

00322

115



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

ANALISIS DE LA CONSTRUCCION HISTORICA Y DE LAS IDEAS PREVIAS DE LOS ESTUDIANTES DE BACHILLERATO EN GENETICA PARA ELABORAR UNA PROPUESTA EDUCATIVA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G A

P R E S E N T A :

ALEJANDRA MEDINA CARDENAS



FACULTAD DE CIENCIAS UNAM

DIRECTOR DE TESIS: DRA. LETICIA GALLEGOS CAZARES



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

A



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

DRA. MARÍA DE LOURDES ESTEVA PERALTA
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito:

"Análisis de la construcción histórica y de las ideas previas de los
estudiantes de bachillerato en genética para elaborar una propuesta
educativa"

realizado por Alejandra Medina Cárdenas

con número de cuenta 9650409-7 , quien cubrió los créditos de la carrera de Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis Propietario Dra. Leticia Gallegos Cázares

Propietario Dra. María Eugenia Tovar Martínez

Propietario Dra. María del Carmen Sánchez Mora

Suplente Dr. Luis Felipe Jiménez García

Suplente Dra. Patricia Ramos Morales

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS
U.N.A.M.

Consejo Departamental de Biología



M. en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

Agradecimientos

A todo el equipo de trabajo del proyecto de "Preconceptos científicos en los estudiantes" por compartir conmigo todos sus conocimientos y permitirme descubrir este apasionado campo de investigación: Maru, Fernando, Angel, Silvia, Lalo, Diana, José Antonio, Plinio, Silvia B., Alejandra.

A Lety por todas las observaciones y recomendaciones hechas para lograr esta tesis.

A mis sinodales por sus consejos para mejorar esta tesis: María del Carmen, Maru, Luis Felipe y Patricia.

A Régis por el apoyo y amor incondicional en todos estos años.

A mis padres, Elsa y Armando, por ser un ejemplo a seguir e impulsarme a alcanzar todos mis sueños.

A mis hermanos por haber estado siempre a mi lado: Mauricio, María y Armando.

Comparto este logro:

Con toda la familia, en especial mis sobrinos: Alberto, Emilio y Armando

Con mis amigos de toda la vida; Pati, Nat, Luison, Boris, Lau, Anna, Marusia.

Con mis amigos de la facultad con los que aprendí y viví muchas cosas, en especial; Aline, Tathali, Chente, Balbina, Normis.

Permiso a la Dirección General de Bibliotecas
UNAM a difundir en formato electrónico e imprimir
el contenido de mi trabajo recepción
NOMBRE: Alejandra Medina
Cardenas
FECHA: 19/05/03
FIRMA: Alejandra

Resumen

La bibliografía especializada en educación de la ciencia muestra que existe un problema severo en la enseñanza-aprendizaje de la genética. El presente trabajo se enmarca en la tradición constructivista. Bajo esta plataforma, la tesis tiene como objetivo entender por qué los estudiantes han construido esquemas conceptuales alternativos en el tema de genética, para hacer una propuesta educativa que mejore la enseñanza-aprendizaje de este tema. Para tal empresa se utilizó el análisis histórico de la construcción del conocimiento genético, con el fin de identificar los obstáculos epistemológicos que se han presentado a lo largo de la génesis de esta disciplina; así como el origen y evolución de los conceptos que sirvieron para superar dichos obstáculos, los cuales son denominados conceptos estructurantes. Este análisis sirve de sustento para explicar los obstáculos que presentan los estudiantes en la construcción de su modelo hereditario y ayuda a identificar el papel que cumplen los conceptos estructurantes en los esquemas de representación edificados por los alumnos.

El análisis de las ideas previas que presentan los alumnos en el tema de genética, realizado en esta tesis, muestra que los estudiantes presentan un modelo hereditario fragmentado, es decir, no han logrado establecer las relaciones explicativas que existen entre los diferentes niveles a través de los cuales la ciencia ha construido el conocimiento genético, a decir: el nivel macroscópico, en el que se incluye la transmisión de la información de progenitores a descendientes; el nivel microscópico, específicamente la transmisión de la información de célula a célula; y el molecular, relacionado con la constitución del material genético.

El análisis comparativo, entre la construcción histórica y la construcción individual del conocimiento genético, permitió entender por qué el modelo que presentan los estudiantes está fragmentado. Este problema se debe a que los esquemas de representación de los estudiantes han sido contruidos con un número reducido de conceptos, mismos que fueron fundamentales en la construcción histórica de la disciplina. Al comparar la red o esquema conceptual que se plantea desde la disciplina con el que presentan los estudiantes se observó que éstos presentan lagunas conceptuales importantes lo que impide que generen una red conceptual semejante a la que se

propone desde el ámbito científico. Los alumnos no tienen una representación adecuada del concepto de célula ni del de reproducción, además utilizan algunos conceptos como si fueran sinónimos, como es el caso de los conceptos de gen, alelo, cromosoma y ADN, y algunos conceptos estructurantes identificados en el análisis histórico ni siquiera están presentes en los esquemas conceptuales de los alumnos.

Para finalizar el trabajo se tomo como base los resultados obtenidos del análisis realizado para hacer una propuesta educativa de tipo curricular en el programa de biología IV de la Escuela Nacional Preparatoria. La propuesta tiene como eje directivo los conceptos estructurantes, por lo tanto las innovaciones que se hacen a la unidad que aborda el tema de Genética tienen que ver con la secuencia en la que se irán introduciendo estos conceptos en clase.

ÍNDICE

Introducción.....	1
i. Justificación.....	6
ii. Objetivo.....	6
iii. Metodología.....	7
I. El papel de la historia de la ciencias en la enseñanza.....	8
1.1 El impacto de la historia de las ciencias en la filosofía.....	8
1.1.1 El constructivismo.....	12
1.2 El constructivismo en la enseñanza.....	16
1.3 La influencia de la historia de las ciencias en la enseñanza.....	19
1.4 La historia de la ciencias como herramienta en la enseñanza.....	22
1.4.1 La historia de las ciencias y la epistemología para la determinación de obstáculos epistemológicos.....	23
1.4.2 La historia de las ciencias y la epistemología para la definición de contenidos de enseñanza.....	24
1.4.3 La historia de las ciencias y la epistemología para la introducción en clase de la discusión sobre la producción, la apropiación y el control de los conocimientos.....	25
1.4.4 La historia de las ciencias como complemento de otras disciplinas.....	26
II. El nacimiento de la genética.....	28
11.1 La construcción de la genética.....	28
11.2 La hibridología: estudios acerca de la herencia desde una visión macroscópica.....	29
11.2.1 La obra de Mendel: <i>Experimentos en la hibridación de plantas (1865)</i>	31

II.2.2 La herencia desde la visión de la hibridología.....	39
II.3 La biología celular: el acercamiento microscópico a la vida.....	41
II.3.1 La Teoría Celular.....	44
II.3.2 El antecedente celular para entender la herencia.....	48
II.4 El nacimiento de la genética.....	50
II.4.1 El redescubrimiento del trabajo de Mendel.....	53
II.4.2 La hipótesis de Sutton y Boveri.....	56
II.4.3 Teoría cromosómica: convergencia de los estudios citológicos y hereditarios.....	59
II.4.4 La herencia desde la visión de la genética.....	68
II.5 Análisis de la construcción de la genética.....	71
III. Análisis de las Ideas Previas en Genética.....	74
III.1 Características y origen de las Ideas Previas.....	74
III.2 Ideas Previas en Genética y Reproducción Celular.....	76
III.3 Categorización de las Ideas Previas.....	76
III.4 Análisis de la categorización.....	96
IV. Construcción de la genética vs construcción de los esquemas conceptuales de los alumnos.....	100
IV.1 Análisis comparativo de los obstáculos epistemológicos.....	101
IV.1.1 Obstáculo vitalista.....	104
IV.1.2 Obstáculo de niveles de organización.....	105
IV.1.3 Obstáculo de percepción.....	106
IV.1.4 Obstáculo atomista vs obstáculo por falta de dominio de ciertos conceptos.....	108
IV.1.5 Obstáculo de lenguaje y obstáculo verbal.....	110
IV.2 Análisis de los conceptos estructurantes.....	113

IV.3 Análisis del programa de bachillerato para elaborar una propuesta.....	126
IV.3.1 El programa de Biología de la ENP.....	127
IV.3.2 Contenidos del tema de Biología Celular.....	128
IV.3.3 Contenidos del tema de Genética.....	130
IV.3.4 Propuesta educativa.....	133
Conclusiones.....	143
Bibliografía.....	145
Apéndice I	

Índice de Figuras

II. El nacimiento de la genética

Figura 2.1 Mapa de la síntesis de la construcción de la genética.....	29
Figura 2.2 Mapa de los conceptos estructurantes de la propuesta de Mendel.....	41
Figura 2.3 Mapa de las concepciones estructurantes en la visión celular de la vida.....	49
Figura 2.4 Mapa de las teorías hereditarias propuestas antes del redescubrimiento de las leyes de Mendel...53	
Figura 2.5 Mapa de los conceptos que se establecieron después del descubrimiento del trabajo de Mendel...55	
Figura 2.6 Mapa de las concepciones propuestas por Sutton y Boveri.....	59
Figura 2.7 Mapa de los conceptos estructurantes de la teoría cromosómica.....	70

III. Análisis de las Ideas Previas en Genética

Figura 3.1 Esquema de la categorización de las ideas previas sobre Constitución del Material Genético.....	89
Figura 3.2 Esquema de la categorización de las ideas previas sobre Transmisión de la Información de Progenitores a Hijos.....	92
Figura 3.3 Esquema de la categorización de la Ideas previas sobre Transmisión de la Información de Célula a Célula.....	94
Figura 3.4 Esquema de la categorización con los marcos. En colores azules la clasificación de las ideas relacionadas al tema de Transmisión de la Información Genética; en color amarillo la clasificación de las ideas relacionadas al tema de Naturaleza del Material Genético.....	96

IV. Construcción de la genética vs construcción de los esquemas conceptuales de los alumnos

Figura 4.1 Mapa de los conceptos estructurantes definidos en la construcción histórica de la genética.....	119
Figura 4.2 Mapa de los conceptos estructurantes y las relaciones entre cada uno de ellos en los esquemas genéticos de los alumnos.....	124

Índice de Tablas

II. El nacimiento de la genética

Tabla 2.1 Obstáculos epistemológicos encontrados al analizar la construcción de la genética.....	73
--	----

III. Análisis de las Ideas Previas en Genética

Tabla 3.1 Categorización de las ideas previas encontradas en la bibliografía en el tema de genética.....	79
--	----

Tabla 3.2 Principales problemas conceptuales encontrados en el análisis de los esquemas de categorización asociados a obstáculos epistemológicos definidos.....	97
---	----

IV. Construcción de la genética vs construcción de los esquemas conceptuales de los alumnos

Tabla 4.1. Cuadro comparativo de los obstáculos epistemológicos encontrados en la historia de la genética y los encontrados en el análisis de la construcción de los esquemas conceptuales de los estudiantes.....	101
--	-----

Tabla 4.2 Conceptos estructurantes, en caracteres resaltados, surgidos en el ámbito de la Biología Celular.....	115
---	-----

Tabla 4.3 Conceptos estructurantes, en caracteres resaltados, generados en el ámbito de la hibridología después del redescubrimiento del trabajo de Mendel.....	116
---	-----

Tabla 4.4 Conceptos estructurantes, en caracteres resaltados, generados en el ámbito de la genética.....	116
--	-----

Tabla 4.5 Conceptos, en caracteres resaltados, de los estudiantes en biología celular.....	120
--	-----

Tabla 4.6 Conceptos, en caracteres resaltados, de los estudiantes en genética; Los conceptos en caracteres itálicos y resaltados son los creados por los alumnos para explicar el fenómeno de la herencia.....	121
--	-----

Tabla 4.7 Contenidos temáticos de la unidad II, biología IV: <i>La célula: unidad estructural y funcional de los seres vivos</i>	129
--	-----

Tabla 4.8 Contenidos temáticos de la unidad III, biología IV: <i>Procesos para la continuidad de la vida</i>	130
--	-----

Tabla 4.9 Propuesta de organización de los contenidos para el tema de genética en la Unidad III del programa de Biología IV de la ENP. Las innovaciones que se proponen en este programa están diferenciadas por el tipo de carácter que se usa (la propuesta usa el carácter Comic Sans MS).....	135
---	-----

Introducción

La enseñanza de la ciencia constituye uno de los problemas educativos más complejos de nuestro momento. El deficiente aprendizaje de los conceptos científicos en todos los niveles escolares se ve reflejado en un bajo interés de los sujetos en temas relacionados con las diferentes disciplinas científicas, dando lugar a una visión deformada de la ciencia y de los científicos, cuestión que genera un decaimiento de la cultura científica (Flores, 2000).

