esta representación como herramienta epistémica para explicar el mecanismo de dominancia y recesividad.

Con respecto a la categoría C, en el pretest el alumno emplea una herramienta epistémica donde reconoce únicamente un nivel de organización de ADN que corresponde a la HE2, mientras que en el postest utiliza la HE3.2 en la cual reconoce distintos niveles en los que se organiza la información genética, del ADN al cromosoma. En la tabla 5.42 se muestran las respuestas empleadas en el pretest y postest para la categoría C.

Tabla 5.42. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro1 folio 1, categoría C.*

Pretest	**Postest**
HE2	HE3.2
	

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría C:

Entrevistadora: voy a comenzar con esta pregunta, donde les piden que dibuje la información genética y cómo se organiza, eso que dibujas qué es.

Alumno: "*la cadena de ADN*".

Entrevistadora: ok, pero yo veo que dibujas otras cosas, veo como que va pasando, no sé, por procesos no sé si es lo mismo o son cosas diferentes, ¿me puedes explicar qué es esto que dibujaste?

Alumno: "*sí, le comento con respecto a esto, hicimos una investigación con el profesor con una aplicación donde vimos un proceso donde vimos cómo pasan los diferentes niveles de organización genética, no estoy muy al tanto de cuál es por así decirlo el procedimiento pero memoricé los dibujos, incluso no sé si se nota, tuve algunos errores porque al llegar a mi casita pude verificar y pude comprobar que en el último, es una cadena de ADN, en la cual van transcurriendo los procesos de información hasta llegar a completar el cromosoma en el cual pasa la*

información genética, de los alelos, bueno la verdad estoy un poco confundido, pero es la información genética y transmitirla por la célula. El cromosoma se forma por ADN y transporta el ADN".

Las respuestas de la entrevista son consistentes con las empleadas en el postest en donde se emplea la HE3.2, en la cual se reconoce que el ADN forma a los cromosomas.

Con respecto a la categoría D, en el pretest el alumno emplea una HE0 donde en realidad no atribuye la variabilidad genética entre individuos a ningún tipo de mecanismo o proceso, mientras que en el postest utiliza la HE3.1 en la cual reconoce que pueden ocurrir diferentes combinaciones de genes que los progenitores heredan por el proceso de meiosis. En la tabla 5.43 se muestran las respuestas empleadas en el pretest y postest para la categoría D.

Tabla 5.43. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro1 folio 1, categoría D.*

Pretest	**Postest**	
HE0	HE3.1	
Porque siempre tendrán una diferente información genética, esta no es la misma.	Porque la madre puede tener un alelo dañado y este se hereda diferente cuando se forman sus células por el proceso de meiosis.	

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría D:

Entrevistadora: en esta pregunta mencionan que un niño es albino, pero sus papás y los otros hijos de esa pareja no, cómo fue posible esto, me puedes explicar.

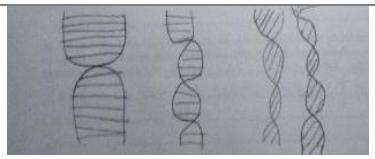
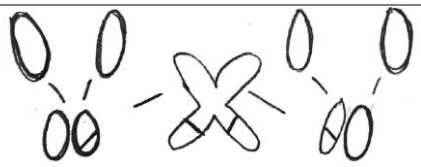
Alumno: "*sí, es por un defecto que podría tener el gen de la madre o del padre, es como un tipo de lotería del gen que puedan heredar, que en el gen puede ocasionar sea ese defecto va a ser si el óvulo o el espermatozoide traen o no el*

gen, el cual puede ocasionar la falta de melanina. Hay que recordar cómo se formaron las células por el proceso de meiosis".

Las respuestas de la entrevista son consistentes con las empleadas en el pretest en donde se emplea la HE3.1, en la cual menciona que cada óvulo o espermatozoide pueden heredar distintos genes y cuando estos se combinan forman al individuo, todos son únicos.

Con respecto a la categoría E, el alumno en el pretest emplea una herramienta epistémica 0 a pesar de emplear un símbolo genético como el ADN, y lo mismo ocurre en el postest, donde coloca un cromosoma sin generar alguna inferencia con respecto a cómo se expresa la información genética. En la tabla 5.44 se muestran las respuestas empleadas en el pretest y postest para la categoría E.

Tabla 5.44. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro1 folio 1, categoría E.*

Pretest	**Postest**
HE0	HE0
	

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría E:

Entrevistadora: aquí dice que dibujes un esquema de cómo se expresa la información genética.

Alumno: "*a pues por lo mismo de los alelos, como se ve ahí, yo ponía como en un alelo puede tener información genética diferente más dominante a la otra y cuando se crea un diferente cromosoma a la hora de la información genética del ADN del otro organismo*".

En el ejemplo anterior, la alumna no enuncia el modelo molecular, se regresa a explicar la expresión del ADN con el modelo genético basado en la dominancia y recesividad.

Con respecto a la categoría F, el alumno en el pretest no emplea ninguna herramienta epistémica debido a que no se alinea a la intención de la pregunta. Por otro lado, en el postest emplea la herramienta epistémica 0 en la cual no explica por qué las células no tienen diferencias, pero si llevan a cabo diferentes funciones. En la tabla 5.45 se muestran las respuestas empleadas en el pretest y postest para la categoría F.

Tabla 5.45. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro1 folio 1, categoría F.*

Pretest	**Postest**
Sin HE	HE0
No sé, depende de cómo estén puestas.	No hay diferencia, pero cada célula tiene sus respectivas funciones.

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría F:

Entrevistadora: me causa mucho conflicto esta pregunta porque dice que si hay diferencias entre la información genética de cada una de las células que forman a un individuo y dices que no o sea este es un individuo no ya está individuo tiene células del músculo, del cartílago, del hueso y cada una de estas células contiene ADN entonces ese ADN que contiene en un mismo individuo es diferente o es igual.

Alumno: "*sería por los organismos que tienen en función a ellos por ejemplo el corazón no puede hacer la misma función o sea las células del corazón nacen ya con una función que es bombear la sangre a la de un pulmón que sería aquí dice el aire y comprimido por así decirlo*".

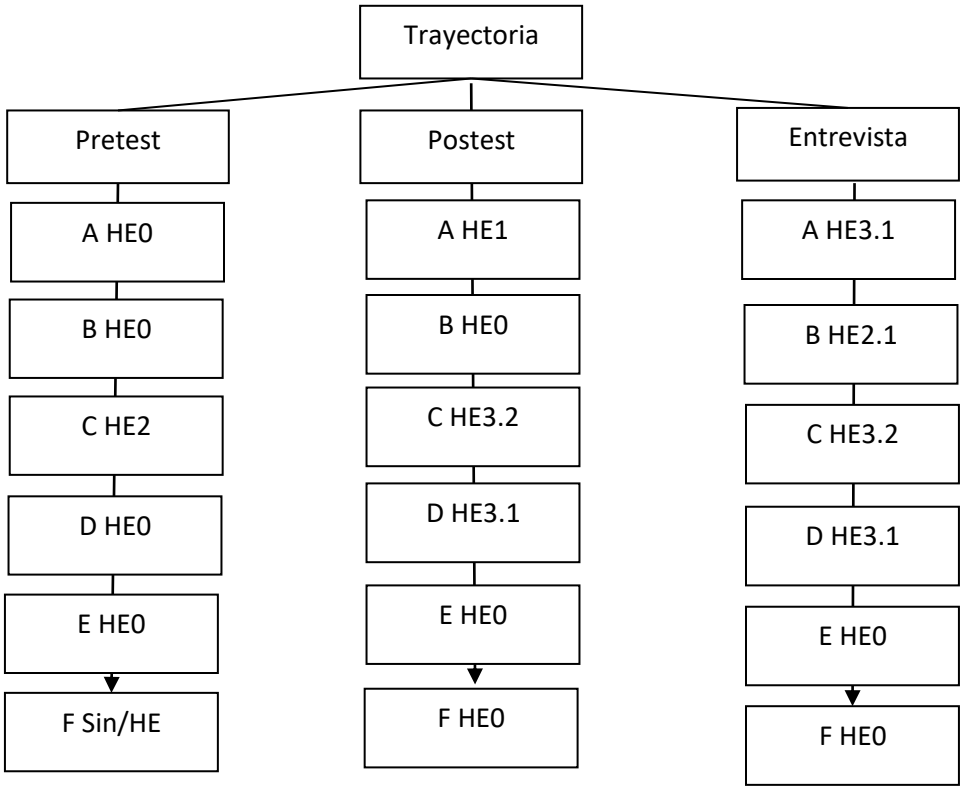
Entrevistadora: pero qué crees que termine la función si todos tienen el mismo ADN

Alumno: “pues como tal no tendría una respuesta congruente no sabría decirle”.

Al realizar el análisis de la trayectoria de este estudiante desde su pretest, postest y entrevistas, muestra en primer lugar que sí ocurrió un cambio en el tipo de HE no tanto en el tipo de símbolos empleados, sino en el uso de esos símbolos para generar inferencias con nuevos niveles de refinamiento conceptual.

Por otra parte, se puede notar como este alumno utiliza herramientas epistémicas en casi todas las categorías que indican un dominio conceptual; sin embargo, no logra la generación de los tres modelos conceptuales, así como la integración de estos. Por ejemplo, cuando explica el mecanismo de dominancia y recesividad (modelo genético), reconoce que en cada evento de fecundación los genes de los padres de pueden combinar de distintas formas debido al proceso de formación del óvulo o espermatozoide (modelo meiótico), pero no logra ni construir el modelo molecular, ni articularlo con los dos anteriores. En la figura 5.19 se muestra la trayectoria que siguió el alumno de la entrevista previamente reportada, en el pretest, postest y sus respuestas de entrevistas.

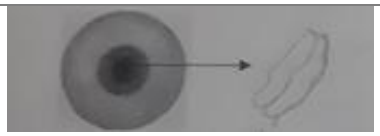
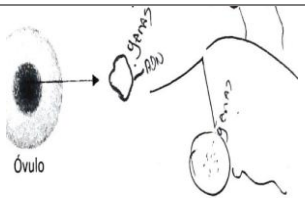
Figura 5.19. *Trayectoria de alumno que en entrevista muestra la construcción de los dos modelos conceptuales (genético y meiótico).*



5.5.3 Entrevista con un modelo integrado

A continuación, se realiza un análisis de la entrevista de un alumno del grupo 3ro 2, quien en el cuestionario postest y en la entrevista mostró solo la construcción del modelo genético, en la tabla 5.46 se muestran las respuestas del alumno en el pretest y postest para la categoría A.

Tabla 5.46. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro2 folio 20, categoría A.*

Pretest	**Postest**
HE0	HE1
	

Como se puede observar, el alumno de este ejemplo, en el pretest representó estructuras que se encuentran dentro del óvulo, empleando la HE.0. Por su parte en el postest, representa estructuras amorfas igual que en el pretest, esta vez mencionando que son genes y ADN lo que está representando, utilizando así la HE1.

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría A:

Entrevistadora: en esta pregunta te solicitan que representes la información genética que se encuentra en el óvulo, y aquí en tu cuestionario veo que escribes gen y ADN, ¿me puedes explicar por favor a qué te refieres con eso?

Alumno: "*sí, el ADN… que está compuesto por genes*".

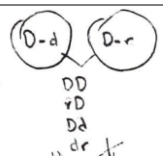
Entrevistadora: ¿cómo sería un gen?

Alumno: "*pues estaría aquí adentro (señala el núcleo del óvulo), tenemos muchos genes entonces este ADN tiene la información para formar mi cabello, por ejemplo".*

Como se puede notar, el alumno emplea la HE denominada como 1, ya que reconoce que dentro del óvulo se encuentra información genética como ADN y genes que son los que contienen las características para formar a un individuo.

Con respecto a la categoría B, el alumno en el pretest emplea una herramienta epistémica sustancialista donde representa la información genética con bolitas, mientras que en el postest su inferencia se modifica empleando la HE3.1 en la cual reconoce una regla de expresión por dominancia y recesividad. En la tabla 5.47 se muestran las respuestas empleadas en el pretest y postest para la categoría B.

Tabla 5.47. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro2 folio 20, categoría B.*

Pretest	**Postest**
Sin HE	HE2.1
	

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría B:

Entrevistadora: aquí, ¿me puedes explicar el por qué los papás pueden enrollar la lengua, pero de sus dos hijos solo uno lo puede hacer?

Alumno: "*ha porque tienen que heredar la mitad porque se tienen que juntar con los de la mamá, la mamá hereda 50 y el papá 50 para formar 100".*

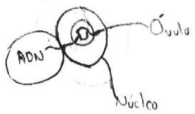
Entrevistadora: ok, sí entiendo que así se forman sus hijos, pero ¿por qué uno puede enrollar la lengua y otro no?

Alumno: "*ha bueno, esto que puse estaría representando diferentes genes en los papás, el gen dominante y el gen recesivo, el niño puede ser cualquiera de estos por las combinaciones, en Ulises entonces se juntaron 2 genes recesivos".*

Como se puede notar, el alumno emplea la HE denominada como 2.1, tanto en el postest como en la entrevista. Lo importante en este punto, es que el alumno con el uso de símbolos de letras puede explicar el proceso de dominancia y recesividad.

Con respecto a la categoría C, el alumno en el pretest emplea una herramienta epistémica donde reconoce únicamente un nivel de organización de la información genética, que es el ADN, y en el postest también. En la tabla 5.48 se muestran las respuestas empleadas para la categoría C.

Tabla 5.48. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro2 folio 20, categoría C.*

Pretest	**Postest**
HE2	HE2
	

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría C:

Entrevistadora: aquí en la primera pregunta les decían que si reconoces niveles en los que se organiza la información genética y yo veo que aquí tú pones ADN.

Alumno: "*este, sí ADN está aquí adentro".*

Entrevista: ¿Y es lo único que habrá aquí adentro?

Alumno: "*sí, ADN y lo que lo compone, nucleótido podría ser o genes no me acuerdo del nombre".*

Las respuestas de la entrevista son consistentes con las empleadas en el pretest en donde se emplea la HE2, en la cual se reconoce al ADN como la información genética que se encuentra dentro del núcleo, y aunque puede enunciar nucleótidos o genes no clarifica cómo se organizan estos en el ADN.