En los últimos treinta años se ha venido desarrollando una nueva manera de abordar el problema de la enseñanza de las ciencias relacionado con las ideas previas de los estudiantes. Se ha visto que éstos presentan concepciones previas sobre diversos fenómenos naturales que impiden el aprendizaje de los conceptos científicos.

Las ideas previas se entienden como construcciones personales de los sujetos, elaboradas de modo más o menos espontáneo en su interacción cotidiana con el mundo y por la influencia escolar. Estas ideas suelen ser incoherentes desde el punto de vista científico aunque no para el sujeto; son bastante estables y resistentes al cambio, ya que logran dar explicaciones satisfactorias de los fenómenos naturales al individuo que las genera (Pozo, Gómez Crespo, Limón & Sanz Serrano, 1991). Este tipo de concepciones se presentan sin importar factores como la edad, género, habilidad y cultura (Wandersee, Mintzes, & Novak, 1994). Además, las ideas previas son compartidas por personas de muy diversas características, y pueden incluso trascender en el tiempo, apareciendo en los alumnos actuales ideas similares a las elaboradas por los filósofos y científicos eminentes de tiempos pasados (Pozo et al, 1991, Wandersee et al, 1994).

Todo el conocimiento que se obtiene de las investigaciones en ideas previas es de gran utilidad para maestros y diseñadores de currículos, porque les permite conocer y entender la naturaleza de estas representaciones, lo que constituye el primer paso para alcanzar un mejoramiento en la enseñanza de las ciencias (Wandersee et al, 1994). En países como Estados Unidos, Gran Bretaña, Nueva Zelanda, Australia, Canadá, España e Israel, la investigación en enseñanza de las ciencias logró la reforma en sus currículos y el desarrollo de estrategias de enseñanza. De igual manera los resultados de estas investigaciones han tenido influencia en la

formación de profesores de todos los niveles educativos, y en el desarrollo de nuevos materiales didácticos y textos más adecuados al desarrollo conceptual de los alumnos (Flores, Tovar, Gallegos, Velázquez, Valdés, Saitz, Alvarado & Villar, 2001).

Una dirección importante de estas investigaciones se encamina a buscar la forma en que los alumnos se hagan conscientes de que sus ideas previas no pueden explicar completamente los fenómenos naturales y que es necesario reorganizar sus conceptos centrales para explicarlos, en un intento de aproximarse a lo que se conoce como "cambio conceptual" (Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1995). Este problema es un campo de investigación actual, que implica conocer cuales son las ideas de los estudiantes, y la forma en cómo logran cambiarlas.

Por otra parte una vertiente fructífera en el desarrollo de estrategias didácticas tendientes a propiciar el cambio conceptual es el empleo de la historia de la ciencia. Algunos profesores e investigadores educativos se han dado cuenta que la incorporación de la historia en los métodos de enseñanza permite que los estudiantes tomen conciencia de que la ciencia es una actividad que depende del contexto social; por lo que si se hace un recorrido histórico en el desarrollo de un concepto científico, se puede entender su proceso de construcción y transformación a lo largo del tiempo. Muchos de los ejemplos históricos sobre la evolución del pensamiento científico se pueden utilizar como un punto de partida concreto que permitirá un desarrollo adecuado de las ideas teóricas abstractas (Russell, 1988).

La investigación en enseñanza de las ciencias, relacionada con las ideas previas, no ha generado suficientes resultados en todos los campos de la ciencia; en la física el grado de desarrollo ha sido mucho más amplio que en el ámbito de la biología, ya que los físicos son pioneros en el estudio de las ideas previas, de ahí la necesidad de ampliar los conocimientos que se tienen sobre las ideas previas de los estudiantes de biología.

Los estudios existentes sobre ideas previas en biología se pueden clasificar en cinco áreas según Wandersee et al (1994): 1) los conceptos de los estudiantes sobre "vida"; 2) animales y plantas; 3) cuerpo humano, continuidad (incluyendo reproducción, genética y evolución); y 5) otros fenómenos biológicos (desde estructura y fisiología celular hasta cadenas alimenticias). Sin embargo recientemente los temas sobre estructura y fenómenos celulares en los que se incluyen la

división celular, respiración, fotosíntesis entre otros, han recibido mayor atención (Wandersee et al, 1994). Esto se debe a que se han hecho estudios acerca de cuáles son los temas en los que se presentan mayores problemas de aprendizaje y siempre en los primeros lugares están aquellos relacionados con la división celular (meiosis y mitosis), genética, respiración celular, fotosíntesis y evolución (Stewart, 1982; Bugallo, 1995).

La genética es un tema que se trata hoy en día dentro y fuera del aula debido a que es un área de rápida expansión y con importantes implicaciones económicas, éticas y sociales (Stewart & Dale, 1981; Stewart & Kirk, 1990). Además, es ampliamente reconocida como la base conceptual para la comprensión de la evolución y, por lo tanto, de la propia biología (Smith & Sims, 1992).

La genética clásica es un tema de gran interés en la investigación educativa, debido a que es fundamental para la comprensión de los procesos hereditarios. Deadman y Kelly (1978) realizaron un estudio para analizar las ideas previas de los estudiantes de secundaria sobre la evolución y la herencia, en éste indicaron que los alumnos tienen un inapropiado pensamiento probabilístico y carecen de un concepto simplificado de la herencia mendeliana lo que genera un obstáculo para el desarrollo de conceptos más elaborados en genética. En un trabajo posterior, Stewart (1982) muestra que los alumnos si bien son capaces de resolver correctamente problemas de cruza monohíbrida a través de los cuadros de Punnett, no son capaces de explicar por qué llegan a tales resultados, debido a su falta de conocimientos sobre: meiosis, segregación cromosómica (genética), etcétera. Debido a esta situación cuando se les plantean problemas en los que están involucrados más de dos caracteres son incapaces de resolverlos exitosamente. Por esta razón durante la última década se han hecho grandes esfuerzos en didáctica de la genética para que se tome en consideración la relación conceptual y las estrategias de resolución de problemas (Bugallo, 1995).

La genética está íntimamente relacionada con la biología celular, por lo tanto es fundamental que los estudiantes tengan un modelo celular (en el que se incluya su estructura y función) para interpretar los patrones hereditarios. Debido a que el concepto de célula ha sido construido a partir de numerosas investigaciones de microscopía, biología celular, bioquímica, entre otras resulta abstracto. En diversas investigaciones (Dreyfus & Jungwirth, 1988 y 1989;

Brown, 1990; Smith, 1991; Caballer & Giménez, 1992 y 1993) se ha puesto de manifiesto lo difícil que es conseguir que los alumnos logren alcanzar la idea de lo que es una célula y todavía más complicado, que entiendan cómo se llevan a cabo diferentes procesos dentro de ella, tales como: la respiración, la duplicación del material genético, la síntesis proteica, la estructura y función de los cromosomas, etcétera.

Las investigaciones educativas muestran que existen muchos problemas en el aprendizaje de los procesos de mitosis y meiosis, al respecto encontramos gran variedad de estudios: Smith (1991) hizo una investigación sobre las dificultades que presentan los alumnos en el aprendizaje de la reproducción celular y llegó a la conclusión de que los procesos de mitosis y meiosis son dos de los tópicos más complicados de enseñar y escasamente aprendidos por los estudiantes. Los principales problemas que se presentan al respecto consisten en un deficiente entendimiento de los estudiantes acerca de la naturaleza cromosómica y de los diferentes eventos que se presentan en cada uno de los procesos de división celular. Además existe una dificultad extra: el lenguaje técnico que se utiliza en genética provoca que los alumnos se pierdan entre términos con estructura lingüística semiótica, por ejemplo: cromosoma, cromátida, cromático.

Con el fin de entender y proponer una posible solución al problema de la enseñanza-aprendizaje de la genética se plantea la utilización de la historia de esta disciplina. Como ya se mencionó, la historia de la ciencia puede ser una herramienta útil en el aula, los profesores lo admiten pero su empleo no es común en el salón de clase (Jiménez & Fernández, 1987). Existen diversas formas de conectar la historia de la ciencia con la enseñanza, por ejemplo (Jiménez & Fernández, 1987): ordenando los temas de una unidad según el desarrollo histórico de los conocimientos; iniciando unidades temáticas con una introducción histórica; o utilizando textos científicos originales que den cuenta de una investigación o un descubrimiento.

La historia de la ciencia permite que los alumnos evidencien aspectos de la metodología científica, que se den cuenta de la existencia de aspectos sin resolver y la importancia de que existan hipótesis teóricas. También, fomenta el espíritu crítico de los alumnos y desmitifica los descubrimientos científicos (Jiménez & Fernández, 1987).

Conocer los cambios conceptuales que se han venido dando a lo largo de la historia de un concepto, puede ayudar a desarrollar estrategias educativas que permitan que los alumnos logren reestructurar su conocimiento (Nersessian, 1991).

i. Justificación

Diversas instituciones internacionales como la UNESCO y la OCDE mencionan que la educación es un elevador social importante. Si se quiere mejorar la calidad de vida de los individuos del mundo y de nuestro país es necesario darse cuenta que no sólo importan los recursos que se le den a la actividad educativa, también es fundamental que se hagan estudios sobre la manera en la que los individuos aprenden con el fin de crear estrategias de enseñanza y currículos más adecuados.