Con respecto a la categoría D, el alumno en el pretest emplea una herramienta epistémica 0 donde en realidad no atribuye a ningún tipo de mecanismo o proceso la variabilidad genética entre individuos, y lo mismo ocurre en el postest donde no es claro con respecto a porqué ocurre la variabilidad genética, atribuyendo las diferencias al proceso de dominancia y recesividad. En la tabla 5.49 se muestran las respuestas empleadas en el pretest y postest para la categoría D.

Tabla 5.49. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 20, categoría D.*

Pretest	**Postest**
HE0	HE0
Por que se heredó algo particularmente de papá y mamá y las células crezcan de manera propia y no copia las celulas.	Por que no siempre obtenemos la misma información genética, tendremos los mismos genes, pero no en la misma cantidad por eso no todos somos iguales tendremos un gen dominante lo cual nos hace diferentes.

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría D:

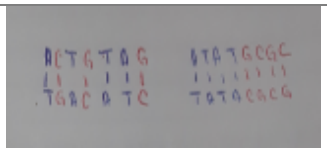
Entrevistadora: ya para terminar, por favor explícame este caso de los papás albinos, donde uno de sus hijos lo es y otro no, por qué si tienen los mismos papás, sus hijos son diferentes.

Alumna: "*depende del gen dominante de la mamá o del papá; por ejemplo, que no seas morenito, no hubo un gen dominante que sobresaliera…Depende, más bien lo llevaban guardado no predominó en ellos, pero cuando lo heredaron se expresó en el hijo porque lo tenían ahí guardado sin que ellos supieran, bueno faltó que se pusieran las 2 o son las que les heredaron*".

Las respuestas de la entrevista son consistentes con las empleadas en el postest en donde se atribuye la variabilidad genética al mecanismo de dominancia y recesividad sin mencionar el proceso de meiosis.

Con respecto a la categoría E, el alumno en el pretest emplea una herramienta epistémica 0 donde coloca lo que él considera es información genética, sin explicar cómo esta se puede expresar en un fenotipo. Por otro lado, en el postest emplea la misma herramienta epistémica porque no clarifica a qué se refieran las letras que coloca. En la tabla 5.50 se muestran las respuestas empleadas en el pretest y postest para la categoría E.

Tabla 5.50. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro2 folio 20, categoría E.*

Pretest	**Postest**
HE0	HE2
	

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría E:

Entrevistadora: yo veo que en tu esquema pones letras, ¿qué significa eso?

Alumno: "*a pues que el ADN se copia para generar una ARN y expresar una proteína".*

Entrevistadora: ok, ¿me puedes explicar qué es el ARN?

Alumno: "*no, no sé".*

Entrevistadora: ok, pero me dijiste que se producía una proteína, pero ¿cuándo se producen proteínas?

Alumno: "*pues para todo, como la lengua".*

Entrevistadora: pero, ¿tiene algo que ver con mis características?

Alumno: "*no, eso depende del gen dominante de la mamá del papá"*

En el ejemplo anterior, es claro que el alumno sigue centrando sus explicaciones en el mecanismo genético de dominancia y recesividad.

Con respecto a la categoría F, el alumno en el pretest emplea una herramienta epistémica 0 donde menciona que existen diferencias en los tipos celulares, pero no hace referencia a cuáles. Por otro lado, en el postest emplea la herramienta epistémica 1. En la tabla 5.51 se muestran las respuestas empleadas en el pretest y postest para la categoría F.

Tabla 5.51. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro2 folio 20, categoría F.*

Pretest	**Postest**
HE0	HE1
Sí existe una diferencia	Por qué todos muestro cuerpo contiene la misma información, lo que cambian es que cada célula tiene diferentes funciones

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría F:

Entrevistadora: todo nuestro cuerpo tiene la misma información genética según me dijiste, entonces ¿por qué la célula del músculo tiene una función distinta a la del hueso?

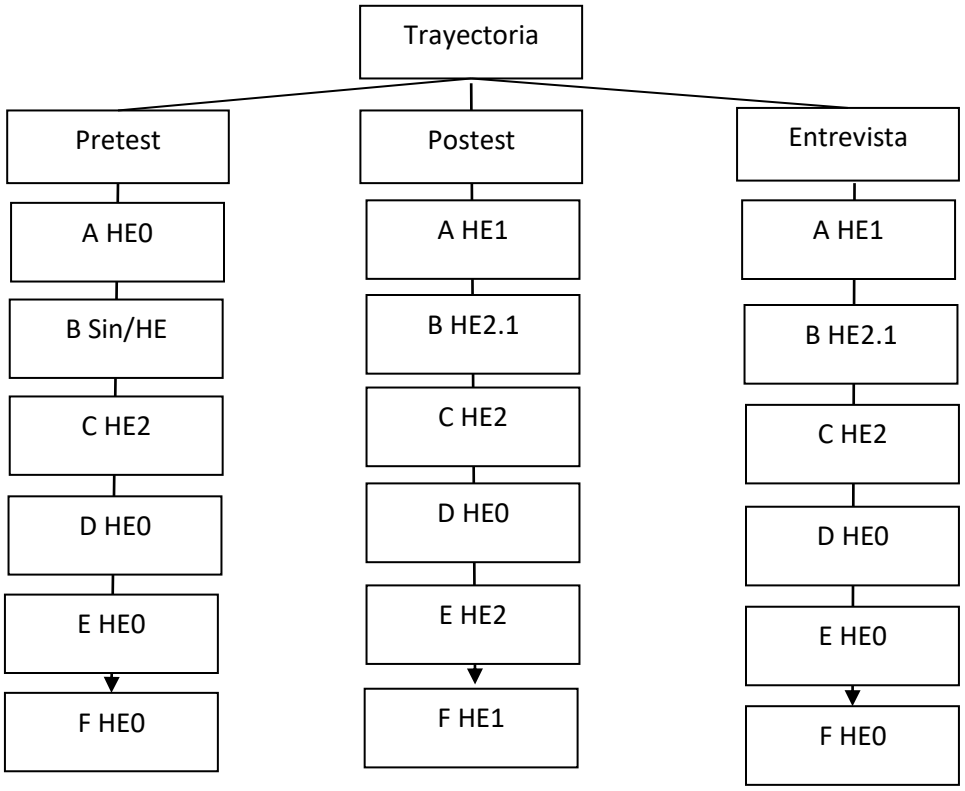
Alumno: "*porque contiene la misma información, pero no tienen la misma función".*

Entrevistadora: pero, ¿por qué?

Alumno: "*para que pueda trabajar el cuerpo bien, pues cada una tiene una función".*

Al realizar el análisis de la trayectoria de esta estudiante desde su pretest, postest y entrevistas, muestra que únicamente presenta una integración del modelo genético, y que cuando se le cuestionan cosas referentes al modelo meiótico o molecular, sus explicaciones se vuelven a centrar en el modelo genético. En la figura 5.20 se muestra la trayectoria que siguió el alumno de la entrevista previamente reportada, en el pretest, postest y sus respuestas de entrevistas.

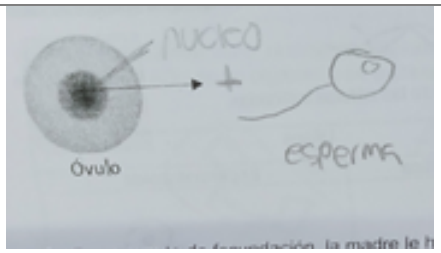
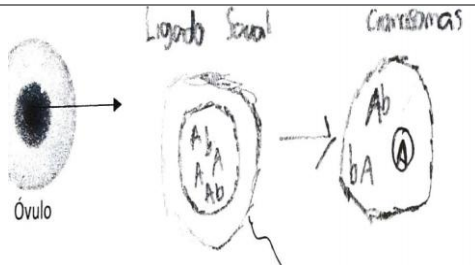
Figura 5.20. *Trayectoria de alumno que en entrevista muestra la construcción de los tres modelos conceptuales (genético, molecular y meiótico).*



5.5.4 Entrevista sin construcción de modelos

A continuación, se realiza un análisis de la entrevista de un alumno del grupo 3ro 4, quien en el cuestionario postest y en la entrevista mostró solo la construcción del modelo genético. En la tabla 5.52 se muestran las respuestas de la alumna en el pretest y postest para la categoría A.

Tabla 5.52. Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro4 folio 90, categoría A.

Pretest	**Postest**
HE0	HE1
	

Como se puede observar, el alumno de este ejemplo, en el pretest representó estructuras que se encuentran dentro del óvulo, empleando la HE0. Por su parte en el postest, representa símbolos con letras, los cuales menciona que son cromosomas, utilizando así la HE1.

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría A:

Entrevistadora: aquí me puedes ayudar a entender qué fue lo que dibujaste.

Alumno*: "como ya le dije las células del ADN están compuestas por neutrones, protones y electrones y cada célula las letras representan las células".*

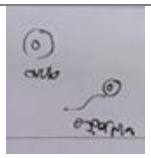
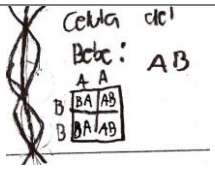
Entrevistadora: ¿Cómo una célula?, no entiendo.

Alumno: *"pues yo me enfoqué en los ojos que es tipo AAAABBAYBB dice como el tipo cuadrito que nos enseñaron, bueno no me acuerdo".*

Como se puede notar, el alumno emplea la HE denominada como 0, ya que reconoce que dentro del óvulo se encuentra información que es necesaria para la expresión de las características, la cual él identifica como células y representa con letras.

Con respecto a la categoría B, el alumno en el pretest no utiliza ninguna herramienta epistémica, mientras que en el postest su inferencia se modifica empleando la HE2.1 en la cual reconoce que los padres heredan características que forman las células del bebé, pero no se observa un mecanismo de dominancia y recesividad dadas las características de los padres. En la tabla 5.53 se muestran las respuestas empleadas en el pretest y postest para la categoría B.

Tabla 5.53. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro4 folio 90, categoría B.*

Pretest	**Postest**
Sin HE	HE2.1
	

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría B:

Entrevistadora: aquí en esta pregunta, ¿cómo explicas que los padres presentan características que los hijos no?

Alumno: *"tengo entendido que es por la genética por ejemplo pueden tener un papá africano y pueden tener una mamá española, que puede ser blanca, si ellos 2 se juntan tu hijo puede salir o blanco o negro dependiendo de quién tenga el gen dominante".*

Entrevistadora: ¿qué es eso de gen y qué significa que sea dominante?

Alumno: *"que es el que manda porque son 2 tipos de genes el dominante y el recesivo, y el recesivo sólo es como el complemento del gen dominante".*

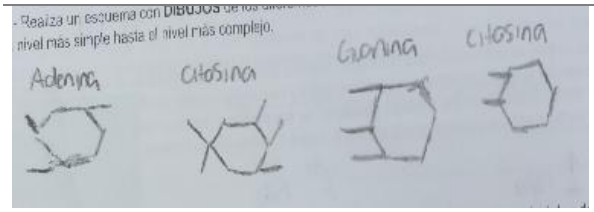
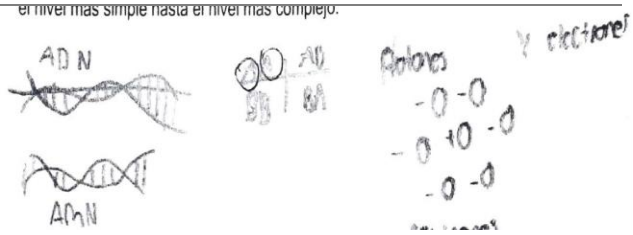
Entrevistadora: pero entonces ahí me surgió una duda entonces ¿el niño no puede ser cafecito tiene que ser blanco o negro?

Alumno: *si los 2 genes son dominantes sí, puede haber como un empate.*

Como se puede notar, el alumno no tiene un dominio del modelo genético, ya que no reconoce claramente cuál es el comportamiento de un gen dominante y el de un recesivo.

Con respecto a la categoría C, el alumno en el pretest emplea una herramienta epistémica donde reconoce únicamente un nivel de organización de la información genética, que son los nucleótidos, y en el postest también. En la tabla 5.54 se muestran las respuestas empleadas en el pretest y postest para la categoría C.

Tabla 5.54. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro4 folio 90, categoría C.*

Pretest	**Postest**
HE2	HE2
	

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría C:

Entrevistadora: bueno, vamos a comenzar, aquí yo veo que te preguntan sobre los niveles de información genética entonces todo lo que dibujas aquí, ¿es información genética?

Alumno: "*sí".*

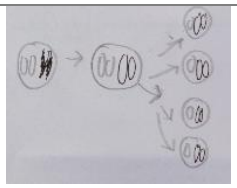
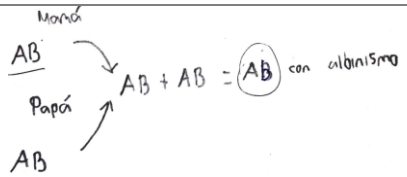
Entrevistadora: y, ¿qué tienen que ver los protones neutrones y electrones con la información genética?

Alumno: "*las células del ADN están compuestas por neutrones, protones y electrones".*

Las respuestas de la entrevista son consistentes con las empleadas en el pretest en donde se emplea la HE2, en la cual se reconoce al ADN como la información genética, aunque tiene confusión entre el nivel subatómico y el celular.

Con respecto a la categoría D, el alumno en el pretest emplea una herramienta epistémica 0 donde en realidad no atribuye a ningún tipo de mecanismo o proceso la variabilidad genética entre individuos, y lo mismo ocurre en el postest donde, aunque emplea otros símbolos (letras), no es claro con respecto a porqué ocurre la variabilidad genética. En la tabla 5.55 se muestran las respuestas empleadas en el pretest y postest para la categoría D.

Tabla 5.55. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro4 folio 90, categoría D.*

Pretest	**Postest**
HE0	HE0
	

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría D:

Entrevistadora: aquí, ¿me puedes explicar por favor este esquemita que realizaste?

Alumno: "*esto es lo que estábamos viendo del albinismo".*

Entrevistadora: sí, pero porque si los papás no son albinos uno de los hijos sí.

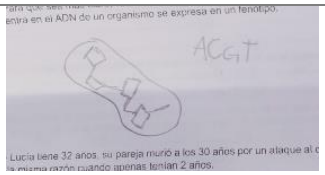
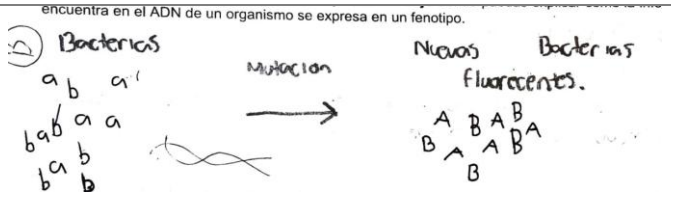
Alumno: *"en este caso por las letras que están las mayúsculas entonces la combinación según ah no, yo creo que estas deben de ser minúsculas, bueno ésta*

se reparte y ésta se reparte entre las cuatro ya que hasta tiene un dominante y hasta solamente hacen complemento".

Las respuestas de la entrevista son consistentes con las empleadas en el pretest en donde no establece un mecanismo por el cual ocurre la variabilidad genética, y aunque quiere centrar su explicación en el mecanismo de dominancia y recesividad, al no tener consolidado ese modelo, tampoco lo puede hacer.

Con respecto a la categoría E, el alumno en el pretest emplea una herramienta epistémica 0 donde coloca lo que él considera es información genética, sin explicar cómo esta se puede expresar en un fenotipo. Por otro lado, en el postest emplea la misma herramienta epistémica porque no clarifica a qué se refieran las letras que coloca. En la tabla 5.56 se muestran las respuestas empleadas en el pretest y postest para la categoría E.

Tabla 5.56. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro4 folio 90, categoría E.*

Pretest	**Postest**
HE0	HE2
	

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría E:

Entrevistadora: oye y, ¿me puedes explicar cómo es que se expresan las características?

Alumno: "*esas son las que de acuerdo al orden nos van a dar las características por ejemplo en la parte de nosotros a lo mejor en las venas están formados así en este orden hace, pero del otro lado de esta vena que no es igual, está en diagonal y está más a la izquierda tiene TAG y termina en C y eso es lo que hace que salga*

un poco más chueca entonces cuando cambian nos dan características diferentes".

Entrevistadora: espera, ¿me puedes repetir por favor o explicar de nuevo?, es que no te estoy entendiendo.

Alumno: *"si, cada cachito es una característica, que yo por ejemplo aquí yo le puse una categoría que es la que va juntando las cadenas y la que está en medio es la característica que nos está dando por ejemplo nuestro ADN podría ser el tipo de sangre acá el color de pelo acá el color de ojos".*

Entrevistadora: ha ok, entonces las características están en el ADN.

Alumno: *"sí, así es".*

En el ejemplo anterior, es claro que el alumno no tiene claridad en ningún modelo de expresión de la información genética, únicamente refiere que es la que contiene las características, y aunque se refiere a un código genético como la TGC, no las emplea de manera adecuada para dar una explicación orientada a la pregunta realizada.

Con respecto a la categoría F, el alumno en el pretest y postest emplea una herramienta epistémica 0 donde menciona que existen diferencias en los tipos celulares, pero no hace referencia a cuáles. En la tabla 5.57 se muestran las respuestas empleadas en el pretest y postest para la categoría F.

Tabla 5.57. *Representaciones de pretest y postest del alumno del grupo 3ro4 folio 90, categoría F.*

Pretest	Postest
HE0	HE1
Sí existe una diferencia	Sí existe una diferencia

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría F:

Entrevistadora: otra pregunta, ¿todo nuestro cuerpo está formado por células, estas tienen la misma información genética o diferente?

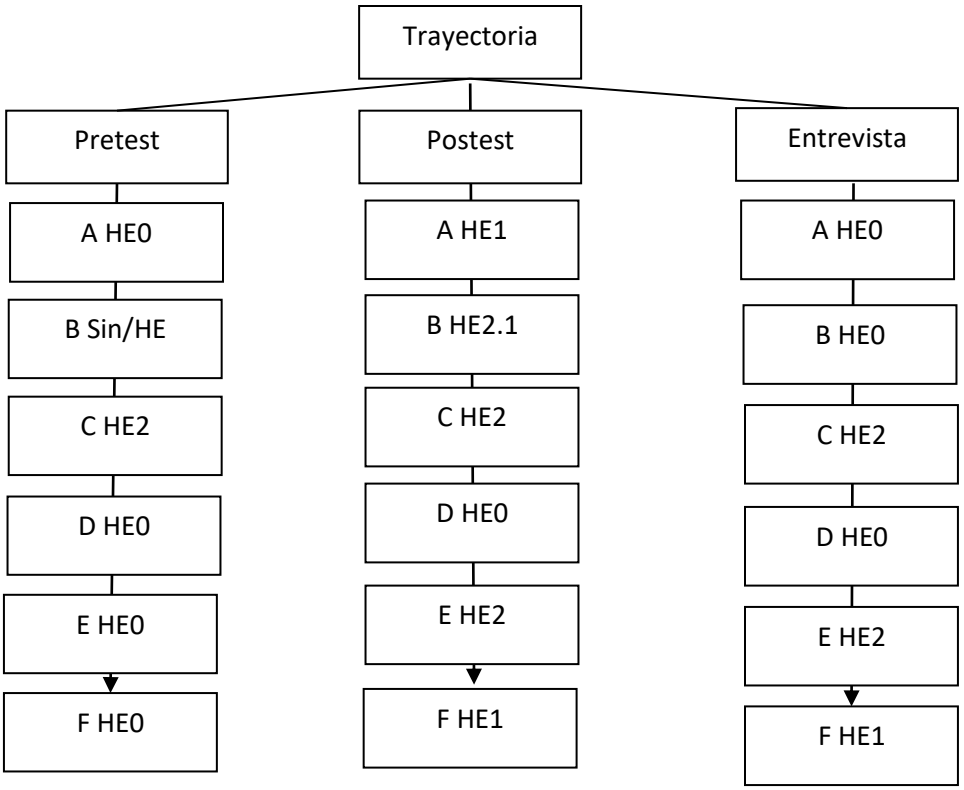
Alumno*: "pues cada una hace tejidos".*

Entrevistadora: pero, los diferentes tipos celulares de una misma persona, ¿tienen la misma información genética o diferente?

Alumno: "*no sé cómo explicarlo".*

Al realizar el análisis de la trayectoria de esta estudiante desde su pretest, postest y entrevistas, muestra que no construyó ningún modelo genético, en su mayoría puede emplear representaciones y utilizarlas en algunos casos como herramientas epistémicas, empleando inferencias que son lejanas al conocimiento escolarizado de la genética. En la figura 5.21 se muestra la trayectoria que siguió el alumno de la entrevista previamente reportada, en el pretest, postest y sus respuestas de entrevistas.

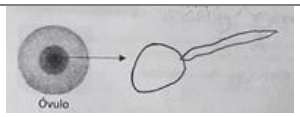
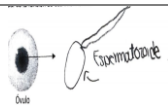
Figura 5.21. *Trayectoria de alumno que en entrevista muestra la construcción de los tres modelos conceptuales (genético, molecular y meiótico).*



5.5.5 Entrevista con desarticulación de modelos en cuestionario y articulación de modelos en entrevista

Para finalizar el análisis de las entrevistas, se va a presentar el caso de una alumna del grupo 3ro 2 con número de folio 21. En la tabla 5.58 se muestran las respuestas de la alumna en el pretest y postest para la categoría A.

Tabla 5.58. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 21, categoría A.*

Pretest	**Postest**
Sin HE	Sin HE
	

Como se puede observar, la alumna de este ejemplo, en el pretest y postest no muestra el uso de ninguna herramienta epistémica ya que su representación no está alineada a la intención de la pregunta. Sin embargo, en la entrevista, su respuesta es muy distinta. En el fragmento que a continuación se incluye podemos analizar esto.

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría A:

Entrevistadora: en esta la segunda pregunta del cuestionario dice que dibujes qué hay adentro del óvulo y aquí no dibujaste nada, pero no sé si ahorita podrías pensar un poquito si tú tuvieras un hijo bueno más bien tu mamá que ya te tuvo a ti, ¿qué te habrá dado en ese óvulo para que ahorita estés formada qué habrá llevado aquí este óvulo?

Alumna: "*pues parte de su información genética, su ADN o las proteínas o un cromosoma, de hecho, mi mamá me hereda mismo que la mamá o sea mitad y mitad".*

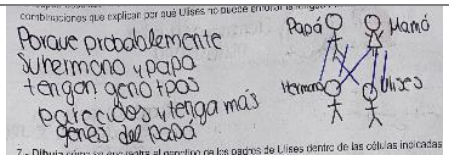
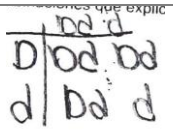
Entrevistadora: y sabes cómo es el ADN, me podrías ayudar a entender qué es eso.

Alumna: *"Pues, así como lo puse acá (señala respuesta de pregunta 1) donde esto que puse son los cromosomas, mitad de la mamá y mitad del papá y pues ahí adentro está el ADN".*

Como se puede notar, la alumna emplea la HE denominada como 3, ya que reconoce que cada progenitor hereda en sus gametos la mitad de su información genética por medio de los cromosomas, lo cual indica que, aunque su representación gráfica es la misma que en el cuestionario, porque no adiciona ningún elemento, en la entrevista su inferencia se modifica por una más precisa en cuanto a la cantidad de información genética que hereda cada gameto, mostrando un mayor refinamiento conceptual.

Con respecto a la categoría B, la alumna en el pretest emplea una herramienta epistémica sustancialista donde infiere que la expresión de las características en la descendencia está determinada por la cantidad de genes que hereda cada progenitor, mientras que en el postest su inferencia se modifica empleando símbolos de letras, las cuales no tienen sentido o un mecanismo claro. En la tabla 5.59 se muestran las respuestas empleadas en el pretest y postest para la categoría B.

Tabla 5.59*. Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 21, categoría B.*

Pretest	**Postest**
HE2	Sin HE
	

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría B:

Entrevistadora: ahorita que dices mitad y mitad yo siempre me he preguntado si sí es la mitad porque fíjate que dicen que yo me parezco mucho a mi papá

entonces yo la mejor pienso que mi papá me heredó más información que mi mamá, ¿eso sí se puede, que un papá me dé más información?

Alumna: "*no yo pienso que sigue siendo mitad y mitad, pero yo creo que los genes de mi papá pueden ser más dominantes para que yo me parezca más a él".*

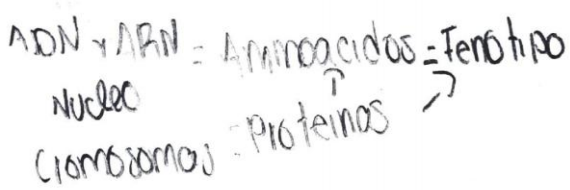
Entrevistadora: ok, ¿qué crees que significa que sea dominante?. Aquí en tu esquema pones unas letras

Alumna: *"no le haga caso, me confundí, haga de cuenta que yo soy morenita mi papá es morenito mi mamá es blanquita, el morenito es el dominante porque a lo mejor si lo hereda, pero en el papá fue dominante y cuando usted si tiene o tenga hijos puede darle el que sea blanquito o blanquita, es un gen que guarda bueno es recesivo, pero pues así se dice porque no se expresa, a menos que el papá haya llevado el blanquito y ya se junten los dos, así sí".*

Como se puede notar, la alumna emplea la HE denominada como 3.1. Lo importante en este punto, es que la alumna de un inicio no necesitó apoyarse en la representación gráfica (cuadro de Punnett) que empleó en el postest, porque reconoció que estaba mal y lo explicó desde sus representaciones internas que explicitó de manera verbal.

Con respecto a la categoría C, la alumna en el pretest emplea una herramienta epistémica donde reconoce únicamente un nivel de organización de la información genética que son los cromosomas, mientras que en el postest utiliza la HE3.2 en la cual reconoce distintos niveles en los que se organiza la información genética. En la tabla 5.60 se muestran las respuestas empleadas en el pretest y postest para la categoría C.

Tabla 5.60. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 21, categoría C.*

Pretest	Postest
HE2	HE3.2
	

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría C:

Entrevistadora: aquí en la pregunta uno donde dice dibujan la información genética tú escribiste ADN, ARN, qué es el ARN.

Alumna: *"es parecido al ADN en el aspecto de que en el ADN se transforma en ARN, donde se van cambiando parte de los aminoácidos es cuando se traduce".*

Entrevistadora: y para qué se tiene que traducir la información.

Alumna: *"para pasarlo a los aminoácidos y formar una proteína".*

Entrevistadora: para qué necesitamos una proteína o cuál es la función de esa proteína.

Alumna: *"creo que es cuando se están formando los genes y es para la información genética de nosotros".*

Entrevista: me puedes dar un ejemplo de eso por favor para que yo lo pueda entender mejor.

Alumna: *"pues el aminoácido sale la proteína y de ahí sale el gen y es cuando se comienza a formar es como si fuera por pasos ARN- aminoácido-proteína-genes-alelos, y luego se va formando lo que sigue, las células o lo que te ayuda a formarte entonces en el ADN está la información y eso se traduce hasta que llega y forma un ser vivo".*

Las respuestas de la entrevista evidencian que emplea la HE 3.2, en la cual la alumna reconoce distintos niveles de organización de la información e incluso puede explicar cómo es que se expresa en un fenotipo, integrando esta categoría con el modelo molecular.

Con respecto a la categoría D, la alumna en el pretest y postest emplea una herramienta epistémica 0 donde en realidad no atribuye a ningún tipo de mecanismo o proceso la variabilidad genética entre individuos. En la tabla 5.61 se muestran las respuestas empleadas para la categoría D.

Tabla 5.61. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 21, categoría D.*

Pretest	**Postest**
HE0	HE0
Porque si ADN nunca será igual no tendrá exactamente los mismos genes.	Nunca somos iguales por que todos tenemos celulas diferentes

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría D:

Entrevistadora: ok y mi duda es que en un evento de fecundación el hombre libera muchos espermatozoides, millones, y entonces yo me pregunto, ¿todos estos espermatozoides llevarán exactamente la misma información genética, son igualitos unos a otros?