Hoy en día es fundamental que los alumnos entiendan y sepan donde se encuentra el conocimiento científico, que sean capaces de crearse una opinión sobre la labor que realiza la ciencia, aunque no pretendan dedicarse a esta actividad. En las últimas décadas se ha visto la importancia en la investigación de las ideas previas, y se destaca el papel que juegan éstas en el aprendizaje de la ciencia. En nuestro país la investigación educativa es reducida, debido a que existen muy pocos investigadores en el área.

ii. Objetivo

En este trabajo en particular, se pretende utilizar la herramienta histórica para entender por qué los estudiantes han generado esquemas de representación alternativos sobre el fenómeno de la herencia. Esto con el fin de hacer una propuesta educativa en el programa de biología de nivel bachillerato.

Esta tesis aborda el problema de la enseñanza-aprendizaje de la genética en cuatro capítulos. En el primero se establecen las bases teóricas que respaldan el trabajo, se explica el papel que juega la historia de las ciencias en la educación. En el segundo se hace un análisis sobre el nacimiento de la genética, el cual incluye la identificación de las líneas de investigación de las que deriva esta tradición científica, a decir: la hibridología y la biología celular, así como el origen y la evolución de los conceptos que dieron sentido al modelo teórico que explica la herencia biológica, los cuales son denominados conceptos estructurantes. El tercer capítulo tiene como finalidad conocer las ideas previas que tienen los estudiantes en genética para definir los posibles

problemas conceptuales que albergan éstas, así como las causas que originan los esquemas conceptuales de los estudiantes. En el último capítulo se hace un análisis comparativo entre la construcción histórica de la genética y los esquemas conceptuales de los estudiantes en un intento por entender por qué los alumnos tienen representaciones alternativas del proceso hereditario, con esta información se hace una propuesta de organización de los contenidos de genética que pretende propiciar que los estudiantes construyan un modelo genético apegado al que propone la ciencia.

iii. Metodología

- Describir el desarrollo histórico de la hibridología y la biología celular hasta su convergencia con la instauración de la genética.
- Identificar y categorizar las ideas previas sobre genética que presentan los alumnos de bachillerato, con el objeto de identificar los esquemas conceptuales que albergan éstos.
- Analizar de manera comparativa los obstáculos epistemológicos que se presentan en la construcción del conocimiento de los estudiantes y los presentados en las diferentes etapas de evolución de la genética.
- Definir los conceptos estructurantes que permitieron la superación de los obstáculos epistemológicos históricos y definir la representación de estos conceptos en las ideas de los alumnos.
- Elaborar una propuesta curricular que contemple el análisis epistemológico de la genética y del conocimiento de los estudiantes para determinar los contenidos curriculares y el orden de éstos.

I. El papel de la historia de las ciencias en la enseñanza

En los últimos cincuenta años las investigaciones en historia de las ciencias han impactado y transformado la concepción de ciencia propuesta desde el ámbito filosófico. Esta nueva visión ha repercutido en las ciencias de la educación en varios aspectos, los más evidentes han sido los de diseño de currículos y los de instrucción, es decir, qué se debe enseñar y cómo se debe enseñar ciencias.

Para entender cómo la nueva filosofía de la ciencia ha afectado las ciencias de la educación es fundamental revisar cómo la historia revolucionó las propuestas filosóficas sobre la naturaleza de la ciencia.

1.1 El impacto de la historia de las ciencias en la filosofía.

La filosofía de la ciencia tiene como objetivo explicar cómo se genera el conocimiento científico y cuáles son las bases racionales y de justificación de los conocimientos generados en este ámbito. La rama de la filosofía dedicada a explicar cómo se desarrolla el conocimiento es llamada epistemología y aquella relacionada con el estudio de la racionalidad y la veracidad del conocimiento científico es conocida como ontología.

La filosofía de la ciencia moderna tiene sus orígenes en la filosofía desarrollada durante la primera mitad del siglo XX. Esta filosofía conocida como la "aproximación clásica" comenzó junto con el siglo veinte en Austria con un grupo de filósofos conocidos como el "Círculo de Viena", integrado por filósofos como Mach, Carnap y Reichenbach (Duschl, 1994).

El final del siglo XIX se caracterizó por el gran desarrollo de las diferentes disciplinas científicas, en las cuales se postularon varias teorías abstractas –por ejemplo la teoría de la evolución, la teoría de la cinética molecular, los modelos atómicos y la física de partículas atómicas- que pusieron en tela de juicio la concepción tradicional de la ciencia propuesta por el empirismo. Con el fin de explicar si estas nuevas especulaciones eran confiables los filósofos, dentro y fuera del Círculo de Viena, comenzaron a analizar la confianza que se podía tener en las

propuestas teóricas basadas o construidas a partir de datos no observables. La respuesta fue promover una filosofía de la ciencia, conocida como positivismo. Esta corriente filosófica veía a la ciencia como una actividad que genera conocimientos producto de evidencia observable y que logra hacer predicciones exactas. Su propuesta fue crear reglas particulares que guiaran el proceso de justificación del conocimiento científico. Los elementos cruciales, propuestos por el Círculo de Viena para esta práctica, eran las observaciones empíricas y la lógica. A esta filosofía se le dio el nombre de positivismo lógico o empirismo lógico (Duschl, 1994). Un elemento fundamental del empirismo lógico es la separación que hacen entre las observaciones y las teorías, a lo que llaman la distinción observacional-teórica. El segundo elemento fundamental es el papel que juega la lógica; para los empiristas lógicos una teoría científica se considera fuerte, si y sólo si, sus planteamientos teóricos pueden ser justificados lógicamente con las evidencias producto de la observación.

Aunque existía esta visión filosófica de la ciencia, durante las primeras décadas del siglo XX las diferentes disciplinas científicas continuaron postulando teorías especulativas -por ejemplo: en física la teoría de la relatividad de Einstein y las teorías sobre la mecánica cuántica; en geología la teoría de la deriva continental; y en biología la síntesis de la genética Mendeliana con la teoría de la evolución de Darwin-. Las especulaciones teóricas mantuvieron e hicieron crecer el conocimiento científico. Esta situación incitó a los filósofos a reflexionar sobre la visión de la ciencia propuesta desde la perspectiva positivista. A partir del análisis sobre el papel que desempeñan las teorías basadas en hechos observables en el crecimiento de la ciencia, se produjo una diversificación de posturas dentro de esta corriente filosófica. La mayoría eran positivistas, otros lógico positivistas y algunos más eran hipotético-deductivistas. Una característica fundamental en todas estas posiciones era la idea de que las observaciones son independientes tanto de las teorías como de la lógica que se usa para aceptarlas o refutarlas.

Sin embargo, la relación entre las observaciones y las teorías siguió siendo uno de los temas más importantes para la filosofía durante los años cincuenta y los sesenta, debido al crecimiento del conocimiento científico a partir de teorías abstractas. En este reflexionar y analizar cómo crece y cómo se forma el conocimiento, así como sobre la racionalidad de éste emergieron

dos nuevas disciplinas que tuvieron un impacto radical en la filosofía de la ciencia, estas fueron: la historia de la ciencia y la sociología de la ciencia.

A través del análisis histórico y sociológico de las ciencias se propuso que la ciencia es una disciplina dinámica, que se modifica al paso del tiempo y su forma depende de los grupos sociales que la generan, así como de las reglas a las que están sometidos los científicos (Duschl, 1994). Esta visión historicista se diferenciaba de la visión positivista porque negaba que el conocimiento científico crece gradualmente manteniendo sus ideas centrales intactas. Los descubrimientos históricos proporcionaron a los historiadores y a los filósofos evidencia suficiente para descartar la visión rígida y estática de ciencia propuesta por los positivistas lógicos. Lo que estos recuentos históricos revelaron fue que todos los aspectos de la ciencia -el significado de los términos, la aplicación de cierta metodología, las explicaciones teóricas de los fenómenos- progresan a través de etapas de desarrollo distinguibles. Se hizo evidente el hecho de que lo observado, lo medido, lo evaluado y lo hipotetizado por los científicos tiene compromisos muy fuertes con el conocimiento teórico que poseen, es decir, la relación observación-teoría es inseparable ya que la observación está determinada o influida por la teoría (Duschl, 1994).

Algunos ejemplos de estudios históricos de la ciencia que fueron fundamentales para el cambio de visión de la "aproximación clásica" de la ciencia (propuesta por el Círculo de Viena) fueron los realizados por Toulmin (1953) *The philosophy of science: An introduction*; Wittgenstein (1953) *The philosophical investigations*; Kuhn (1957) *The Copernican revolution*; Hanson (1958) *Patterns of discovery*; y Polyani (1958) *Personal knowledge: Towards a post-critical philosophy*. En todos estos trabajos se propuso la idea fundamental de que el conocimiento científico está afectado por las perspectivas teóricas que tiene el investigador, o que comparte con la comunidad de investigadores (Duschl, 1994). Por lo tanto, la evidencia que resulta de los estudios históricos demuestra que el conocimiento previo de los investigadores juega un papel fundamental en la aceptación o rechazo de cierta evidencia, es decir, qué se debe tomar como observación y qué metodología es apropiado seguir (Duschl, 1994).

Esta nueva visión fue discutida entre otros por Kuhn y Lakatos quienes consideraron la influencia de teorías, paradigmas y reglas sociales en la génesis del conocimiento científico

(Duschl, 1994). Este enfoque provocó que se generaran preguntas alrededor de la racionalidad de la ciencia, se preguntaban si realmente puede afirmarse que la ciencia es una manera de conocer el mundo de manera objetiva y racional. Este cuestionamiento llevó a la controversia acerca de la veracidad del conocimiento científico, para el cual se retomaron las dos visiones que han dominado el debate ontológico en la historia de la filosofía: el realismo y el instrumentalismo (Matthews, 1994). La visión realista propone que las teorías son aproximaciones a lo que realmente existe y la instrumentalista que son instrumentos o invenciones que los científicos utilizan y desechan cuando no dan una respuesta adecuada de la naturaleza (Hodson, 1991; Duschl, 1994). A pesar de esta diferencia radical ambas posiciones tienen claro que la actividad científica es mejor concebida como aquella en la que el reemplazamiento, la sustitución o hasta el abandono de algunas afirmaciones constituyen la descripción del desarrollo del conocimiento científico, a diferencia de la concepción tradicional en la cual el desarrollo o crecimiento científico se da de manera aditiva o por acumulación.

Como propone Shapere (en Duschl, 1994) los filósofos de la ciencia llegaron, gracias al estudio de la historia, a tres cuestiones sobre la naturaleza de la ciencia:

1. *Los patrones utilizados para valorar la adecuación de teorías y explicaciones científicas pueden cambiar de una generación de científicos a la otra.*
2. *Las normas utilizadas para juzgar teorías en un momento determinado no son mejores ni más correctas que las normas utilizadas en otro tiempo.*
3. *El patrón utilizado para valorar las explicaciones científicas está íntimamente relacionado con las creencias comunes de la comunidad científica.*

Los filósofos contemporáneos comprometidos con esta visión de la ciencia han volcado sus esfuerzos en resolver cuestionamientos sobre cuáles son las características del crecimiento y desarrollo del conocimiento científico, en qué situación puede establecerse la racionalidad del conocimiento científico, y cómo se puede establecer que un conocimiento es mejor que otro. Entre estos filósofos contemporáneos encontramos a Laudan, Van Fraassen, Giere y Suppe.