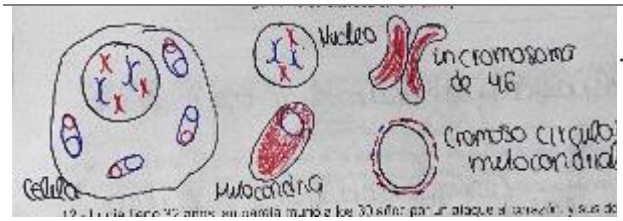
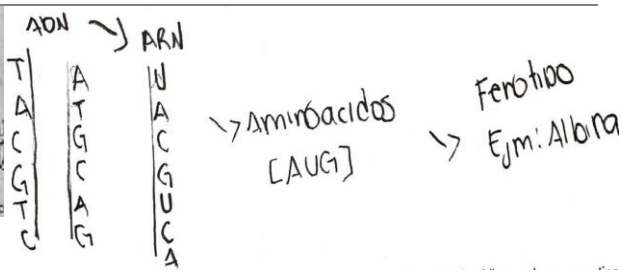
Alumna: *"no, cada espermatozoide puede tener diferente información, supongamos que el papá también tiene genes de la piel o el cabello color de ojos y supongamos que un espermatozoide trae el color de la piel blanquito y los ojos no se cafés y otro espermatozoide lo puede traer el otro gen del papá que tenía guardado de parte de sus papás como otro color de ojos y otro color de piel, entonces si yo junto a este óvulo y este espermatozoide me da un bebé morenito pero sí junto a este óvulo con este espermatozoide me da por ejemplo otra niña blanquita porque los hermanos cuando los papás se juntan y tienen hijos no todos son iguales, pueden tener un hijo morenito con ojos cafés el otro no puede ser*

exactamente igual el otro puede ser más flaquito con ojos más claros o así son parecidos a lo mejor en la nariz qué acelerado su papá pero no pueden ser exactamente iguales".

Las respuestas de la entrevista a pesar de que no explicita claramente el modelo meiótico, sí reconocen que los gametos contienen distinta información genética desde su formación, por lo cual cuando estos se unen en la fecundación, cada organismo es único.

Con respecto a la categoría E, la alumna en el pretest emplea una herramienta epistémica 0 donde a pesar de emplear un símbolo genético como los cromosomas, no establece una inferencia sobre cómo es que este puede expresarse en un fenotipo. Por otro lado, en el postest emplea la herramienta epistémica 2 en la cual escribe un código genético de secuencia de aminoácidos con las cuales ejemplifica que se puede expresar. En la tabla 5.62 se muestran las respuestas empleadas en el pretest y postest para la categoría E.

Tabla 5.62. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 21, categoría E.*

Pretest	**Postest**
HE0	HE2
	

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría E:

Entrevistadora: ¿Me puedes explicar el esquema que aquí pusiste?

Alumna: "*sí, que al formarse la proteína es esto de la ARN. Los aminoácidos y esto es cómo nos ayuda a formarnos a nosotros, son como por pasos de proteínas luego siguen los alelos y después son las células y poco a poco para formarnos*

entonces las proteínas son parte de nosotros para formar a un ser supongo que no me acuerdo pero creo que por ejemplo la melanina era una proteína y eso hace que su color sea más fuerte es que no me acuerdo si se les dice proteínas, pero son letras que ayudan a formar el ADN para que eso después se traduzca a ARN o no me acuerdo si se les dice elementos De todo lo que lleva, primero son los elementos, luego las moléculas, luego el ADN, ARN, luego proteínas, alelos, cromosomas, tejido, y un ser vivo".

En el ejemplo anterior, si bien su inferencia no es muy clara en cuanto al modelo molecular, sí emplea la HE2 al reconocer el código genético del ADN y que este se traduce en un ARN y la proteína.

Con respecto a la categoría F, la alumna en el pretest y postest emplea una herramienta epistémica 0 donde menciona que existen diferencias en los tipos celulares, pero no hace referencia a cuáles. En la tabla 5.63 se muestran las respuestas empleadas en el pretest y postest para la categoría F.

Tabla 5.63. *Representaciones de pretest y postest de la alumna del grupo 3ro2 folio 21, categoría F.*

Pretest	**Postest**
HE0	HE0
Sí existe una diferencia	Si, existe ninguna diferencia

Fragmento de entrevista que atiende a la categoría F:

Entrevistadora: ahora atendiendo esta pregunta, las células que conforman a un mismo individuo, ¿tienen la misma o diferente información genética?, es decir, las células de la grasa, las de la piel, el hueso, tienen la misma o distinta.

Alumna: "*pues yo supongo que es distinta porque se necesita el tamaño de la lengua o una célula para el cabello una para los ojos y así entonces creo que cada uno es diferente porque no pueden ser iguales no se pueden combinar como los tamaños o que todas las células sean iguales, no sé cómo decirlo".*

Entrevistadora: Pero ya he visto películas de suspenso donde matan a alguien y entonces para identificar al asesino basta con que encuentren un cabello o saliva o sangre o piel y dicen que con eso pueden identificar el ADN de la persona que es y entonces si cada célula tiene diferente información, ¿cómo saben que esa célula pertenece a una misma persona?

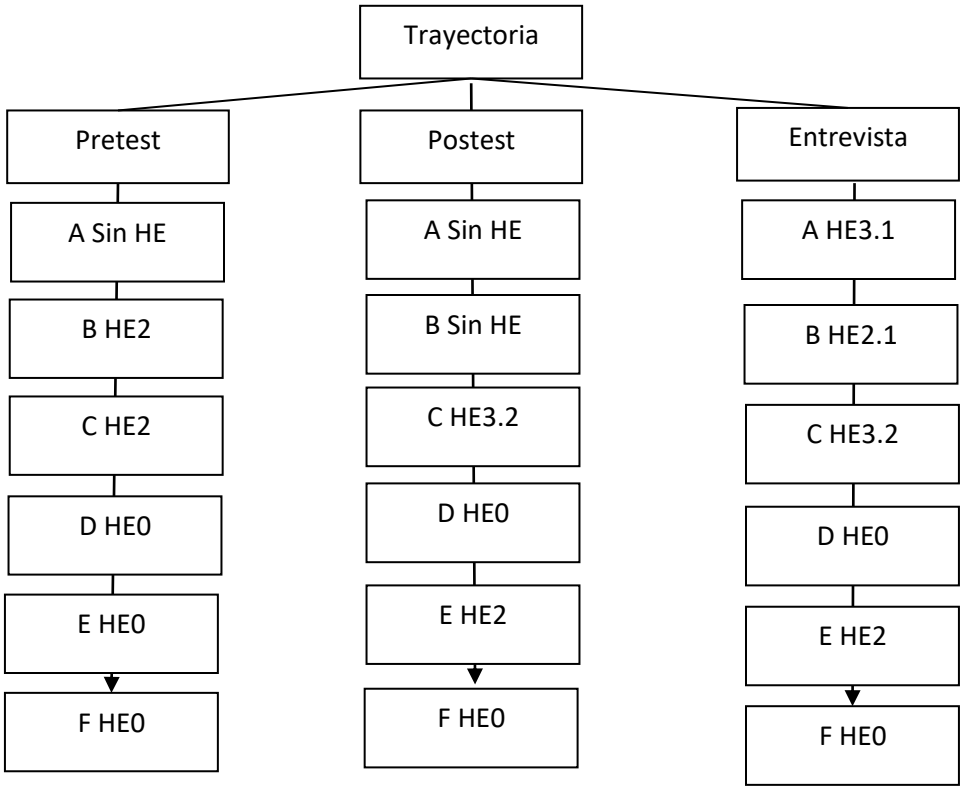
Alumna: *"ah sí, pues no sabría explicarlo bien, supongo que sí tienen que tener algo en común".*

En este caso nuevamente se puede observar que la alumna no ha construido el modelo molecular; sin embargo, su inferencia es distinta al cuestionario, explicando una razón por la cual cada célula es distinta.

Al realizar el análisis de la trayectoria de esta estudiante en el cuestionario pretest y postest mostró el uso de HE lejanas al conocimiento escolarizado de la genética, con desarticulación entre categorías y sin construcción de modelos conceptuales; sin embargo, durante la entrevista sus inferencias mostraron una integración de los tres modelos conceptuales, lo que muestra cómo es que las representaciones pueden tener mayor uso inferencial si son utilizadas por los alumnos con una intención epistémica.

En la figura 5.22 se muestra la trayectoria que siguió el alumno de la entrevista previamente reportada, en el pretest, postest y sus respuestas de entrevistas.

Figura 5.22. *Trayectoria de alumno que en entrevista muestra la construcción de los tres modelos conceptuales (genético, molecular y meiótico).*



CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

En este último apartado se exponen las conclusiones obtenidas a partir del análisis de los resultados y sustentadas también por diferentes investigaciones que se han realizado en el campo de la didáctica del tema de genética y del modelo representacional-inferencial.

Primero se discute acerca de la comprensión de los estudiantes sobre los distintos modelos de la herencia genética (genético, meiótico y molecular) y las implicaciones conceptuales; posteriormente, se presentan las ideas sobre el análisis de las representaciones como herramientas epistémicas, desde sus elementos constitutivos, considerando las relaciones que existen entre estos y los desafíos de su análisis. Finalmente, se discuten algunas de las implicaciones que el uso de las múltiples representaciones tiene en la enseñanza de la genética y de las ciencias en general, y el análisis de los temas desde el enfoque representacional-inferencial.

6.1 Comprensión de los estudiantes sobre herencia genética

Como se señaló con anterioridad, el aprendizaje de genética ha sido reportado por numerosos estudios como un problema complejo debido a que, para alcanzarlo, están implicados diversos factores, como la construcción de ideas previas que por lo regular son lejanas al conocimiento escolarizado del tema, la complejidad conceptual que involucra la construcción y articulación de tres modelos conceptuales para lograr una comprensión clara e integral, la complejidad representacional requerida para tratarlo, que incluye el análisis de los procesos a nivel de organismo, célula, molécula y símbolos, así como el tipo de recursos representacionales empleados en su enseñanza.

Por lo anterior, en esta investigación se planteó la necesidad de analizar cuál es la comprensión que los estudiantes tienen sobre herencia genética bajo un contexto determinado (ambiente multi-representacional), requiriendo para ello, identificar las representaciones e inferencias que construyen para explicar los tres modelos conceptuales implicados, y cómo los articulan entre sí.

Dado que el objetivo principal de esta tesis es conocer los conocimientos que construyen los alumnos de herencia genética considerando los aspectos antes mencionados, se realizó una investigación documental sobre las distintas posturas de cambio conceptual que pudieran ofrecer un marco de análisis apropiado; esta revisión permitió establecer que el enfoque más adecuado para el estudio es el enfoque representacional-inferencial debido a que, bajo esta propuesta, el análisis se realiza sobre las representaciones que construyen los estudiantes en distintos formatos (simbólico, gráfico, lingüístico) y las inferencias que con ellas pueden generar, a partir de los elementos de interpretación con los que cuentan (múltiples representaciones).

Analizar la comprensión del tema de herencia genética desde el enfoque representacional inferencial permitió encontrar diferentes representaciones que actúan como herramientas epistémicas puesto que con ellas los estudiantes generan inferencias para el fenómeno que se les presenta, en este caso sobre los tres modelos conceptuales de herencia genética, con lo que es posible también identificar los principales problemas conceptuales y representacionales de los alumnos de la muestra, los cuales son consistentes con los reportados en la literatura.

6.1.1 Modelo genético

El modelo genético es el cimiento para comprender los procesos hereditarios, ya que permite identificar los patrones por los cuales una característica se hereda y expresa entre los individuos y su descendencia y, en principio, sería el más sencillo de construir, porque las inferencias las generan a partir de observaciones perceptuales, centradas en nivel de organismo, las cuales se representan en el nivel simbólico. Los principales conceptos implicados son los genes dominantes y recesivos, y la forma más común de representar los mecanismos es a través de cuadros de Punnett.

En la literatura existen numerosas investigaciones que reportan el diseño de estrategias didácticas para la enseñanza del modelo genético (Crespo, 2021;

Rojas y Salazar, 2019; Villegas, 2023), la mayoría de ellas centradas únicamente en la herencia mendeliana; en estos trabajos se reporta que los alumnos son capaces de resolver correctamente los problemas que se les presentan, y para ellos es relativamente sencillo comprender la relación entre genes dominantes y recesivos, generando predicciones de expresión de fenotipos de manera correcta. Sin embargo, como lo reporta Bugallo (1995) en una revisión bibliográfica sobre la didáctica de la genética, los alumnos no generan inferencias contextuales sobre los problemas que resuelven, situación que no ha cambiado con el tiempo y se reporta en nuevos trabajos, como el de Corbacho y De (2009) y Karagoz, y Cakir (2011), quienes mencionan que los estudiantes únicamente aplican de forma mecánica las reglas para la resolución de problemas, sin que exista una comprensión de los conceptos y mecanismos implicados.

Los resultados del modelo genético obtenidos en esta investigación son consistentes con los trabajos reportados en la literatura en tres aspectos:

En primer lugar, como lo evidenciaron todos los instrumentos de evaluación aplicados (pretest, postest y entrevista) , los alumnos utilizan representaciones con símbolos genéticos, como cuadros de Punnett, obteniendo probabilidades correctas para las demandas conceptuales implicadas, pero esto no significa que logren una comprensión clara y adecuada, ya que la representación que emplean no va acompañada de una inferencia que le permita establecer una vinculación con el modelo meiótico, ni pueden explicar el mecanismo involucrado en el fenómeno , así que la explicación se reduce a definir las probabilidades, sin explicar por qué es posible obtenerlas, lo que comprueba que los procesos hereditarios solo los aplican en forma mecánica. Esta situación se hizo más evidente en las entrevistas, cuando se les cuestionó sobre los símbolos empleados y, en muchas ocasiones, los alumnos de la muestra no dieron muestras de saber lo que representan.

En segundo lugar, si bien la secuencia didáctica y los instrumentos de evaluación fueron diseñados para abordar los temas de herencia mendeliana y no mendeliana, así como su explicitación a través de diferentes formatos

representacionales, más del 80% de la muestra centró las explicaciones en el mecanismo de dominancia y recesividad, empleando el cuadro de Punnett, sin considerar otros conceptos como herencia intermedia o codominancia.