En tiempos recientes el discurso sobre el descubrimiento científico y el desarrollo del conocimiento científico se ha movido hacia la esfera de la ciencia cognitiva. La inclusión de estos cuestionamientos a este campo indica una posición clara acerca de que existe una estructura cognitiva que puede aplicarse al descubrimiento científico. Por lo tanto lo que ha comenzado a emerger de esta línea de investigación filosófica es el uso de procedimientos interpretativos de la ciencia cognitiva hacia la filosofía de la ciencia (Duschl, 1994).

1.1.1 El Constructivismo

El producto de la integración de los modelos cognitivos en la epistemología es la visión filosófica conocida como Constructivismo. El constructivismo es una teoría o una visión sobre la naturaleza del conocimiento humano y por lo tanto del científico también. Esta visión epistemológica trata sobre los orígenes, mecanismos de transmisión y sobre los procesos de validación del conocimiento científico (Matthews, 1994). Matthews (2000) afirma que existen tres tradiciones constructivistas fundamentales: el constructivismo filosófico, el constructivismo sociológico y el constructivismo educativo.

El constructivismo filosófico constituye la base teórica de las otras dos tradiciones constructivistas. Ésta tiene sus orígenes inmediatos en el trabajo de Thomas Kuhn y su representante más importante es Bas van Fraassen (Matthews 2000). El libro que sirve de parteaguas en la nueva concepción de ciencia es "*La estructura de las revoluciones científicas*". En éste Kuhn plantea un modelo del cambio científico. Su modelo intenta describir "la estructura esencial de la continua evolución de una ciencia" (Pérez Ransanz, 1999). Esta estructura se refleja en una serie de etapas por las que atraviesa toda disciplina científica a lo largo de su desarrollo. La primera etapa conocida como "*preparadigmática*", es en la que coexisten diversas escuelas con planteamientos rivales sobre un mismo campo de investigación, en esta etapa los trabajos de los diferentes grupos no logran producir un cuerpo acumulativo de resultados. Este periodo termina cuando el campo de investigación se unifica bajo la dirección de un mismo marco de supuestos básicos, al que Kuhn llama "*paradigma*" iniciándose la etapa de "*la ciencia normal*".

El "paradigma" kuhniano tiene dos sentidos: como un logro o realización concreta, es decir, soluciones exitosas de ciertos problemas; o como un conjunto de compromisos compartidos, con leyes teóricas fundamentales, con postulaciones de entidades y procesos, con procedimientos y técnicas experimentales, así como con criterios de evaluación. Durante la ciencia normal se producen modificaciones relativamente menores de la teoría corriente, la ciencia normal consiste en la resolución de acertijos y rompecabezas (*puzzle-solving*). El enfoque del paradigma se va haciendo cada vez más preciso y mejor articulado. En esta etapa se trabaja todo el tiempo con las mismas reglas del juego, de tal forma que los resultados se producen básicamente en la misma dirección y son claramente acumulables. Con la creciente especialización y extensión que alcanza la ciencia normal se empiezan a presentar defectos en la teoría que no pueden ser enmendados por pequeños cambios. Estos defectos conocidos como *anomalías* se van acumulando y van generando problemas y dudas acerca de la eficacia del paradigma. De esta manera la perspectiva teórica se ve oscurecida, lo cual conlleva a la siguiente etapa, la de "crisis". Ante esta crisis se tienen que proponer ideas teóricas alternativas que implican forzosamente un rechazo o una modificación radical de los supuestos teóricos aceptados hasta ese momento. La etapa de crisis puede terminar de tres maneras: 1) cuando con el paradigma en crisis se pueden resolver las anomalías; 2) o bien, cuando los elementos teóricos que conforman al paradigma no son capaces de resolver las anomalías que provocaron la crisis, por lo que se espera a tener más elementos en el futuro para resolverlas; 3) o cuando surge un paradigma alternativo que ofrece (por lo menos aparentemente) una solución a las anomalías. Kuhn describe el momento de un cambio de paradigma como una "revolución". Una vez ocurrida la revolución se genera una nueva ciencia normal que como su antecesora presentará ciertas anomalías que tendrán que ser resueltas, porque ninguna teoría se ajustará perfectamente a los hechos del mundo ya que "todas las teorías nacen refutadas", con esto vemos en Kuhn la idea de revolución perpetua (Pérez Ransanz, 2000). En este libro Kuhn propone que los cuerpos de conocimientos separados por una revolución son inconmensurables, es decir, no son completamente traducibles entre sí, las ideas de la vieja teoría no pueden expresarse en el lenguaje de la nueva, y por lo tanto no se pueden comparar directamente.

El constructivismo sociológico se identifica con autores como Emile Durkheim e integrantes de la Escuela de Edimburgo como Barry Barnes, Bruno Latour, David Bloor entre otros (Matthews, 1994). Esta tradición constructivista propone que el conocimiento científico es socialmente construido y defendido. Los constructivistas sociológicos investigan las circunstancias y las dinámicas sociales de la construcción del conocimiento (Matthews, 1994 y 2000). En esta tradición no se toma en consideración la construcción del conocimiento de manera individual, para los sociólogos lo que pasa dentro de las mentes de los individuos es "la caja negra" de sus investigaciones (Matthews, 1994).

El constructivismo educativo o psicológico está dividido en dos grandes tradiciones: constructivismo individual y constructivismo social (Matthews, 1994). El constructivismo individual tiene su origen en los trabajos de Jean Piaget y fue apoyado por las ideas de Ernst von Glasersfeld. Piaget propone que el aprendizaje de un individuo es un proceso personal, es una construcción intelectual individual que se origina a partir de su actividad cotidiana con el mundo (Matthews, 2000). Para Piaget el proceso de aprendizaje debe considerarse como una función adaptativa, función entendida en términos de la teoría evolutiva (von Glasersfeld, 1991). La teoría cognitiva propuesta por este investigador tiene dos conceptos centrales: *asimilación* y *acomodación*. Piaget parte de la premisa de que ningún conocimiento es una simple copia de lo real debido a que éste siempre pasa por un proceso de *asimilación* a estructuras anteriores (Piaget, 1969). Los individuos asimilan o generan un esquema conceptual cuando reconocen una situación, la cual es asociada a una actividad específica y que les permite prever un cierto resultado (von Glasersfeld, 1991). Cuando su esquema es incapaz de explicar o predecir el fenómeno, el individuo requiere de la construcción de uno alternativo que sea capaz, dentro de lo posible, de predecir dicho evento, el nuevo esquema generado es asimilado y acomodado para establecer un nuevo esquema de asimilación (von Glasersfeld, 1991). La *acomodación* en este sentido hace referencia al proceso de modificación de los esquemas de asimilación (Piaget, 1969). La asimilación y la acomodación son procesos cognoscitivos que van siempre uno junto al otro, es decir, no puede haber acomodación sin asimilación y viceversa. En términos funcionales

ambos procesos son indispensables en la generación de conocimientos (Piaget, 1969). Según Piaget el aprendizaje y el conocimiento que se genera en este proceso son explícitamente instrumentos del individuo (von Glasersfeld, 1991).

El constructivismo social tiene su origen en los trabajos de Lev Vigotsky, quien resalta la importancia no sólo de la construcción individual del conocimiento, si no también enfatiza el papel de la interacción social y el lenguaje en la actividad de construcción cognitiva de un individuo (Matthews, 1994).

La manifestación del constructivismo en las tres tradiciones antes mencionadas demuestra que éste es un movimiento heterogéneo, sin embargo todas las variantes que puedan surgir de esta tradición filosófica comparten ciertos compromisos epistemológicos. Bajo la visión constructivista se encuentra la idea de que la ciencia es una actividad humana creativa que está condicionada histórica y culturalmente, por lo tanto el conocimiento que se genera a partir de ella no es absoluto (Matthews, 1994). Los constructivistas entienden al conocimiento como algo subjetivo, empírico y personal, es decir, *"el conocimiento es resultado de una actividad constructiva individual, por lo tanto no reside fuera del que conoce"* (Matthews, 1994).

Los compromisos epistemológicos de los constructivistas quedan resumidos de la siguiente manera (Garrison, 1986 en Matthews, 1994):

- ❖ *Los hechos observables son siempre dependientes de un sistema teórico particular para poder ser explicados.*
- ❖ *La distinción en términos observacionales y teóricos sólo puede hacerse de manera pragmática no epistémica.*
- ❖ *Las observaciones per se dependen o están determinadas por la teoría. Es decir, vemos lo que queremos ver.*
- ❖ *Las teorías están siempre subdeterminadas por evidencia empírica, sin embargo para una misma evidencia empírica se pueden construir varias interpretaciones teóricas.*
- ❖ *Las teorías son inmunes a la desaprobación empírica, porque siempre pueden hacerse ajustes o modificaciones a los postulados teóricos ante evidencia discordante.*

Aunado a estas tesis epistemológicas dentro del seno del constructivismo psicológico, von Glasersfeld, Lerman y Kilpatrick (en Matthews, 1994) propusieron otros dos compromisos fundamentales:

- ❖ *El conocimiento se construye activamente, no pasivamente por el simple recibimiento de éste a través del medio externo.*
- ❖ *Conocer es un proceso adaptativo para organizar el mundo que percibimos a través de los sentidos.*

Estos dos últimos supuestos han impactado directamente a las ciencias de la educación. La nueva visión de la ciencia y de la cognición humana han generado nuevas rutas para el mejoramiento del proceso de aprendizaje de los individuos. Con esta visión constructivista se ha tratado de resolver problemas pedagógicos a través de la modificación de los métodos educativos y de los currículos.

1.2 El constructivismo en la enseñanza

La enseñanza y aprendizaje de las ciencias se ha vinculado enormemente con las ideas filosóficas acerca de la ciencia. La visión clásica de la ciencia propuesta por el positivismo ha afectado la enseñanza de las ciencias desde hace más de cincuenta años (Duschl, 1994), a pesar de que desde la segunda mitad del siglo XX existe una nueva imagen sobre la construcción del conocimiento científico y por lo tanto acerca de la naturaleza de la ciencia.

Los sistemas educativos así como los currículos de ciencia presentan al conocimiento científico como un cuerpo formalizado, terminal, que es cierto y que se obtuvo objetivamente, lo configuran como algo cerrado y absoluto (Duschl, 1994; Hernández & Prieto, 2000). De tal forma que los alumnos caracterizan a la ciencia como una actividad objetiva y verdadera, lo que genera que fácilmente pueden caer o deslizarse hacia el dogmatismo (Duschl, 1994). Ya que se promueve que los estudiantes observen y descubran ciertos fenómenos sin considerar las representaciones que tienen sobre los mismos, además comúnmente se impulsa la idea de que

existe una metodología rígida en la ciencia, el llamado "Método científico" (método hipotético-deductivo) (Duschl, 1994).