En tercer lugar, parece ser que para los alumnos es sencillo explicar las relaciones de dominancia y recesividad, pues en la categoría de análisis B se aborda esta demanda conceptual, y fue la que alcanzó el mayor porcentaje en el empleo de representaciones e inferencias cercanas al conocimiento escolarizado de la genética, y en ella se identificó el mayor cambio entre el pretest el postest. Sin embargo, desde el ámbito conceptual de la herencia genética, esto puede verse como un problema , ya que tanto en los cuestionarios como entrevistas, la muestra utiliza representaciones de genes dominantes y recesivos para generar inferencias sobre cualquier característica, lo que para ellos implica que la herencia de cualquier rasgo cae dentro del mismo mecanismo, y lo emplean para dar cuenta lo mismo del color de ojos, el color de piel o el lóbulo de la oreja cuando, desde la propia disciplina se sabe que son muy pocos los rasgos que se comportan siguiendo el patrón descrito por Mendel. Esto implica que todos los alumnos de la muestra tienen se apropiaron solo del modelo mendeliano, por lo que su construcción del modelo genético fue parcial.

Por otra parte, el análisis demuestra que el uso de representaciones simbólicas y lenguaje genético no garantiza que el alumno las utilice para generar inferencias cercanas al conocimiento escolarizado de la herencia genética, pero sí es posible reconocer que para él son válidas. Por ejemplo, en la categoría B, la HE1 sería parte de las ideas previas de los estudiantes, donde el mecanismo que utilizan para explicar la expresión de un rasgo es de tipo perceptual en la cual el rasgo expresado en la descendencia es el rasgo del progenitor que “gano” y heredó más rasgos, y por lo regular las inferencias de estos alumnos están asociadas a que la madre le hereda más a las hijas y el padre a los hijos; esta HE se encuentra en la literatura en diferentes estudios, como el reportado por Kargbo y Erickson (1980) donde parafrasean la idea de uno de los estudiantes: “si el padre es alto y el hijo es hombre, entonces será alto; de tal forma que, si la madre es chaparra y la hija

es mujer, entonces será chaparra". Esta visión sustancialista de "ganar", también se reporta en la idea de Allchin (2000): "una característica domina sobre otra, como una competencia entre las dos y una gana o suprime a la otra". La HE2 muestra un indicio de la comprensión del modelo mendeliano, como en el siguiente ejemplo: "si todos en ambos lados de tu familia son altos, tú serás alto, si la mitad son altos y la otra mitad bajos, tienes una probabilidad del 50/50 de ser alto o bajo, también tienes la posibilidad de estar en algún punto intermedio" (Mills, Van, Zhang y Boughman 2008). Por su parte, el uso de la HE 2.1 muestra cierto dominio del modelo mendeliano al comprender las relaciones entre genes dominantes y recesivos; sin embargo, es relevante mencionar que, a pesar de que en el pretest 72 alumnos emplearon esta HE , lo cual es un logro conceptual importante, en realidad solo 25 alumnos emplearon representaciones donde establecen los mecanismos mediante los cuales se expresan las características a través del modelo de dominancia y recesividad y su relación con los niveles en los que se organiza la información genética, es decir, solo estos 25 alumnos lograron la integración de las categorías de análisis A y B, las que en conjunto dan cuenta de la construcción del modelo genético, que como se mencionó anteriormente, es parcial por la falta de integración del modelo meiótico y del reconocimiento de los otros mecanismos hereditarios como herencia ligada al sexo o herencia intermedia.

6.1.2 Modelo meiótico

Una de las principales dificultades a las que los alumnos se enfrentan para comprender el tema de genética, es relacionar los mecanismos de herencia y expresión de rasgos con los procesos de formación de gametos y segregación de caracteres a través de la meiosis. Sin embargo, el modelo genético no tiene sentido sin el modelo meiótico (Rodríguez-Gil, Carballo-Ontiveros y Castañeda-Sortibrán, 2024), ya que la meiosis es esencial para comprender la construcción y símbolos utilizados en los cuadros de Punnett, y permite comprender por qué cada evento de fecundación es único, por qué no siempre se expresan los caracteres dominantes o los recesivos, por qué cada organismo recibe información genética

de ambos progenitores, por qué cada individuo es único e irrepetible fenotípica y genotípicamente, y con ello es posible generar hipótesis y establecer probabilidades de manera consciente. La construcción de este modelo implica realizar análisis a nivel celular y simbólico; los principales conceptos implicados son los niveles de organización de la información genética (genes, cromosomas y alelos).

A pesar de la importancia de relacionar los modelos genético y meiótico, para los alumnos resulta muy difícil de lograr por lo que tampoco alcanzan una comprensión clara del tema (Williams, Haydel, Montgomery, Xuechun y Tate, 2011).

Dentro de las principales inferencias que expresan los alumnos, que son coincidentes con la literatura y que representan un obstáculo conceptual para la construcción del modelo meiótico y con ello comprender el concepto subyacente de segregación de genes, es que solo generan explicaciones a nivel de genes o ADN, cuando la segregación ocurre con la formación de los cromosomas, así como la idea de que las niñas heredarán los rasgos de la madre, los niños heredarán los rasgos del padre; por ejemplo, una alumna (folio 69) mencionó que “en cada fecundación, en todas las reproducciones son los mismos espermatozoides y óvulos, lo que sucede es que si es niña dominan más las características hereditarias de la mujer, y si es niño, del hombre”, y en otros casos emplean una HE donde infieren que los óvulos únicamente llevan el X y los espermatozoides el cromosoma Y. Esta situación provoca que sus inferencias no expliquen de manera correcta la causa de la variabilidad genética; sin embargo, sí existe un mecanismo que es válido y justificado para ellos, donde la variabilidad genética se atribuye a una “mezcla única”. El 70% de la muestra empleó esta herramienta epistémica (HE1), lo que es coincidente con Engel y Wood-Robinson (2008) exponiendo ideas de los alumnos como la siguiente: “si se combinan los genes de los padres se obtiene un tipo de mezcla que no será exactamente igual a la de cualquiera de los padres, así es como obtienes la diferencia” (Ibourk, Williams, Opperman, Cisterna, Nazar y Xie (2018).

Los problemas conceptuales en la construcción del modelo meiótico ocurren principalmente porque los alumnos no han desarrollado un modelo cromosómico; es decir, que no distinguen de manera correcta los distintos niveles en los que se organiza la información genética desde el nivel de ADN, cromosomas y genes, lo que no les permite comprender el proceso de *crossing over* y la segregación de cromosomas en los gametos.

Estos resultados son consistentes con lo encontrado en la muestra de esta investigación, donde solo 12 alumnos emplearon representaciones con las que explican cómo es que cada organismo es único e irrepetible, desde el proceso de formación de gametos; pero solo cinco alumnos establecieron una relación entre el proceso de segregación de genes y los niveles en los que se organiza la información genética, es decir, que solo estos cinco alumnos lograron la integración entre las categorías C y D, con lo que es posible la construcción del modelo molecular.

La vinculación entre los procesos de meiosis y el modelo genético solo se vio reflejado en nueve alumnos, es decir que, a pesar de que en el modelo genético gran parte de la muestra empleó cuadros de Punnett, solo un porcentaje muy bajo lo usó de forma consciente, reconociendo cuántos alelos hereda cada padre y las implicaciones que esto tiene en cada evento de fecundación, situación que es coincidente con el estudio de Williams, Haydel, Montgomery, Zhou, y Tate, (2011), quienes reportan este problema como uno de los más recurrentes.

6.1.3 Modelo molecular

Las investigaciones sobre el aprendizaje de la genética mencionan que el tema de síntesis de proteínas es el más difícil de comprender y el modelo molecular es el más complicado de construir por los estudiantes, debido a que los procesos y conceptos bioquímicos implicados, no son directamente visibles, estos no pueden ser percibidos ni observados directa o indirectamente, ya que todas sus representaciones son de tipo simbólicas. Incluso, en algunos estudios se reportan dificultades importantes en alumnos universitarios después del estudio de estos

temas, pues no consiguen establecer asociaciones coherentes con el conocimiento científico actual (Bahar, Johnstone, Hansell, 1999).

El modelo molecular tiene una gran importancia para comprender todos los procesos de genética, explica cómo los genes se expresan en determinado fenotipo, es el anclaje final entre los modelos meiótico y genético para comprender de manera integral el tema de herencia genética, y permite que el alumno comprenda el significado entre dominante y recesivo, así como reconocer que existen otros mecanismos de expresión como la herencia intermedia y la codominante, todo esto a partir de la producción de proteínas, le permitirá pasar de una visión sustancialista a una concepción de procesos e interacciones entre moléculas, donde un gen no necesariamente determina un rasgo, sino que varios genes pueden estar implicados en la producción de una proteína, los principales conceptos para la construcción de este modelo conceptual son el gen, la síntesis de proteínas, procesos de transcripción y traducción de ADN y ARN, código genético, proteínas y aminoácidos.

En algunos estudios referidos al modelo molecular, se reporta que por lo regular los alumnos no relacionan las estructuras genéticas como ADN, no pueden explicar la función del ARN y su relación con el fenotipo, tienen una concepción sustancialista del gen, memorizan definiciones como: "el gen/ADN es responsable de la producción de un rasgo" o "el gen/ADN está codificado para un rasgo", pero no pueden explicar los mecanismos o procesos que expliquen dicha definición (Marbach-Ad, 2001), mostrando con esto su falta de comprensión conceptual sobre los procesos de transcripción y traducción.

Los resultados obtenidos en esta investigación son consistentes con los estudios reportados previamente, pues solo cinco alumnos de toda la muestra explicaron el proceso de síntesis de proteínas con claridad. Con respecto a las HE epistémicas construidas, en este modelo solo se presentaron dos relacionadas con la expresión del fenotipo a partir de las proteínas, desde una relación uno a uno (un gen un rasgo), lo cual muestra que el modelo molecular no se encuentra consolidado, sino en proceso de formación. Por otra parte, 69 alumnos en la

categoría C lograron identificar los diferentes niveles en los que se organiza la información genética, desde ADN, gen y cromosoma, pero solo dos de ellos hicieron uso de los diferentes niveles para explicar el proceso de expresión del fenotipo, mostrando una desvinculación, ya que los cinco que lograron explicar con claridad el proceso de síntesis de proteínas, se limitaron a utilizar el nivel de ADN y gen.

En este estudio se confirma que para los alumnos la construcción de modelos conceptuales es complicada, y más aún la integración; sin embargo, los resultados también indican que, con el andamiaje adecuado, en este caso el uso de múltiples representaciones, los alumnos sí pueden comenzar a realizar las construcciones necesarias para la comprensión integral de temas tan complejos como lo es la genética, pero para poder notar este avance en los procesos de construcción del conocimiento, es necesario analizar las inferencias que construyen sobre el fenómeno en cuestión.

Es importante mencionar que los resultados que se acaban de comentar tienen muchas implicaciones en la educación, por un lado, porque desde una evaluación convencional, sin realizar el análisis de las representaciones desde sus elementos constitutivos, muchas de las respuestas serían consideradas como correctas porque los alumnos pueden representar una cadena de ADN de acuerdo con lo que convencionalmente es considerado como correcto, o viceversa, que sea considerada como incorrecta porque la representación de ADN no es coincidente con una representación convencional. Sin embargo, el enfoque representacional-inferencial permite un análisis desde un punto distinto, donde lo que tiene sentido es cómo el sujeto emplea la representación para generar una inferencia válida de acuerdo con otros elementos que utiliza, como la regla de correspondencia. Esta situación se puede analizar con mayor claridad cuando las respuestas de los cuestionarios se comparan con los de las entrevistas, ya que en estas el porcentaje de alumnos que construyen los tres modelos conceptuales y los integran es mayor, debido a que tienen más posibilidad de explicar sus inferencias con las representaciones con las que cuentan.

Finalmente, los resultados también indican que en algunas categorías de análisis los estudiantes generan una trayectoria representacional, como lo reportan Flores-Camacho, Calderón-Canales, García-Rivera, Gallegos-Cázares y Báez-Islas (2021), pues en la categoría A la configuración de la HE3 es HE0+HE1+HE2+HE3. Es importante mencionar que esta situación no se presentó en categorías como la D y F, siendo excluyentes entre si las HE pertenecientes a la misma línea temática. Una posible respuesta a por qué ocurre esto, puede estar relacionada al hecho de que las categorías A, B y C están más próximas al entorno cotidiano e incluso, son los aspectos que escolarmente más se abordan y, por tanto, existen más elementos de interpretación desde lo perceptible y vivencial, mientras que las categorías D y F requieren sin lugar a dudas un nivel de abstracción mayor, llegar hasta el nivel molecular para explicar los procesos, así como condiciones que no son tan fáciles de analizar desde un contexto cotidiano y macroscópico, además de que su tratamiento está vinculado con la educación formal.

6.2 Análisis de las representaciones como HE

Los resultados comprueban que todas las personas tenemos la posibilidad de generar representaciones, ya que son los medios por los cuales organizamos, explicitamos, razonamos e inferimos el conocimiento. Además, estas representaciones pueden funcionar como herramientas epistémicas cuando se utilizan para generar inferencias, como lo evidenciaron los alumnos de la muestra de estudio, quienes generaron representaciones para responder a una demanda conceptual e interpretar fenómenos de su entorno.

Es importante mencionar que desde el pretest los alumnos generaron representaciones y las emplearon como HE, evidenciando así inferencias intuitivas, por ejemplo, sobre los procesos hereditarios emplearon la inferencia con respecto a que se expresa la característica de la cual se hayan heredado más cantidad de genes. Esta situación demuestra que las representaciones permiten generar inferencias que son válidas para cada sujeto desde la coherencia interna de sus elementos constitutivos. Bajo una mirada convencional, estas

concepciones son erróneas, pero desde el enfoque representacional-inferencial son provechosas pues permiten analizar los procesos de construcción de conocimiento y evidencian que las respuestas de los alumnos, más allá de ser equivocadas desde el ámbito científico, posibilitan la identificación de inferencias válidas para ellos, condición útil para proponer estrategias didácticas que ayuden a continuar con el uso de las representaciones como HE, hasta llegar al nivel de abstracción requerido.

Por otro lado, los resultados encontrados también ponen en evidencia la importancia de la interacción entre los elementos constitutivos de la representación que dan cuenta de su uso como herramienta epistémica; por ejemplo, los alumnos que no hacen uso de la representación como HE utilizan únicamente representaciones textuales o gráficas donde no se emplea el nivel simbólico, mientras que en HE que son más cercanas al conocimiento escolarizado del tema, en todos los casos emplean representaciones tanto textuales como simbólico-gráficas. Además, se observa que cuando utilizan más de una representación, y estas se encuentran articuladas, elaboran inferencias más cercanas al conocimiento científico. Por otro lado, un alumno puede generar una inferencia válida y cercana al conocimiento escolarizado de la genética sin que las representaciones gráficas que utilice guarden una semejanza con lo que se representa de forma convencional, mostrando que los alumnos emplean las representaciones para realizar razonamientos.