A pesar de esta influencia positivista, la enseñanza de la ciencia vive un momento revolucionario (en términos Kuhnianos) en el cual la vieja imagen de la ciencia convive con la nueva imagen propuesta por los filósofos contemporáneos. Esta nueva imagen influenciada por los estudios históricos ha eliminado la visión rígida de la ciencia y ha demostrado la importancia de los compromisos teóricos y sociales del sujeto que investiga en la generación de conocimientos. Esta misma visión fue trasladada a la concepción de cómo los estudiantes aprenden, y ha destacado el papel de las ideas previas o concepciones previas que tienen los individuos antes de recibir la instrucción científica y que influyen de manera significativa en la construcción de su conocimiento, lo cual explica el gran interés que tiene los investigadores educativos en estudiar su función en el proceso de aprendizaje.

La visión constructivista de la enseñanza enfatiza que en el proceso de aprendizaje de los estudiantes el conocimiento previo es fundamental para la construcción de nuevo conocimiento. La visión constructivista del aprendizaje fue resumida por Driver y Bell (en Matthews, 1994) de la siguiente manera:

- *El aprendizaje depende no sólo del medio sino también del conocimiento previo del aprendiz.*
- *El aprendizaje involucra la construcción de significados.*
- *La construcción de significados es un proceso continuo y activo.*
- *Los significados, una vez construidos, son evaluados y pueden ser aceptados o rechazados por el individuo que aprende.*
- *Los aprendices son responsables de su aprendizaje.*
- *Existen patrones en los tipos de significados que los alumnos construyen debido a las experiencias con el mundo físico y el lenguaje.*

Bajo esta visión, se han generado diversos métodos educativos constructivistas en el ámbito de la enseñanza. Driver y Oldman (en Matthews, 1994) hicieron una caracterización de la

educación constructivista a través de diferentes etapas o pasos a seguir durante el proceso de enseñanza-aprendizaje:

1. *Orientación*: en esta etapa los estudiantes tienen la oportunidad de desarrollar un sentido de propósito y motivación para aprender sobre determinado tópico.
2. *Elicitación*: en este punto los alumnos muestran las ideas que poseen alrededor del tópico a estudiar.
3. *Reestructuración de ideas*: esta etapa es considerada como el núcleo de la educación constructivista y consiste en tres etapas:
 - i. *Clarificación o intercambio*: en la que se promueve la modelación de las ideas al compararlas con otras, posiblemente a través del conflicto cognitivo.
 - ii. *Construcción de más ideas*: propiciar que los alumnos se den cuenta de que pueden existir una gran variedad de explicaciones acerca de un fenómeno.
 - iii. *Evaluación*: promover que los alumnos prueben las ideas alternativas y que se sientan insatisfechos con las que tenían.
4. *Aplicación de las ideas*: en esta etapa se espera que los alumnos utilicen las nuevas ideas desarrolladas en las diferentes situaciones, tanto familiares como desconocidas.
5. *Revisión*: esta etapa tiene como finalidad promover que los alumnos lleven a cabo reflexiones metacognitivas, es decir, que se hagan conscientes del proceso de aprendizaje comparando directamente sus ideas con las recientemente adquiridas.

En el seno de esta nueva visión encontramos las raíces de lo que los investigadores educativos han llamado teorías del cambio conceptual, de hecho este proceso fue trasladado de la filosofía y de la ciencia cognitiva hasta las ciencias de la educación para aplicarlo en el aprendizaje de las ciencias. El proceso de cambio conceptual es el conjunto de mecanismos para propiciar que los individuos cambien o sustituyan sus ideas alternativas por las ideas aceptadas por la ciencia (Sánchez Mora, 2000). El fenómeno del cambio conceptual para algunos

investigadores es la parte medular del constructivismo (Duit, 1999) . Existen diversas teorías para promover el cambio conceptual, muchas de ellas tienen sus bases en las premisas fundamentales de algunas corrientes filosóficas, al hacer una analogía o una comparación de cómo los científicos han desarrollado las teorías y cómo los estudiantes adquieren su conocimiento del mundo natural.

Por ejemplo la teoría de cambio conceptual propuesta por Posner, Strike, Hewson y Gertzog (1982) se basa en los argumentos epistemológicos propuestos por Kuhn y Piaget. Posner *et al* proponen que existen diferentes fases en la construcción del conocimiento: la primera es la de *asimilación*, en ella los estudiantes utilizan sus conceptos para trabajar con nuevos fenómenos -semejante a la etapa de ciencia normal propuesta por Kuhn-; la segunda cuando los conceptos preexistentes de los estudiantes son inadecuados para entender satisfactoriamente los fenómenos -etapa de crisis en la visión Kuhniana- ; la tercera en la que el que aprende debe reemplazar o reorganizar sus conceptos centrales -momento análogo al de revolución científica- con la finalidad de alcanzar una forma más radical de cambio conceptual que corresponde a la segunda fase conocida como *acomodación*.

1.3 La influencia de la historia de las ciencias en la enseñanza

La historia de las ciencias permaneció alejada de la enseñanza de las ciencias durante muchos años, sin embargo en países como Estados Unidos y Gran Bretaña se ha reconsiderado la inclusión de esta disciplina en el ámbito educativo (Matthews, 1994). En estos países la integración de la historia de la ciencia en la enseñanza ha sido promovida por cuerpos gubernamentales y educativos para solucionar la crisis de la educación científica que se padecía en 1980 (Matthews, 1994). Aunque no se espera que la integración de la historia y la filosofía de las ciencias (HFC) resuelva el estado actual de la educación científica existen algunos puntos en los que esta inclusión ha ayudado (Matthews, 1994), expuestos a continuación:

- o La HFC ayuda a humanizar a las ciencias. Conecta esta actividad con los intereses personales, éticos, culturales y políticos de los individuos; cuestión que genera un mayor interés de los estudiantes para aprender ciencias.

- o Los ejercicios lógicos y analíticos que se hacen al analizar la HFC ayudan a promover un pensamiento más crítico y racional entre los individuos.
- o La HFC puede contribuir a entender mejor los tópicos científicos ya que se enseña cómo se fueron construyendo los conceptos y las teorías científicas, lo que puede evitar el aprendizaje memorístico.
- o La HFC puede mejorar la preparación de los profesores ayudándolos a desarrollar una concepción más auténtica de la ciencia y del lugar que ocupa en el esquema intelectual y social, ya que se ha descubierto que la visión de los profesores sobre la naturaleza de la ciencia afecta cómo enseñan y qué imagen dan de la ciencia a los estudiantes.
- o La HFC ayuda a los profesores a apreciar las dificultades en el aprendizaje de los estudiantes porque los pone alerta sobre las dificultades históricas del desarrollo científico y del cambio conceptual.

Aunado a la evidencia de que la integración de la historia y la filosofía pueden ser fundamentales para mejorar el aprendizaje científico, muchos autores indican que para aprender ciencia de modo significativo, es necesario no sólo conocer o entender los conceptos científicos, también es fundamental tener una concepción de lo que es la ciencia y de cómo opera esta actividad (Klopfer, 1964; Gagliardi, 1988; Russell, 1988; Duschl, 1994; Matthews, 1994; entre otros). En este sentido resulta fundamental ver a la ciencia desde un contexto más amplio, como lo es la historia ya que, conocer cómo ha cambiado la ciencia y por qué era distinta en el pasado permite a los estudiantes tener una idea mucho más general de la ciencia (Russell, 1988; Matthews, 1994). A esta visión educativa se le ha denominado educación liberal o contextual (Matthews, 1994).

Así mismo, la historia de la ciencia resulta una herramienta fundamental para acercar a los alumnos a las diferentes disciplinas científicas. Por un lado permite dar un giro radical a la forma en la que se concibe a la ciencia, ya que la contextualiza y permite evidenciar la circunscripción de la ciencia dentro de la sociedad (Klopfer, 1964).

Conocer las interacciones que se dan y que se han dado a lo largo del tiempo entre la ciencia y la cultura en general brinda una imagen de la ciencia más humana, pues deja ver que los científicos son seres sociales como todos; que comparten los mismos modos de pensamiento que el grupo social al que pertenecen. Esta forma de abordar a la ciencia, como lo afirma Klopfer (1969), sirve a los estudiantes y al público en general para apreciar y entender mejor el trabajo de los científicos.

La historia de la ciencia permite mostrar en detalle los momentos de transformación que se han dado a lo largo de la génesis de un concepto o de una teoría y hacer evidentes cuáles fueron las resistencias sociales y científicas que se dieron ante tal transformación y que sectores se oponían al cambio. Así mismo, conocer cuáles fueron los obstáculos para desarrollar ciertos conocimientos puede ser útil para comprender las dificultades que presentan los alumnos (Gagliardi, 1988) y para promocionar en ellos un espíritu científico (Bachelard, 1948). Existen varios autores que afirman la existencia de un paralelismo entre el desarrollo de las ideas científicas y el desarrollo cognitivo de los individuos (Piaget, 1982; Wandersee, 1985). Lo que no implica que exista una correspondencia absoluta entre la historia de las ciencias y el desarrollo de la inteligencia y del conocimiento individual (Gagliardi, 1988).

Matthews (1994) propone siete razones por las cuales el componente histórico debe ser incluido en los programas de ciencias:

1. *La historia promueve una mejor comprensión de los conceptos científicos y de los métodos.* Este punto está basado en la idea de que la comprensión de cierto concepto o teoría es necesariamente histórica, es decir, se debe tener en cuenta que detrás de cierto conocimiento existe toda una red intelectual o una tradición de pensamiento que está condicionada por la historia de construcción de sus significados. El estudio de la historia es fundamental para permitir que los alumnos sitúen sus conceptos dentro de los sistemas intelectuales de las ideas científicas.
2. *Las aproximaciones históricas conectan el desarrollo del pensamiento individual con el desarrollo de las ideas científicas.* Este punto está fundamentado en la idea de que la presentación histórica tiene un papel psicológico fundamental en el desarrollo del

aprendizaje, el llamado Método Genético de Piaget, ya que el desarrollo de la cognición individual de alguna manera se refleja en el desarrollo de la cognición de la especie humana. La hipótesis fundamental de la epistemología genética es que *“hay un paralelismo entre el progreso hecho por la organización lógica y racional del conocimiento y el correspondiente proceso psicológico formativo”* (Piaget, 1970 en Matthews, 1994).

3. *La historia de la ciencia es intrínsecamente de importancia.* Lo que indica este punto es que existen ciertos episodios históricos que deben ser del conocimiento de los individuos, ya que son fundamentales para tener una cultura general.
4. *La historia de las ciencias es importante para entender la naturaleza de la ciencia.*
5. *La historia de la ciencia contraataca el cientificismo y el dogmatismo que se encuentra comúnmente en los textos y las clases.* Este punto está íntimamente vinculado con la idea de que generar una cultura científica a través de la enseñanza implica reemplazar la idea de saber cerrado y estático –cientificismo y dogmatismo- por el de conocimiento abierto y dinámico –imagen de la ciencia- (Bachelard, 1948).
6. *La historia humaniza los conceptos científicos.*
7. *La historia permite hacer conexiones entre disciplinas científicas y no científicas.* Esto es fundamental para que los estudiantes descubran la naturaleza integral e interdependiente de los logros humanos.

I.4 La historia de las ciencias como herramienta en la enseñanza

En un afán por mejorar la calidad de la educación de ciencias algunos investigadores han sugerido que la utilización de la historia y la epistemología sirve como un complemento pedagógico. Gagliardi (1988) propone que la historia y la epistemología pueden ser utilizadas de diversas maneras:

- Para la determinación de obstáculos epistemológicos.
- Para la definición de contenidos de la enseñanza.
- Para introducir en clase la discusión sobre la producción, la apropiación y el control de los conocimientos a nivel social e individual.

- Como complemento de la enseñanza de otras disciplinas, en particular la historia y la geografía.

1.4.1 La historia de las ciencias y la epistemología para la determinación de obstáculos epistemológicos

Uno de los objetivos principales de la pedagogía de las ciencias es que el profesor ayude al alumno a superar los obstáculos que interfieren en su proceso de construcción de conocimiento, es decir, que promueva que el estudiante cree las bases cognitivas para ir integrando el conocimiento que va adquiriendo (Gagliardi, 1988). Estos obstáculos pueden ser de varios tipos. Por un lado tenemos los obstáculos lógicos que tienen que ver con el desarrollo de la inteligencia y que han sido estudiados por la psicología genética (Gagliardi, 1988). Por otro están los obstáculos de tipo afectivo que tienen que ver con la actitud del alumno frente a una disciplina, como el rechazo a la clase, los tabúes, entre otros y que han sido estudiados por algunas corrientes psicológicas como el psicoanálisis (Gagliardi, 1988). Y finalmente los que interesan en este trabajo, es decir, los obstáculos epistemológicos que son los derivados de la estructura del sistema cognitivo (Gagliardi, 1988).

El concepto de obstáculo epistemológico se le debe a Gaston Bachelard (1938), quien a través del análisis histórico de la ciencia, en su libro "*La formación del espíritu científico*", propone la noción de obstáculo epistemológico. Esta noción surge con el fin de entender las condiciones psicológicas del progreso de la ciencia. Los obstáculos a los que hace referencia no son de tipo externo —debidos a la complejidad o fugacidad de los fenómenos, o bien a debidos a la limitación de los sentidos— más bien, se refiere a aquellos que tienen que ver con el proceso de construcción del conocimiento. Los obstáculos epistemológicos son aquellos esquemas, concepciones o representaciones que en un momento dado del desarrollo de la ciencia tuvieron cierto valor explicativo pero que de algún modo con el paso del tiempo resultaron un obstáculo para el progreso del conocimiento científico.

Bachelard hace explícito que la noción de obstáculo epistemológico puede ser estudiada en el desarrollo histórico del pensamiento científico y en la práctica educativa. La noción de

obstáculo epistemológico está íntimamente relacionada con las ideas previas o concepciones alternativas de los estudiantes en términos de la necesidad que muestran los individuos (ya sea científicos o estudiantes) de mantener su "sistema de pensamiento" o sus "esquemas explicativos" lo que se traduce en la gran dificultad que existe para transformar y superar los obstáculos (Moline, 2000).

El análisis de las representaciones de los alumnos o ideas previas es un instrumento eficaz para determinar los obstáculos epistemológicos de los alumnos, pero para utilizar esta herramienta es fundamental que se conozca la ciencia que se enseña, lo cual necesariamente incluye la historia de ésta. El conocimiento de la historia de la disciplina que pretende enseñarse, permite entender cuáles son las principales teorías actuales y cuales fueron los obstáculos a vencer en su construcción. Es importante destacar que la visualización de los obstáculos epistemológicos históricos dan pistas para explicar los obstáculos epistemológicos que pueden presentar los alumnos. Este doble análisis permite organizar los currículos y la clase de tal modo que se promueva que el alumno desarrolle nuevas estructuras cognitivas que le permitan construir e integrar nuevos conocimientos (Gagliardi, 1988).

1.4.2 La historia de las ciencias y la epistemología para la definición de contenidos de enseñanza

La definición de los contenidos en la enseñanza de la ciencia es un problema complejo, tal vez por esta situación se hacen constantes reformas en los currículos de todo el mundo, a pesar de que el cuerpo de conocimientos cambia relativamente poco (Matthews, 1994). La modificación de los currículos depende de muchos factores, como los pedagógicos, culturales, sociales y hasta políticos. Sin embargo no pueden hacerse reformas a los currículos de ciencia tan sólo en función de los avances científicos ni tampoco en función de las necesidades sociales, más bien deben hacerse con la finalidad de mejorar el nivel educativo, es decir, generando un mejor desarrollo de la capacidad de aprender y de utilizar los conocimientos en los alumnos.

La historia de la ciencia puede ser una herramienta para definir los contenidos de los cursos de ciencias. Para justificar esta propuesta se debe incorporar la noción de "concepto

estructurante" planteada por Gagliardi (1986). Los conceptos estructurantes son aquellos que permiten al alumno superar los obstáculos epistemológicos, es decir, aquellos conceptos que permiten al estudiante transformar su sistema cognitivo y le facilitan la incorporación de nuevos conocimientos. El análisis de la historia de las ciencias puede ayudar a definir cuáles fueron los conceptos estructurantes presentes en los momentos de transformación de una ciencia y por lo tanto pueden permitir la determinación de los conceptos estructurantes en la enseñanza.

Si se observa la historia de la biología del siglo XIX se puede ver una explosión de temas nuevos: teoría celular, fisiología, teoría de la evolución, anatomía comparada, entre otras. De ésta se puede evidenciar que en pocos años se desarrollaron un cantidad enorme de conocimientos. Desde el punto de vista de los conceptos estructurantes interesa conocer cuáles fueron los cambios conceptuales que permitieron esta explosión, pues pueden permitir la definición de los conceptos que debe construir el alumno para construir su conocimiento biológico. Es decir, conocer en qué momento se definió determinado concepto y con qué otros conceptos se relacionó puede ayudar a organizar el currículo de tal forma que se facilite el aprendizaje de la biología.

Como propone Gagliardi (1988) una enseñanza fundada en los "conceptos estructurantes" reduce los temas a enseñar, ya que los conceptos estructurantes son *un medio para superar obstáculos epistemológicos y una base para continuar aprendiendo*.

1.4.3 La historia de las ciencias y la epistemología para la introducción en clase de la discusión sobre la producción, la apropiación y el control de los conocimientos.

La importancia de inducir en el salón de clase la discusión sobre la producción, la apropiación y el control del conocimiento a través del estudio de la historia de las ciencias y la epistemología radica en dos puntos fundamentales: que los alumnos comprendan a la sociedad humana; y que entiendan los mecanismos de producción y reproducción social e individual de conocimientos.

Es importante que los alumnos se den cuenta de que el conocimiento científico juega un papel fundamental en el desarrollo de nuevas tecnologías, y que irremediamente éstas impactan en las sociedades humanas convirtiéndose en uno de los tantos factores que contribuyen en su transformación. Otra cuestión fundamental es que los alumnos a través de la

historia de la ciencia y de la epistemología se den cuenta de los procesos metacognitivos que se llevan a cabo tanto por la comunidad científica como por los individuos durante el proceso de apropiación del conocimiento. Y se espera que gracias a esto se hagan conscientes de la existencia de similitudes y diferencias en los procesos de construcción del conocimiento a nivel individual e institucional.

1.4.4 La historia de las ciencias como complemento de otras disciplinas

Como ya se mencionó, el estudio de la historia de la ciencia puede ayudar a generar una imagen más apropiada de la ciencia y de los individuos que generan el conocimiento científico. Esta nueva representación de la actividad científica ayuda a entender que *la construcción de conocimientos y su aplicación a la tecnología son parte importante de las transformaciones sociales* (Gagliardi, 1988). Y dado que la ciencia es una actividad financiada por la población en general, que genera riquezas y poder, es fundamental para una sociedad que se dice "democrática" que tenga los medios para controlar la producción y la utilización del conocimiento científico. La utilización de la historia de las ciencias y la epistemología puede permitir *un debate sobre la propia estructura de la ciencia, sus relaciones con el poder, sus modos de operar* con el fin de aumentar las posibilidades del alumno y de la población en general para participar de manera activa en la construcción y el control de los conocimientos científicos.

Hoy en día el conocimiento científico y sus aplicaciones se encuentran en contacto cotidiano con los individuos. La comprensión de la ciencia es fundamental para el desarrollo de una población y por lo tanto de un país. La enseñanza de las ciencias en el siglo XXI, resulta fundamental para que la población esté enterada de lo que acontece en el medio científico, de tal forma que comprenda y construya su propio conocimiento científico. Ya sea participando directamente en esta actividad, como científico; o indirectamente en la toma de decisiones que repercuten en ella.

Partiendo de la importancia de educar científicamente a los individuos, que se ha venido discutiendo en las páginas anteriores, en este trabajo se pretende hacer uso de la herramienta

histórica para determinar los obstáculos epistemológicos que se presentaron en la construcción del conocimiento genético a lo largo de la historia y los obstáculos que presentan los alumnos. A partir de este análisis de la historia se establecerán los conceptos estructurantes que propiciaron la construcción de la genética con el fin de hacer una propuesta que mejore el aprendizaje de este tópico en el nivel bachillerato.

II. El nacimiento de la Genética

Convergencia de dos tradiciones de investigación: hibridología y biología celular

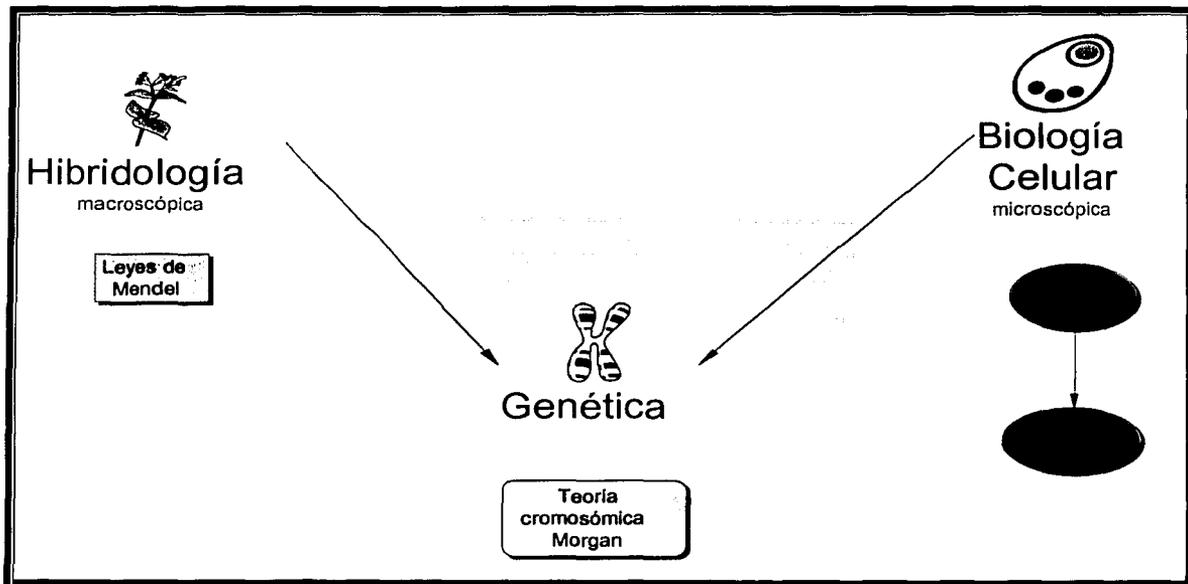
En el siglo XIX, la biología celular y los primeros estudios acerca del fenómeno de la herencia vivieron un momento de intenso trabajo y de grandes descubrimientos que se prolongarían hasta el siglo XX. Herederas de los estudios realizados por los científicos del siglo XIX, en el siglo XX se constituirán disciplinas como: la genética, la biología molecular y la biotecnología.