En esta investigación, los resultados indican que este marco de análisis tiene muchas potencialidades para saber cómo los alumnos están comprendiendo los fenómenos, porque desde este enfoque no se establece como requisito una similitud con lo representado, lo que importa es cómo el sujeto la utiliza, las potencialidades de razonamiento subrogado que se le dan y que le permiten realizar distintos tipos de inferencias.

De esto deriva la importancia de que la enseñanza fomente la explicitación de las representaciones de los alumnos para identificar cuáles de ellas son empleadas como herramientas epistémicas, y aprovecharlas para la construcción de su

conocimiento, por lo que es necesario generar estrategias que los apoyen en la explicitación y reconocimiento de su reportorio de herramientas, así como en la construcción y uso epistémico de nuevas representaciones, que sean más cercanas a las explicaciones científicas.

6.3 Implicaciones en la educación

En cuanto a la comprensión del tema de genética, esta investigación indica que, para promover la construcción de un conocimiento completo y claro de la herencia genética, resulta fundamental romper ya con la idea, generalizada desde hace mucho tiempo, de enseñar las leyes de Mendel como el centro de este tema, con lo que seguramente se abonará en el camino de apoyar a los alumnos a cambiar su concepción del gen como una unidad discreta, y así permitirles comprender nuevos conceptos, resolver preguntas, plantear hipótesis, analizar datos e interpretar resultados, para poder llegar entender las relaciones conceptuales inmersas y sus significados, y no responder de manera mecánica con aplicación de fórmulas y uso de símbolos carentes de significado.

Otro punto fundamental es hacer explícita la relación entre el modelo genético con el modelo meiótico y, para lograr esto, se debe fomentar el análisis de la información genética en los cuatro niveles en los que se refleja (organismo, célula, molécula, símbolo), lo cual tendría que hacerse desde el uso de las múltiples representaciones.

Es muy importante que el modelo molecular se vincule con el modelo genético, para ayudar a construir el concepto de gen desde una visión de unidad continua; diversas investigaciones sugieren que al tratarse de procesos que no son perceptibles y en los que se emplea el nivel simbólico, es necesario hacer uso de múltiples representaciones como modelos, animaciones, imágenes, simuladores.

A partir del análisis de los resultados de numerosas investigaciones en la didáctica de la genética, se podría considerar que es inevitable que los alumnos conciban y representen la información genética de manera sustancialista, por las mismas

representaciones empleadas; sin embargo, lo importante es propiciar que el análisis que realicen lo hagan en función de procesos y mecanismos, que incorporen conceptos que les ayuden a superar la visión del determinismo genético, que distingan entre un mecanismo y otro.

Es preciso reconocer que la enseñanza y el aprendizaje de la genética requieren de una consideración de su naturaleza epistemológica, es decir, que se vea como un tema medular que será el punto de partida para comprender otros fenómenos, y que se reconozca que se deben fomentar procesos cognitivos como la abstracción, el pensamiento lógico, matemático y crítico que ayuden a los alumnos a pensar en modelos conceptuales, los cuales deben articular entre sí.

Para alcanzar todo lo anterior, es importante considerar que la enseñanza de este tema debe realizarse de manera gradual y con el suficiente tiempo para que el sujeto pueda transitar en distintos niveles. Analizar temas complejos como lo es la herencia genética ayuda a profundizar la comprensión del pensamiento de los estudiantes, lo que puede ayudar a mejorar su preparación para aprender ideas avanzadas relacionadas con la genética.

6.4 Consideraciones finales

De acuerdo con el estudio realizado, desde los aspectos teóricos que lo enmarcaron hasta el análisis de los resultados obtenidos, es posible cerrar esta investigación con algunos aspectos que resultan relevantes para ser considerados dentro del campo de la enseñanza de la genética, en lo particular, y de la biología y otras disciplinas científicas en lo general, y que derivan de la reflexión hecha a partir de los hallazgos del trabajo realizado, estos son:

- Todos los estudiantes pueden generar representaciones, lo cual no significa que tengan una comprensión del tema, por lo que éstas deben analizarse desde sus elementos constitutivos para conocer si se usan como herramienta epistémica y cuál es la inferencia que se encuentra detrás.

- No toda representación tiene un uso epistémico, aun cuando estas guarden una relación isomórfica con lo representado, para tener uso epistémico deben permitir realizar inferencias válidas que estén relacionadas con la representación y que sean comprobadas mediante una regla de coordinación.

- Las representaciones no deben guardar una semejanza con lo representado para tener uso epistémico y para ser válidas.

- Se debe propiciar que los alumnos puedan expresar sus representaciones, para que ellos se den cuenta qué pueden hacer con ellas, cómo les están sirviendo para construir su conocimiento y las empleen como herramientas epistémicas de forma consciente.

- El uso epistémico de una representación da cuenta de un proceso de construcción en el sujeto.

- El uso de múltiples representaciones externas es útil para permitir que los alumnos puedan generar sus propias representaciones en diversos formatos representacionales, y para comprender temas representacionalmente complejos como la herencia genética, donde para su compresión se debe transitar en cuatro niveles distintos.

- No es posible analizar con precisión todos los elementos constitutivos de las representaciones, como es el caso de los elementos de interpretación, ya que los alumnos cuentan con diferentes experiencias que forman parte de esos elementos que les ayudan a construir sus representaciones. De manera escolarizada se debe considerar el uso de las múltiples representaciones.

- El haber obtenido inferencias más cercanas al conocimiento escolarizado del tema en las entrevistas que en los cuestionarios, hace necesario replantear cómo deben formularse las preguntas para permitir a los alumnos expresar sus inferencias. Es importante que, en los instrumentos de evaluación, a partir de los

cuales se pretenda realizar un análisis bajo el enfoque representacional-inferencial, se plantee de forma clara que lo alumnos expliciten todos los elementos constitutivos de la representación para evitar la sobre interpretación.

- Bajo el enfoque representacional inferencial, es indiscutible lo necesario de replantear la evaluación del aprendizaje, ya que lo que puede parecer incorrecto desde una evaluación convencional, desde esta perspectiva implica que la inferencia que puede realizar el sujeto con su representación o representaciones, puede derivar en una explicación con coherencia interna, válida para el sujeto, la cual tiene posibilidades de irse reestructurando.

BIBLIOGRAFÍA

Agorram, B., Clément, P., Selmaoui, S., Khzami, S., Chafik, J., y Chiadli, A. (2010). "University students' conceptions about the concept of gene: Interest of historical approach". *US-China Education Review*, 7(2), 9-15.

Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 15(3), 183–198. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001

Ainsworth, S. (2008). The Educational Value of Multiple representations when Learning Complex Scientific Concepts. In Gilbert JK.; Reiner, M; Nakhleh,M (Eds.)*Visualization: Theory and Practice in Science Education. https://* doi.org.*10.1007/978-1-4020-5267-5_9.*

Aivelo, T. y Uitto, A. (2021). Factors explaining students' attitudes towards learning genetics and belief in genetic determinism. *International Journal of Science Education, 43*(9), 1408-1425. https://doi.org.10.1080/09500693.2021.1917789

Aliberas, J., Gutiérrez, R., e Izquierdo, M. (2017). Introducción a un método para la conducción y análisis de diálogos didácticos basado en la evaluación de modelos mentales. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 35 (2)7-28.

Allchin, D. (2000). Mending Mendelism. The American Biology Teacher, 62(9), 632–639. https://doi.org/10.2307/4451001

Amin, T., Smith, C., y Wiser, M. (2014). Student Conceptions and Conceptual Change: Three Overlapping Phases of Research. In N. Lederman y S. Abell (Eds.), *Handbook of Research on Science Education*. Routledge.

Anderson, T., Schönborn, K., Plessis, L., Gupthar, A., y Hull, T. (2013). Identifying and Developing Students' Ability to Reason with Concepts and Representations in Biology. https://doi.org.10.1007/978-94-007-4192-8_2.

Argento, D. (2013). *Estudio exploratorio sobre preconcepciones en el área de Genética en alumnos de secundaria italianos y españoles*. Tesis de máster. Universidad internacional de La Rioja, Madrid.

Aydin, S., Şahin, S., y Sicaker, A. (2014). The Effect of Protein Synthesis Game in the Class on the Students' Understanding of Protein Synthesis Subject, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 116, 3075-3078, https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.710.

Ayuso, G. (2000). La enseñanza de la herencia biológica y la evolución de los seres vivos. Fundamentación, planificación, aplicación y evaluación de una propuesta didáctica para la educación secundaria obligatoria. Tesis de máster. Universidad de Murcia.

Ayuso, G., y Banet, E. (2002). Alternativas a la enseñanza de la genética en Educación Secundaria. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 20 (1), 133-157,

Bahar, M., Johnstone. A., y Hansell M.(1999).Revisiting learning difficulties in biology. *Journal of Biological Education*, *33*(2), 84-86. https://doi.org/10.1080/00219266.1999.9655648

Banet, E., y Ayuso E. (2000). Teaching Genetics at Secondary School: A Strategy for Teaching about the Location of Inheritance Information. *Science Education*, *84*(3), 313-351. https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<313::AID-SCE2>3.0.CO;2-N

Bugallo-Rodríguez, A. (1995). La didáctica de la genética: revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 13, 379-385.

Caballero, M. (2008). Algunas ideas del alumnado de secundaria sobre conceptos básicos de genética. *Enseñanza de las Ciencias, 26*(2), 227-243.

Carey, S. (1985). Conceptual change in childhood. Cambridge: MIT Press.

Carey, S. (2000). Science education as conceptual change. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 21(1), 13-19. https://doi.org/10.1016/S0193-3973(99)00046-5

Chamizo, J. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las ciencias,* 7(1) 16-41.

Chhabra, M., y Baveja, B. (2012). Exploring Minds: Alternative Conceptions in Science, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 55, 1069-1078.

Chi, M. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: examples from learning and Discovery in science. In R. Giere (Ed.) *Cognitive Models of Science*, Minneapolis: University of Minnesota Press.

Chi, M. (2008). Three types of conceptual change: belief revision, mental model transformation, and categorical shift. In S. Vosniadou (Ed.), *Handbook of research on conceptual change*. New Jersey: Erlbaum.

Chinnics, J., Zaroh, S., y Sherman, N. (2006). Using "Chromosom Socks" to demonstrate Ploidy in Mitosis y Meiosis. *The american biology teacher*, 68 (2) 106- 109.

CIEPS (Consejo de Investigación y Evaluación de la Política Social). (2021). Boletín Principales resultados de la Medición Multidimensional de la Pobreza a nivel municipal, 2020 en el Estado de México, 12 (9).

Clough, EE y Wood-Robinson, C. (1985). Cómo interpretan los estudiantes de secundaria los casos de adaptación biológica. *Journal of Biological*

Education, 19, 125-130. http://dx.doi.org/10.1080/00219266.1985.9654708

Cohen, R. y Swerdlick, M. (2001). Pruebas y Evaluación Psicológicas Introducción a las Pruebas y a la Medición. McGraw Hill. México.

Collins, A. y Stewart, J.H. (1989). The knowledge structure of Mendelian Genetics. *The American Biology Teacher*, 51(3), 143-149.

Contessa, G. (2007). Scientific representation, interpretation, and surrogative reasoning. *Philosophy of Science*, 74, 48-68.

Corbacho, V.; De, P. (2009). Enseñanza de la genética en la educación de nivel superior: dificultades para comprender conceptos y resolver problemas». *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, Extra, 1020-1023.

Crespo, A. (2021). Bases de la herencia: propuesta didáctica para alumnado de 4º de la ESO. Tesis de maestría.

Dikmenli, M. (2010). Misconceptions of cell division held by student teachers in biology: A drawing analysis. *Scientific Research and Essays*. 5 (2) 235-247.

Dikmenli, M., Cardak, O. y Kiray., S. (2011). Science Student Teachers' Ideas about the 'Gene' Concept. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, *15*, 2609-2613. https://doi.org.10.1016/j.sbspro.2011.04.155

DGB (Dirección General de Bachillerato). (2018). Programa de estudios de bachillerato. Biología I Tercer semestre.

diSessa, A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10(2-3), 105-225.

diSessa, A. (2002) Why "conceptual ecology" Is a good idea. In M. Limón y L. Mason (Eds.), *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

diSessa, A. (2004). Metarepresentation: Native competence and targets for instruction. *Cognition and Instruction*, 22, 293–331.

Domènech-Casal, J. (2016). Gene Hunting: una secuencia contextualizada de indagación alrededor de la expresión génica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 13*(2), 342-358. https://doi.org.10498/18292

Duit, R. y Treagust, D. (1998). Learning in Science, From Behaviourism Towards Social Constructivism and Beyond. In International handbook of science education. https://doi.org.10.1007/978-94-011-4940-2_1.

Duit, R., Treagust, D. y Widodo, A. (2012). Teaching science for conceptual change. Theory and practice, In Vosniadou, S. (ed), *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York, USA: Routledge.

Duncan, R. G. y Reiser, B. J. (2007). Reasoning across ontologically distinct levels: students' understandings of molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(7), 938-959, https://doi.org/10.1002/tea.20186

Eilam, B. (2013) Possible Constraints of Visualization in Biology: Challenges in Learning with Multiple Representations. En D. F. Treagust y C-Y. Tsui (Eds.), *Multiple Representations in Biological Education*. Dordrech: Springer.

Engel, E., y Wood-Robinson, C. (1985). La comprensión de la herencia por parte de los niños. *Journal of Biological Education*, *19* (4), 304–310. https://doi.org/10.1080/00219266.1985.9654757

Etobro, B. y Banjoko, S. (2017). Misconceptions of genetics concepts among pre-service teachers. *Global Journal of Educational Research*. 16. 121. https://doi.org/10.4314/gjedr.v16i2.6.

Figini, E., De Micheli, A. (2005) La enseñanza de la genética en el nivel medio y la educación polimodal: contenidos conceptuales en las actividades de los libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias* núm. extra, VII Congreso.