II.1 La construcción de la genética

El análisis histórico muestra que el nacimiento de la genética es producto de la aproximación de dos disciplinas: la biología celular y la hibridología. Ambas especialidades se desarrollaron y alcanzaron su madurez durante el siglo XIX. Aunque la hibridología es una disciplina que vio la luz durante las últimas décadas del siglo XVIII, logró consolidarse en el XIX con los resultados experimentales de Mendel y la postulación de sus leyes. La biología celular se fundó en la primera mitad del XIX con la postulación de la Teoría Celular de Schwann y Schleiden, instituyéndose con trabajos posteriores.

La figura 2.1 es una síntesis del análisis de la construcción de la genética. En este mapa se observa que la génesis de esta disciplina es producto de la convergencia de dos líneas de investigación que parten de dos niveles de organización distinto. Por un lado está la hibridología (color verde) que parte de la evidencia macroscópica y que hace inferencias acerca del nivel microscópico. Por el otro está la biología celular (color rosa) que utiliza evidencia microscópica para establecer sus postulados. La integración de estos dos niveles de interpretación para explicar el fenómeno de la herencia es lo que se conoce como la genética (color azul).

Figura 2.1 Mapa de la síntesis de la construcción de la genética.



II.2 La hibridología: estudios acerca de la herencia desde una visión macroscópica

La hibridología nació en las últimas décadas del siglo XVIII. Durante ese siglo y el XIX se desarrollaron los primeros trabajos acerca de la reproducción en plantas, de la naturaleza de los organismos híbridos, y sobre el proceso de la herencia. No es coincidencia que tuviera su origen en el ámbito de la horticultura. La población del siglo XIX aumentaba desmesuradamente debido a la revolución industrial. Esta revolución produjo la liberación de las sociedades humanas que desde entonces se hicieron capaces de una constante, rápida y hasta ilimitada multiplicación de hombres, bienes y servicios (Hobsbawn, 1971); para amortiguar este crecimiento poblacional era necesario optimizar el cultivo de las plantas comestibles. Los agricultores interesados en tener el mejor producto invertían dinero y tiempo en hacer estudios de hibridación de diferentes especies para encontrar nuevas variedades de vegetales. Los naturalistas compartían este interés, aunque lo que

realmente lo motivaba era entender cómo se pueden generar nuevas especies a partir de las ya existentes (Magner, 1994).

En 1749, el botánico Joseph Gottlieb Kölreuter (1733-1806) influenciado por un profesor de química en la Universidad de Tübingen comenzó a experimentar con la fertilización artificial cruzando plantas (Orel, 1996). Kölreuter introdujo la hibridación como un método de investigación y desarrolló la técnica de hibridación artificial para evitar la autofecundación (Magner, 1994; Orel, 1996). Él trabajó con aproximadamente 138 especies diferentes, en sus resultados describió que en la progenie de los organismos híbridos existen tres tipos de descendientes: los que se parecen al híbrido y los que se parecen a uno de los progenitores originales del híbrido (Orel, 1996). Sus resultados ponían en tela de juicio la idea de Linneo (1707-1778) acerca del origen de la diversidad vegetal. Linneo proponía la creación divina de un prototipo de planta por cada género, y que las plantas que podemos ver hoy son producto de la hibridación y variación de éstas a lo largo de los siglos (Magner, 1994). Kölreuter pensaba que debía haber barreras naturales contra la hibridación ya que conforme pasan las generaciones las formas híbridas tienden a desaparecer y dominan las formas de los progenitores originales.

Durante las últimas décadas del siglo XVIII y las primeras del XIX las investigaciones acerca de la existencia de la reproducción sexual en plantas y sobre del origen de la diversidad en plantas siguió estando en boga. El botánico alemán Friedrich Gärtner (1772-1850) estudió detenidamente los trabajos de Kölreuter, y utilizó la técnica diseñada por éste. Trabajó con alrededor de 700 especies de plantas que le generaron alrededor de 250 híbridos. Sus resultados fueron expuestos en una extensa monografía publicada en 1849 que llevaba por título *Experiments and observations on hybridization in the plant kingdom*. Al igual que Kölreuter, encontró un proceso de reversión de las formas híbridas y como él, estaba convencido de que los híbridos tenían una fertilidad inferior y coincidía en que la hibridación natural no podía originar nuevas especies de plantas. Esto último lo hacía confirmar la constancia de las especies (Magner, 1994, Orel, 1996).

En esta época la planta era considerada como un todo, no ponían atención en la distribución de características que no parecían esenciales entre la progenie de los híbridos y que hoy entendemos como producto de la segregación y dominancia.

En 1861, la Academia de Ciencias francesa ofreció un premio al que lograra explicar el problema de la fertilidad en los híbridos y la constancia de las características que presentan. Sería el francés Charles Naudin (1815-1899) quien en 1863, obtuviera dicho premio. En su trabajo utilizó las técnicas, ya popularizadas, de hibridación. Los organismos para su trabajo pertenecían a las familias de las papas y los pepinos; sus resultados lo llevaron a concluir que existen características de los padres presentes en la progenie híbrida que deben ser producto de una segregación de características parentales en el momento de la reproducción, probablemente debido a la acción de una "esencia específica" (Orel, 1996). Naudin, como sus contemporáneos hibridólogos, estaba convencido que los híbridos no eran entidades naturales (Magner, 1994).

II.2.1 La obra de Mendel: *Experimentos en la hibridación de plantas* (1865)

Gregor Mendel (1822-1884) hizo experimentos de fertilización artificial, como se venían haciendo en la tradición de hibridación. Los trabajos de investigadores como Kölreuter, Gärtner, Herbert, Lecoq, Wichura, estuvieron dedicados a experiencias de fertilización artificial, sin embargo, en ningún trabajo se había propuesto una ley que explicara la formación y desarrollo de los híbridos.

El punto central de la obra de Mendel (1865) radica en el paralelismo que hizo entre la variación híbrida y las ecuaciones de las matemáticas combinatorias (Olby, 1997). Aplicó los métodos de la física y el pensamiento matemático a los problemas fundamentales de la biología (Magner, 1997). Adoptó la interpretación probabilística en el proceso de la reproducción en híbridos y esto le permitió generar una relación numérica para entender y predecir la distribución de las características en la progenie de los híbridos.

El artículo que Mendel presentó en aquella célebre reunión de 1865 de la Sociedad de Ciencias Naturales de Brünn (ciudad de la hoy República Checa) fue producto de un arduo trabajo de experimentación en el jardín de la Abadía de Brünn y de la propuesta de un modelo matemático para interpretar los resultados obtenidos. Sin embargo es importante destacar que la propuesta de Mendel se fundamentaba en los antecedentes teóricos sobre hibridación que algunos colegas habían desarrollado, así como en el conocimiento en horticultura que.

Mendel nació en la región de Moravia en el seno de una familia de campesinos. Esta situación le dio la oportunidad de tener un amplio conocimiento hortícola, condición que fue fundamental para la elección de la planta leguminosa con la que experimentó. Aunado a esto, en siglo XIX en Moravia se habían alcanzado progresos importantes en la técnicas agrícolas; los horticultores habían logrado controlar la reproducción de las plantas y se interesaban en la transmisión de las características de los progenitores a los descendientes (Drouin, 1998). En este afán por mejorar las técnicas agrícolas y por entender los procesos hereditarios, se crearon asociaciones en esta ciudad en las que se intercambiaban puntos de vista y se proponían explicaciones a lo que se observaba en el campo de trabajo. Algunas de estas asociaciones eran: la Sociedad Regional de Agricultura, la Sociedad de Ciencias Naturales y la Asociación Pomológica. Esta última sociedad fue precedida en un principio por el abad del antiguo monasterio agustino al que perteneció Mendel. El A. Napp (1792-1867) tenía gran interés en entender el proceso de la transmisión de las características de progenitores a descendientes y pensaba que el único modo de alcanzar este objetivo era efectuar investigaciones experimentales para responder a dos cuestionamientos fundamentales: ¿qué es lo que se transmite? y ¿de qué forma se transmite? (Orel, 1996). Mendel fue heredero de esta inquietud y se involucró de lleno en esta empresa.

El monasterio agustino poseía una biblioteca especializada en tópicos como hibridación y fertilización artificial, lo que acercó a Mendel a toda la literatura especializada sobre estos temas. Mendel sabía que los híbridos no eran formas intermedias entre sus progenitores, es decir, negaba la herencia mezclada, tal como lo mostraban los estudios realizados por Kölreuter y Gärtner. Mendel se había dado cuenta que existían características provenientes de uno u otro padre que preponderaban y eran detectables en los híbridos hijos, por lo tanto las características de algún modo eran entidades físicas que se segregaban como lo proponía Naudin en su trabajo de 1863.

Selección de las plantas experimentales

Mendel hizo un análisis minucioso para seleccionar las plantas que utilizaría en su experimentación. Él pensaba que *"el valor y la utilidad de cualquier experimento están*

determinados por la adecuación del material según el propósito para el cual es seleccionado”
(Mendel, 1865).

Con esto en mente, estableció tres requisitos para la elección de las plantas con las que trabajaría: 1) las plantas debían poseer características diferenciales constantes; 2) durante la etapa de floración, los híbridos de estas plantas debían estar protegidos de la influencia de todo polen ajeno o bien debía ser fácil proteger a las flores de éste; y 3) los híbridos y su linaje no debían presentar alteraciones en su fertilidad.

Una vez instituidas estas condiciones, Mendel fijó su atención en la familia de las leguminosas, específicamente el género *Pisum*. Vio que entre las especies de este género las características diferenciales se mantenían constantes, y que eran de fácil reconocimiento. Además los híbridos de esta planta al cruzarse daban origen a descendencia perfectamente fértil. La invasión de los órganos reproductores con polen ajeno no ocurría fácilmente, ya que los éstos están encerrados en la quilla y las anteras maduran dentro del brote, por lo que, el estigma es recubierto por el polen antes de que la flor se abra. Otra ventaja es que podían cultivarse fácilmente en macetas y requerían de un período corto para su crecimiento.

Las características que observó en las plantas de *Pisum*

El objetivo de los experimentos de Mendel era observar las variaciones en la transmisión de un par o varios pares de características y deducir la ley en la que éstas aparecen en las sucesivas generaciones.

De las múltiples características que presentaban las plantas, eliminó aquellas que no se podían distinguir fácilmente y seleccionó los caracteres diferenciales a observar en la experimentación:

1. La forma de las semillas maduras: redondeadas con depresiones poco profundas o con formas angulares irregulares con arrugas muy marcadas.
2. El color del albumen (endospermo) de la semilla madura: amarillo claro, amarillo brillante y anaranjado o bien, con tintes ya sea pálidos o brillantes en verde.