Flores, F. (2004). El cambio conceptual: interpretaciones, transformaciones y perspectivas. *Educación química,* 15(3) 256-269.

Flores, F. y Valdez, R. (2007). Enfoques epistemológicos y cambios representacionales y conceptuales. En J. Pozo y F. Flores (Eds.), *Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia*. Madrid: Antonio Machado Libros.

Flores-Camacho F. y Gallegos-Cázares L. (1998). Partial possible models: An approach to interpret students' physical representation. *Science Education*, 82, 15 – 29.

Flores-Camacho, F., García-Rivera, B., Báez-Islas, A., Gallegos-Cázares, L. (2017). Diseño y validación de un instrumento para analizar las representaciones externas de estudiantes de Bachillerato sobre genética, *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa*, https://doi.org/10.15366/riee.

Fox Keller, E. (2002). El siglo del gen: cien años de pensamiento genético. Ediciones Península.

Galagovsky, L.; Di Giacomo, M. A.; Castelo, V. (2009). Modelos vs. dibujos: el caso de la enseñanza de fuerzas intermoleculares. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, (8)1, 1-22.

Gallegos, L., Flores, F. y Calderón, C. (2021). Elementary School Children's Explanations of Day and Night. An Interpretation Based on an Inferential Approach to Representations. *Science & Education, 31,* 35-54. https://doi.org/10.1007/s11191-021-00230-1

Gallegos-Cázares, L.; Flores-Camacho, F.; Calderón-Canales, E. (2021). Preschool Children's Reasoning about Sound from a Inferential-Representational Approach. *Educ. Sci.* 11(4), 1-24. https://doi.10.3390/educsci11040180

García, J.; Perales, F. (2007). ¿Comprenden los estudiantes las gráficas cartesianas usadas en los textos de ciencias? *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 25, (1), 107-132,

Garvin, W., Stefani, L. (1993) Genetics-genetic disorder and diagnosis: a role-play exercise. *Journal of Biological Education* 27(l), 51–57. https://doi:10.1080/00219266.1993.9655304

Gilbert, J. (2005) Visualization: an emergent field of practice and enquiry in science education. En J. K., Gilbert, M. Reiner y M. Nakhleh (Eds.), *Visualization: Theory and practice in Science Education*. Springer.

Gooding, D. (2006). De la fenomenología a la teoría de campos: el razonamiento visual de Faraday. *Perspectivas sobre la ciencia*; 14 (1): 40–65. https://doi.org/10.1162/posc.2006.14.1.40

Grande, E.; Charrier, M. y Vilanova, S. (2009). ¿Qué conocimiento sobre herencia y genética poseen un grupo de estudiantes de secundaria argentinos? *Enseñanza de las Ciencias, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*, 525-528.

Gutierrez, R. (2001). Mental Models and the fine structure of Conceptual Change. En: R. Pinto and S. Surinach (eds), *Physics Teacher Education Beyond*. Elsevier Editions. París.

Gutiérrez, R. (2005). Polisemia actual del concepto "modelo mental": Consecuencias para la investigación didáctica. *Investigações em Ensino de Ciências*, *10* (2), 209-226.

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C. y Baptista-Lucio, P. Metodología de la Investigación. McGrawHill ISBN: 978-1-4562-2396-0

Ibourk, A., Williams, M., Opperman, A., Cisterna, D., Nazar, CR y Xie, Y. (2018). *Comprensión de los estudiantes jóvenes sobre la relación entre la herencia y la variación de los rasgos mediante el uso de modelos de ecuaciones estructurales. Science Education.* https://doi.org/10.1002/sce.21470

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2022). Comunicado de prensa núm. 21/23, 2/24 Comunicación social

Infante, M. E., Queiroz, Weller y Santos, 2010 Comprehension of basic genetic concepts by brazilian undergraduate students. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 668-678.

Iñiguez, J. (2005) La enseñanza de la genética, una propuesta didáctica para la educación secundaria obligatoria desde una perspectiva constructivista. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona, Barcelona.

Íñiguez, F., y 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.

Jalmo, T. y Suwandi T. (2018). Biology education students' mental models on genetic concepts. *Journal of Baltic Science Education 17*(3), 474 485. https://doi.org/10.33225/jbse/18.17.474

Johnson-Laird, P.N. (1983) Mental models: Towards a cognitive science of language, inference and consciousness. Cambridge: Harvard University Press.

Karagoz, M., y Cakir, M. Problem Solving in Genetics: Conceptual and Procedural Difficulties. Educational Sciences: Theor

& Practice - 11(3) • Summer • 1668-1674.

Kargbo D., Hobbs E. y Erickson G. (1980). Children's beliefs about inherited characteristics. Journal of Biological Education, 14(2), 137-146.

Kindfield ACH (1991). Confusión entre el número y la estructura de los cromosomas: un error común entre los estudiantes. *Journal of Biological Education*, 25(3), 193–200. https://doi.org/10.1080/00219266.1991.9655206

Kindfield, A. C. H. (1994). Understanding a basic biological process: Expert and novice models of meiosis. *Sci. Educ*, 78, 255-283.

Klautau, N.; Aurora, A.; Dulce, D.; Silviene, S.; Helena, H. y Correia, A. (2009). Relação entre herança genética, reprodução e meiose: um estudo das concepções de estudantes universitários do brasil e portugal. *Enseñanza de las Ciencias, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*, 2260-2263.

Knippels, M. C. (2002). Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education – The yo-yo learning and teaching strategy. Utrecht, Netherlands: CD-Press.

Knippels, M, Waarlo, A. y Boersma, K. (2005). Design criteria for learning and teaching genetics, *Journal of Biological Education*, 39(3), 108-112. https://doi.10.1080/00219266.2005.9655976

Knuuttila, T. (2011). "Modelling and representing: An artefactual approach to model-based representation", *Studies in History and Philosophy of Science,* no. 42, pp. 262–271.

Köse, Sacit. (2008). Diagnosing Student Misconceptions: Using Drawings as a Research Method. *World Applied Sciences Journal* 3 (2) 283-293.

Kozma, R.B. (2000). "The use of multiple representations and the social construction of understanding in chemistry". In M. Jacobson & R. Kozma (eds.), Innovations in science and mathematics education: Advanced designs for technologies of learning (pp. 11-46). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Kozma, R. y Russell, J. (2005). Students becoming chemists: developing representational competence. En J. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education*. Switzerland, Springer.

Hakan, K., Gülay, E., Özlem, A., y Murat, A. (2013). Determining Cognitive Structures and Alternative Conceptions on the Concept of Reproduction (The Case of Pre-Service Biology Teachers). *Creative Education*, 04. 572-587. https://doi.10.4236/ce.2013.49083.

Lanie AD, Jayaratne TE, Sheldon JP, Kardia SL, Anderson ES, Feldbaum M, et al. (2004). Exploración de la comprensión pública de los conceptos genéticos básicos. *Revista de asesoramiento genético*.;13(4):305–320.

Lee, H-S., Liu, O, L. y Linn, M. (2011). Validating measurement of knowledge integration in science using multiple-choice and explanation items. *Applied Measurement in Education*, 24(2), 115-136. https://doi.10.1080/08957347.2011.554604

Lemke JL (1998) Multiplying meaning: visual and verbal semiotics in scientific text. In: Martin JR, Vell R (eds) *Reading science: critical and functional perspectives on discourses of science*. Routledge, New York.

Lewis, J. y Kattmann, U. (2004). Traits, genes, particles and information: re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education, 26*(2), 195-206. https://doi.org/10.1080/0950069032000072782

Lewis, J., & Wood-Robinson, C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance: Do students see any relationship? International Journal of Science Education, 22(2), 177-195. https://doi.org/10.1080/095006900289949

Lewis, J., Leach J. y 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. https://doi.10.1080/00219266.2000.9655689

Lewis, J., y Kattmann, U. (2004). Traits, genes, particles and information: re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education*, 26 (2), 195-206.

Luka, I., Danjuma, M., Dazi, E., y Micheal, W. (2017). The relationship between types of misconceptions and achievement in genetics among senior secondary school biology students in jos north lga of plateau state, International *Journal of Quantitative and Qualitative Research Methods* 5 (3)1-26.

Marbach-Ad. G., Rotbain, Y., y Stavy, R. (2008). Using computer animation and illustration to improve High School students' achievement in Molecular Genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 45 (3), 273-292.

Martí, E. & García-Mila, M. (2007). Cambio conceptual y cambio representacional desde una perspectiva evolutiva: la importancia de los sistemas externos de representación. En J. Pozo y F. Flores, (Eds.), *Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia*. Madrid, Antonio Machado Libros.

Martínez, Garzón, Aristizábal, A. L. A. (2014). Aportes didácticos a la enseñanza de la genética. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (Extra). https://doi.org/10.17227/01203916.3187

Meijer, M. R., Bulte, A. M. W., & Pilot, A. (2009). Structure–property relations between macro and micro representations: Relevant meso-levels in authentic tasks. In J. K. Gilbert & D. Treagust (Eds.), *Multiple representations in chemical education*. Dordrecht, The Netherlands: Springer.

Méndez, E. y Arteaga, Y. (2016). Una mirada a las estrategias didácticas para la enseñanza de la genética*. Omnia*, 22 (1).

Mills Shaw, K. R., Van Horne, K., Zhang, H. y Boughman, J. (2008). Essay Contest Reveals Misconceptions of High School Students in Genetics. *Content. Genetics*, 178(3), 1157-1168. https://doi.org/10.1534/genetics.107.084194

Morata, G. (2008). El siglo del gen. Biología molecular y genética. *Fronteras del conocimiento* 161- 169. ISBN 978-84-935133-6-8.

Moreira, M., Greca, I. Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. *Ciência e Educação*, 9 (2), 301-315.

Muela y Abril (2014) Genetics and Cinema: Personal Misconceptions that Constitute Obstacles to Learning, *International Journal of Science Education, Part B: Communication and Public Engagement*, 4:3, 260-280, https://doi: 10.1080/21548455.2013.817026

Mukherjee, S. (2017). The Gene: An Intimate History. Large Print Press.

Law, N., y Lee, Y. (2004). Uso de una herramienta de modelado icónico para apoyar el aprendizaje de conceptos genéticos. *Journal of Biological Education*, 38 (3), 118–124. https://doi.org/10.1080/00219266.2004.9655918

Nersessian, Nancy (1990), Faraday to Einstein: Constructing meaning in scientific theories, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Nersessian, N. (2013). Mental modeling in conceptual change. In S.Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research in Conceptual Change*, ,New York, United States of America: Routledge.

Norman, D., (1983). Some observations on mental models. En Gentner, D. & Stevens, A. (Eds) *Mental models.* (Lawrence Erlbaum Associates. Hillsdale, N. J.).

Palacín, M. (2015). Propuesta didáctica para abordar los contenidos de Genética y Biología Molecular en 4º de la ESO utilizando el enfoque de Investigación Dirigida. Tesis de maestría.

Pande, P. y Chandrasekharan, S. (2017). Representational competence: toward a distributed and embodied cognition account. *Studies in Science Education*, 53(1), 1-43. https://10.1080/03057267.2017.1248627

Perales, J. (2006). Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 24(1), 13-30.

Perales, F. (2008). La Imagen en la Enseñanza de las Ciencias: Algunos Resultados de Investigación en la Universidad de Granada, España. *Formación Universitaria,* 1 (4).

Pérez, A. D. (2002), Educación Media Superior en el Estado de México. Análisis curricular, 2ª edición, ISCEEM, Toluca.

Pozo, J y Rodrigo, J. (2001). Del cambio de contenido al cambio representacional en el conocimiento conceptual, Infancia y Aprendizaje: *Journal for the Study of Education and Development*, 24:4, 407-423

Pozo, J. (2003). Adquisición de conocimiento, Morata, Madrid, 2003.

Pozo, J. I. (2015). Aprendizaje de la ciencia mediante múltiples sistemas de representación. En F. Flores (Coord.), *Las tecnologías digitales en la enseñanza experimental de las ciencias, fundamentos cognitivos y procesos* (pp. 13-31). Ciudad de México: UNAM-Porrúa.

Pozo, J. y Flores, F. (2007). Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia. Machado Libros. ISBN: 978-84-7774-152-7

Prain V, Waldrip B (2006) An exploratory study of teachers' and students' use of multi-modal representations of concepts in primary science. *Int J Sci Educ* 8(15):1843–1866.

Quero, M. (2010). Confiabilidad y coeficiente Alfa de Cronbach. *Telos*. 12(2):248-252.

Rasch, T., y Schnotz, W. (2009). Interactive and non-interactive pictures in multimedia learning environments: Effects on learning outcomes and learning efficiency. *Aprendizaje e instrucción*, 19 (5), 411-422. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.02.008

Raynaudo, G., y Peralta, O. (2017) Cambio conceptual: una mirada desde las teorías de Piaget y Vygotsky. *liber*. 23 (1), 110-122. http://dx.doi.org/https://doi.org/10.24265/liberabit.2017.v23n1.10.

Rodríguez-Gil, S., Carballo-Ontiveros, M., y Castañeda-Sortibrán., A. (2024). Genética mendeliana y teoría cromosómica: un desfase vigente en la educación universitaria. Form. Univ. 17 (1) http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062024000100011

Rodríguez, G., Gil, J., y García, E. (1999). Metodologia de la investigacion cualitativa. Ediciones Aljibe. Granada (España).

Rojas, V., y Salazar, M. (2019). Diseño e implementación de material didáctico para la enseñanza de genética mendeliana en estudiantes de grado décimo. Rev. Asoc. Colomb. Cien. Biol; 1(31): 45-55.

Rotbain, Y., Stavy, R., Marbach-Ad, G. (2008) The Effect of Different Molecular Models on High School Students' Conceptions of Molecular Genetics. *Science Education Review* 7(2), 54–69.

Ruiz, C., Banet, E. y López, L. (2017). Conocimientos de los estudiantes de secundaria sobre Herencia Biológica: implicaciones para su enseñanza.

Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias 14(3), 550-569. https://doi.org/10498/19507

Saka, A.,Cerrah,L., Akdeniz,A., &Ayas,A.(2006). A Cross-age study of the understanding of three genetic concepts: How do they image the gene, DNA and chromosome? *Journal of Science Education and Technology*, *15*(2),192-202.

Sánchez, G., y Plaza, J. (2022). Objetivos de desarrollo sostenible y geografía: concepciones alternativas y actividades propuestas en situaciones de aprendizaje por maestros en formación *Didáctica Geográfica,* 24, 151-175 https://doi.org/10.21138/DG.661

Sanchez-Castro, E. y Pajuelo-Reyes, C. (2020). Importancia de la genética como ciencia en relación a la pandemia de Covid-19. *Rev. Fac. Med. Hum*, 20 (4), 690-695. http://dx.doi.org/10.25176/rfmh.v20i4.2944.

Schnotz, W., Bannert, M. (2003) Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction* 13, 141–156.

Smith, M. (1988). Successful and unsuccessful problema solving in classical genetc pedigrees. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(6), 411-433.

Smith, M., y Sims, O. (1992). Cognitive development genetics problem solving and genetics instruction: A critical review. J*ournal of Research in Science Teaching*. 29(7) 701-713.

Solar, H., Deulofeu, J., y Azcárate, C. (2015). Competencia de modelización en interpretación de gráficas funcionales. *Enseñanza de las ciencias*. 33(2). https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1551

Solbes, Jordi. (2009). Dificultades de aprendizaje y cambio conceptual, procedimental y axiológico (I): resumen del camino avanzado. *Revista*

Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias. 6. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2009.v6.i1.01.

Someren, V., Reimann, P., Boshuizen, H., y de Jong, T. (1998). Learning with Multiple Representations. Advances in learning and instruction series. Pergamon.

Sonego, D. y Ladvocat M. (2014). Genética e suas aplicações: identificando o conhecimento presente entre concluintes do ensino médio. *Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas*. 36 (2) 358 – 372.

Southard, K., Wince, T., Meddleton, S., y Bolger, M. S. (2016). Features of Knowledge Building in Biology: Understanding Undergraduate Students' Ideas about Molecular Mechanisms. *CBE Life Sciences Education, 15*(1) https://doi.org/10.1187/cbe.15-05-0114

Stewart, J. (1982). Difficulties experienced by High School students when learning basic Mendelian Genetics. The American Biology Teacher, 44(2), 80-89.

Stewart, J., y Hafner, R. (1994). The problem solving literature in the biology education. In D. Gable (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning*. Riverside, NJ: MacMillan.

Stewart, J., y Van Kirk, J. (1990). Understanding and problem solving in classical genetics. *International Journal of Science Education*, 12, 575–588

Stewart, J., Cartier, J. y Passmore, C. (2005). Developing understanding through model-based inquiry. En M. S. Donovan & J. D. Bransford (Eds.), *How students learn: History, mathematics, and science in the classroom*. Washington, DC: The National Academies Press.

Strauss, A., y Corbin, J. (2002). *Bases de la investigación cualitativa: técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundada.* Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.

Suárez, M. (2004). An inferential conception of scientific representation. *Philosophy of science. 71*(5), 767–779. https://doi.org/10.1086/421415

Sweller, J. (2005). Implicaciones de la teoría de la carga cognitiva para el aprendizaje multimedia. En RE Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 19–30). Cambridge University Press.

Taber, KS (2009). El progreso de la educación científica: la construcción del programa de investigación científica en la naturaleza contingente del aprendizaje de las ciencias. Dordrecht: Springer.

Todd, A. y Romine W. (2017). Difficulties in Integrating the Genetic-Meiotic and Genetic-Molecular Models of Genetics. Conference: Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching. San Antonio.

Tsai, C., y Chou, C. (2002). Diagnosticar las concepciones alternativas de los estudiantes sobre la ciencia. *Journal of computer Assisted Learning*, 18(2) https://doi.org/10.1046/j.0266-4909.2002.00223.x

Tsui C-Y (2003) Teaching and learning genetics with multiple representations. Unpublished Doctoral Dissertation. Curtin University of Technology, Perth, Australia.

Tsui, C. y Treagust. D.F. (2003). Genetics reasoning with multiple external representations. *Research in Science Education*, 33(1), 111-135.

Tsui, C. y Treagust. D.F. (2007). Understanding genetics: Analysis of secondary students conceptual status. *Journal of Research in Science Teaching*. 44(2), 205-235.

Tsui, C.-Y., y Treagust, D. F. (2013). Introduction on multiple representations: The importance in biological education. En C.-Y., Tsui y D. F. Treagust (Eds.), *Multiple representations in biological education*. Springer.

Tversky, B. (2005). Significado funcional de las representaciones visoespaciales. En P. Shah (Ed.) y A. Miyake, *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511610448.002

Tytler, R., y V. Prain, (2013). “Representation construction to support conceptual change”, In Stella Vosniadou (ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change*, Routledge.

Venville, G., y Donovan, J. (2007) Developing year 2 students' theory of biology with concepts of the gene and DNA. *International Journal of Science Education*, 29, 1111–1131. https://doi:10.1080/09500690600931079

Venville, G., y Donovan,J. (2005). An Exploration of Young Children’s Understandings of Genetics Concepts from Ontological and Epistemological Perspectives.*Science Education*, *89*(4),614-633. https://doi.org/10.1002/sce.20061

Venville, G. y Donovan, J. (2007). Developing Year 2 Students' Theory of Biology with Concepts of the Gene and DNA. *International Journal of Science Education,* 29,1111-1131. https://doi.org/10.1080/09500690600931079.

Villegas, P. (2023). Unidad didáctica para la enseñanza y el aprendizaje de la genética mendeliana, basado en Drosophila melanogaster, para el modelo flexible pensar. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia.

Vorms, M. (2014), “The Birth of Classical Genetics as the Junction of Two Disciplines: Conceptual Change as Representational Change”, *Studies in History and Philosophy of Science Part A,* 48, 105-116.

Vosniadou, S. (2003). Exploring the relationships between conceptual change and intentional learning. In G. M. Sinatra y P. R. Pintrich (Eds.), *Intentional conceptual change*. New Jersey: Erlbaum.

Wandersee, J., Mintzes, J., y Novak, J., 1994, Research on alternative conceptions in science. En D. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning*. Nueva York, NY: Mcmillan Publishing Company.

Williams, M., Haydel, A., Montgomery, B., Xuechun Z., y Tate, E. (2011). Exploring middle school students' conceptions of the relationship between genetic inheritance and cell división. Science education, 96(1) 78-103. https://doi.org/10.1002/sce.20465

Wilson, M. (2005) Constructing measures: An item response modeling approach. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Wu, H.-K. y Puntambekar, S. (2012). Pedagogical affordances of multiple external representations in scientific processes, *Journal of Science Education and Technology*, 21, 754–767. https://doi.org/10.1007/s10956-011-9363-7

Yilmaz, Diba & Tekkaya, Ceren & Sungur, Semra. (2011). The Comparative Effects of Prediction/Discussion-Based Learning Cycle, Conceptual Change Text, and Traditional Instructions on Student Understanding of Genetics. International *Journal of Science Education*. 33. 607-628. https://doi.org/10.1080/09500691003657758.

ANEXOS

Anexo 1. Instrumento de evaluación Pretest-Postest

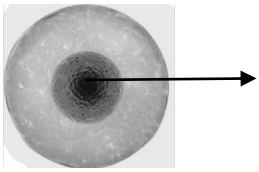
Nombre del alumno: _____ Fecha: _____

Grado y grupo: _____ Turno: _____

Instrucciones: Por favor, responde **TODAS** las preguntas que se presentan a continuación.

1.- Realiza un esquema donde representes la información genética que se encuentra en las células y cómo esta se organiza, desde el nivel más simple hasta el nivel más complejo.

2.- Realiza un **DIBUJO** donde representes la **información genética** que se encuentra en el núcleo de un óvulo y explica cuál es la función de esa información.



Óvulo

Explicación:

3.- En un evento de fecundación, la madre le heredó al bebé la característica de la textura del cabello lacio, mientras que el padre le heredó la característica del cabello chino. **Dibuja** cómo imaginas que la **información genética** para esta característica se encuentra dentro de las siguientes células.

a) Óvulo	b) Espermatozoide	c) Células del bebé

4.- Describe a detalle por qué cada individuo es único e irrepetible físicamente; por ejemplo, aunque en ocasiones los hijos de un matrimonio sean muy parecidos, estos **nunca** son iguales.
_____
_____
_____

5.- Responde lo que se te solicita para establecer la diferencia o semejanza entre los tipos celulares que se mencionan.

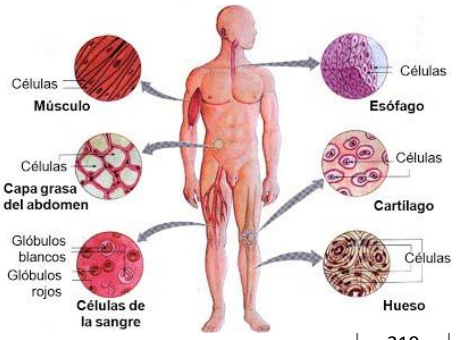
	Célula sexual humana: Espermatozoide	Célula somática humana: Célula de la piel
Cuántos cromosomas tiene		
Cuántos alelos para cada gen contiene		
A través de qué proceso se forma		

6.- Enrollar la lengua se trata de una característica dominante, mientras que no poder enrollarla es recesiva. Ulises es un chico que no puede enrollar la lengua, mientras que su madre, padre y hermano sí pueden enrollarla. De acuerdo con los fenotipos descritos, indica cuáles serían los **posibles genotipos de los padres** y realiza un esquema con las posibles combinaciones que explican por qué Ulises no puede enrollar la lengua mientras que su hermano sí**:**

7.- **Representa** cómo crees que se encuentra la información genética para esta característica en las células sexuales y somáticas de los padres de Ulises y de Ulises.

Mamá de o Papá de Ulises		Ulises	
Célula somática	Célula sexual	Célula somática	Espermatozoide

8.- Pensando únicamente en las **células somáticas**, ¿hay diferencia **en la información genética** que tiene cada una de las células que conforman tu cuerpo? (por ejemplo, si comparamos las que forman tus ojos con las que forman tu corazón) _____Para que sea más claro, identifica en el esquema el núcleo de los diferentes tipos celulares y responde:



Si consideras que hay NO hay diferencia, ¿cómo explicas que cada tipo celular tenga diferentes funciones? _____

_____

_____

Si consideras que hay diferencia, ¿cómo explicas que para determinar la identidad de una persona se puede realizar un estudio de ADN tomando una muestra de cualquiera de las células del individuo en cuestión? _____

_____

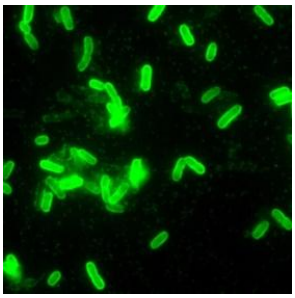
9.- ¿Las proteínas tienen alguna relación con la información genética y el fenotipo de una persona, como el tipo de cabello o el color de los ojos? Sí____ No____ ¿Por qué o cuál es la relación?

_____

_____

_____

10.- Algunas bacterias como las *E. coli* presentan un color fluorescente. Explica ¿Cómo es que se expresa esta característica, y porqué algunas bacterias lo presentan con mayor intensidad que otras?



_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

11.- Para que sea más claro, **realiza un esquema o dibujo** donde puedas explicar cómo la información genética que se encuentra en el ADN de un organismo se expresa en un fenotipo o característica determinada.

12.- Lucía tiene 32 años, su pareja murió a los 30 años por un ataque al corazón, y sus dos hijos murieron repentinamente por la misma razón cuando apenas tenían 2 años.

Diferentes médicos le han explicado que lo ocurrido se debe a una enfermedad de origen genético caracterizada por altos niveles de colesterol en la sangre, ya que el alelo que codifica el receptor de **colesterol alto** es **dominante**, sobre el alelo que codifica el receptor de colesterol con niveles normales.

Así, los **homocigotos recesivos** tienen **niveles de sangre normales**, los **homocigotos dominantes** tienen niveles de **colesterol 5 veces más altos** al valor normal y están expuestos a padecer ataques cardíacos desde los 2 años. Los **heterocigotos** padecen la enfermedad, pero su

nivel de colesterol es 2.5 veces más alto de lo normal y sufren ataques cardíacos alrededor de los 30 años.

a) ¿En este caso el gen dominante y recesivo se comporta igual que en el caso de el gen que permite enrollar la lengua? ¿Por qué?

b) ¿A qué mecanismo hereditario corresponde esta enfermedad? _____

c) ¿Cuál era el genotipo del esposo de Lucía (que murió a los 30 años)? _____

d) ¿Cuál es el genotipo de Lucía? _____

13.- Se sabe que en los humanos existen los tipos sanguíneos A, B, AB y O. De acuerdo con esto, responde:

a) ¿Qué significa que un fenotipo sea AB?

_____

_____

b) María tiene tipo de sangre **A** y su pareja Alejandro tipo de sangre **B**, se preguntan si podrían tener hijos con tipo de sangre **o** como la mamá de Alejandro. Explica con **un esquema** si esto fuera posible.

14.- María es portadora de un gen causante de una enfermedad genética y a pesar de que ella no ha presentado ningún síntoma de la enfermedad, todos sus hijos son varones sí la han desarrollado.

a) ¿Qué mecanismo de herencia explica esta situación?

_____

b) ¿Cómo explicas que ella solo sea portadora y sus hijos varones sean quienes desarrollen la enfermedad? _____

_____

15.- Una pareja que es saludable físicamente, ¿podría tener hijos con alguna alteración genética o enfermedad congénita? Sí _____ No ____ ¿Por qué?

_____

_____

16.- En un hospital, los médicos piensan que un niño recién nacido podría tener síndrome de Down, al enterarse de la situación, los padres discuten sobre quién es el responsable de haber heredado esa condición a su hijo. ¿Cómo les explicarías qué es un síndrome y por qué ocurre?

_____

_____

17.- Para que sea más claro, realiza un esquema del proceso de meiosis donde representes en qué momento se pudo heredar la condición del síndrome de Down y quién pudo ser el responsable.

18.- Una pareja acaba de tener un bebé con albinismo y se preguntan: ¿Cómo se ocasiona el albinismo, y por qué se presentó esta condición si ninguno de ellos es albino? Explica esta situación.

_____

_____

_____

_____

19.- Para que sea más claro, realiza un **dibujo** del proceso de **meiosis** donde se muestre cómo el albinismo pudo ser heredado por los progenitores y cómo se expresó en uno de sus hijos.