3. El color en la cobertura de la semilla: blanca, generalmente cuando las flores son blancas o bien, grisácea color relacionado con flores violetas.
4. La forma de las vainas maduras: infladas sin ninguna depresión o con depresiones profundas en las zonas entre las semillas.
5. El color de las vainas inmaduras: de verde claro a verde oscuro o amarillo intenso.
6. La posición de las flores: ya sea axiales, es decir, distribuidas a lo largo de la rama principal o terminales, es decir, en el extremo del tallo y arregladas generalmente en una falsa umbela.
7. El largo del tallo: la longitud es extremadamente variable, sin embargo en plantas que crecen en condiciones constantes las variaciones de esta característica se vuelven insignificantes. Mendel estableció como plantas largas aquellas que medían entre 183 cm y 213.5 cm, y como cortas las que medían entre 22.88 cm y 45.75 cm.

La forma de los híbridos

En los híbridos de chícharo era evidente la preponderancia de ciertos caracteres. Aquellos caracteres diferenciales que Mendel vio que se transmitían completamente o sin cambios radicales en la progenie los denominó *dominantes* y aquellos que quedaban latentes los llamaba *recesivos*, porque se dio cuenta que las características recesivas no desaparecían en los híbridos, ya que en la progenie de estos individuos aparecían descendientes con características de este tipo. Así mismo, Mendel notó, como lo había hecho Gärtner, que cualquiera de los dos progenitores podía transmitir el carácter diferencial dominante, es decir, no importa si la característica proviene del macho o de la hembra la expresión es la misma.

Con este antecedente teórico, Mendel identificó en cada una de las siete características diferenciales cuáles eran dominantes y cuáles recesivas. Con esta información comenzó su trabajo experimental haciendo cruza entre las plantas de chícharos.

Los resultados a los que llegó al hacer la cruce de los híbridos observando una característica diferencial

Mendel comenzó su trabajo haciendo cruces entre plantas con características dominantes y con características recesivas para obtener plantas híbridas. Fijó su atención en una característica y realizó autofecundaciones en las plantas híbridas. La descendencia de esta autofecundación presentaba dos formas distintas en una distribución de la característica diferencial elegida en proporción 3:1, es decir, de cuatro individuos tres presentaban la característica dominante y uno la recesiva.

Con relación a las características dominantes, se dio cuenta que podían ser de dos tipos: características parentales (totalmente dominantes) y características híbridas (con la característica recesiva latente). Para ver en que proporción se presentaban una y otra le fue necesario observar la segunda generación y cuantificarla. Encontró que cuando se trata de una característica dominante parental la progenie de éstos se mantiene idéntica; en cambio cuando se trata de características dominantes híbridas en la progenie observamos la proporción 3:1 igual a la de la primera generación.

Con estos resultados, la proporción 3:1 propuesta al identificar la presencia de caracteres dominantes y recesivos en la primera generación puede expresarse en la forma 1:2:1.

Si se usa el símbolo **A** para denominar a las características dominantes, **a** para las recesivas y **Aa** para las formas híbridas la expresión

$$A+2Aa+a$$

muestra la manera en la que se presentan las características diferenciales en la progenie de los híbridos.

Con esta generalización Mendel propuso lo que hoy consideramos como su primera ley : *"los individuos de la primera generación provienen directamente de las semillas de los híbridos, es claro ahora que los híbridos de cada par de caracteres diferenciales producen semillas, de las cuales la mitad se desarrollará como forma híbrida, mientras que la otra mitad dará origen a plantas que mantienen constantes y adoptan las características dominantes o recesivas en igual número"* (Mendel, 1865).

Con esta generalización se dio cuenta que, como lo planteaban Gärtner y Kölreuter, al realizar cruza de híbridos existe una tendencia de regresión a las formas parentales. Sin embargo, al hacer uso de su modelo, Mendel se dio cuenta que el número de individuos con formas híbridas disminuye considerablemente al paso de las generaciones pero nunca se vuelve cero o se elimina.

Al utilizar las proporciones antes mencionadas y asumiendo que cada planta produce en cada generación sólo cuatro semillas, Mendel propuso una fórmula matemática que predice las proporciones en las que aparecerán los tres tipos de formas al paso de las generaciones:

$$A : Aa : a \\ 2^{n-1} : 2^n : 2^{n-1}$$

donde "n" es el número de generación, así por ejemplo para la generación 8, la proporción será de 255: 2: 255.

Este cálculo teórico de las proporciones en las que se presentarán los individuos al paso de las generaciones es la formalización que logró Mendel al proponer un modelo matemático que comprobaba lo que los hibridólogos ya habían establecido empíricamente.

Los resultados a los que llegó al hacer la cruza de los híbridos observando dos o más características diferenciales.

Lo que después le interesó a Mendel fue ver si la ley descubierta para una característica diferencial era aplicable cuando se toman en cuenta varios caracteres; para lo cual realizó otros experimentos de cruza del mismo tipo al anterior pero poniendo atención en dos y tres características diferenciales. Cruzó plantas de características dominantes y recesivas "puras" para obtener híbridos con las características diferenciales de tipo dominante fijando su atención en dos caracteres (AaBb). En la primera generación, la descendencia de los híbridos dio origen a nueve formas distintas.

Estas formas las clasificó en tres grupos diferentes dependiendo del tipo de progenie a la que dan origen:

1. AB, Ab, aB, ab: características constantes; en la siguiente generación no hay variación.

2. ABb, aBb, AaB, Aab: constantes en un carácter, híbridos en el otro; en la siguiente generación sólo varían en un carácter.
3. AaBb: híbridos en ambos caracteres; en la siguiente generación presentarán el mismo comportamiento que los híbridos de los que proviene.

La proporción en la que se presentaron estos individuos fue 1 (primer grupo):2 (segundo grupo):4 (tercer grupo), por lo tanto la descendencia, cuando se toman en cuenta dos caracteres diferenciales, esta representada por la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 & AB + Ab + aB + ab + \\
 & 2Aab + 2aAb + 2AaB + 2AaB + \\
 & 4AaBb
 \end{aligned}$$

Esta expresión es igual a la combinación de las dos expresiones para los caracteres A y a; B y b.

$$(A+2Aa+a) (B+2Bb+b)$$

Al realizar la misma experiencia, pero ahora observando la distribución de tres características, Mendel obtuvo cuatro grupos diferentes dependiendo de la descendencia a la que daban origen. La proporción de estos grupos fue la siguiente: 1 (primer grupo): 2 (segundo grupo): 4 (tercer grupo): 8 (cuarto grupo), por lo tanto la descendencia, cuando se toman en cuenta tres caracteres diferenciales, esta representado por la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 & ABC + \\
 & 2ABCc + 2AbCc + 2aBCc + 2abCc + 2ABbC + 2ABbc + 2aBbC + 2aBbc + 2AaBC + 2AaBc + 2AabC + 2Aabc + \\
 & 4ABbCc + 4aBbCc + 4AaBCc + 4AabCc + 4AaBbC + 4AaBbc + \\
 & 8AaBbCc
 \end{aligned}$$

Esta expresión es igual a la combinación de las tres expresiones para los caracteres A y a; B y b; C y c.

$$(A+2Aa+a) (B+2Bb+b) (C+2Cc+c)$$

Los resultados de ambos experimentos llevaron a Mendel a proponer una segunda generalización, que hoy conocemos como su segunda ley: *"la relación de cada pareja de caracteres diferenciales en la unión de híbridos es independiente de las otras diferencias que presentan las cepas parentales originales"* (Mendel, 1865), es decir, una característica diferencial se transmite de manera independiente a otra (s), de tal forma que por ejemplo la característica tamaño del tallo es independiente de la forma de la semilla o color de la vaina.

Mendel realizó las cruzas necesarias para corroborar los resultados que había observado en la transmisión de varios caracteres diferenciales, con lo que planteó una expresión teórica que predice las combinaciones:

"Si 'n' representa el número de caracteres diferenciales en dos estirpes parentales, entonces 3^n es el número de términos de la serie de combinaciones (número de formas distintas que se presentan en la progenie), 4^n el número de individuos que pertenecen a la serie (número de individuos por cruce) y 2^n el número de combinaciones que permanecen constantes (número de individuos que permanecen con las características híbridas)" (Mendel, 1865)

Si por ejemplo se toman en cuenta las siete características diferenciales que observó Mendel en sus experimentaciones se obtiene que se pueden formar $3^7=2187$ formas o combinaciones distintas; $4^7=16\ 384$ individuos; y $2^7=128$ individuos mantienen las características híbridas para los siete caracteres diferenciales. Estos resultados fueron obtenidos por Mendel de manera teórica y validados con los experimentales.

Las células reproductoras

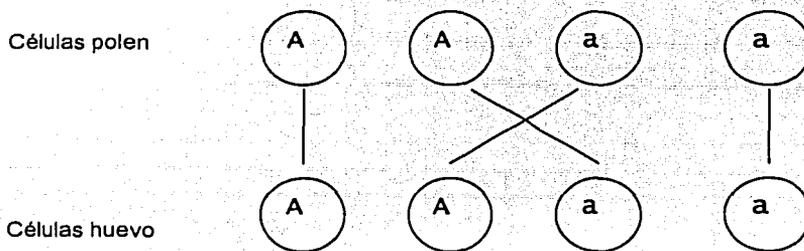
Los resultados de la experimentación con plantas de chícharo llevaron a Mendel a proponer una hipótesis acerca de la constitución de las células germinales (óvulo y polen) en las plantas del género *Pisum*: para que se genere progenie híbrida es necesario que *" las células huevo y el polen fecundante tengan caracteres iguales, de manera que ambos estén provistos con el material para crear individuos similares"* (Mendel, 1865). Lo que esta hipótesis propone es que las células germinales, ya sea femeninas o masculinas, poseen necesariamente la misma información, si no,

sería imposible que de la cruce de dos progenitores puros se originen individuos híbridos en los que se expresan los caracteres dominantes pero se mantienen en latencia los recesivos.

Las diferentes formas o tipos de individuos que se generan al cruzar híbridos; así como la proporción en la que se presentan, puede entenderse por el principio que dice que "los híbridos forman células huevo y polen que, en su constitución, representan en igual número todas las formas constantes que resultan de la combinación de caracteres unidos en la fertilización" (Mendel, 1865). En la expresión $A+2Aa+a$; "A y a" representan la progenie que mantiene las características constantes y "Aa" la que mantiene las características híbridas. En esta expresión se observa que hay tres clases distintas y cuatro individuos, para que esto pueda llevarse a cabo es necesario que los gametos que participan en la fertilización sean los siguientes:

- Células de polen: $A + A + a + a$
- Células huevo: $A + A + a + a$

En la unión entre los gametos, cuál de las dos clases de polen se unirá con cada una de las dos clases de óvulo será completamente al azar, es decir, la probabilidad de que una célula se una a otra célula es exactamente la misma.



II.2.2 La herencia desde la visión de la hibridología

La propuesta de Mendel, descrita en los apartados anteriores, es la aplicación de un modelo matemático que responde a la evidencia macroscópica que se genera de las cruces entre las plantas. Para que el modelo fuera funcional Mendel tuvo que establecer ciertos compromisos teóricos, para lo cual desarrolló ciertas concepciones que sirvieron de andamio para construir una

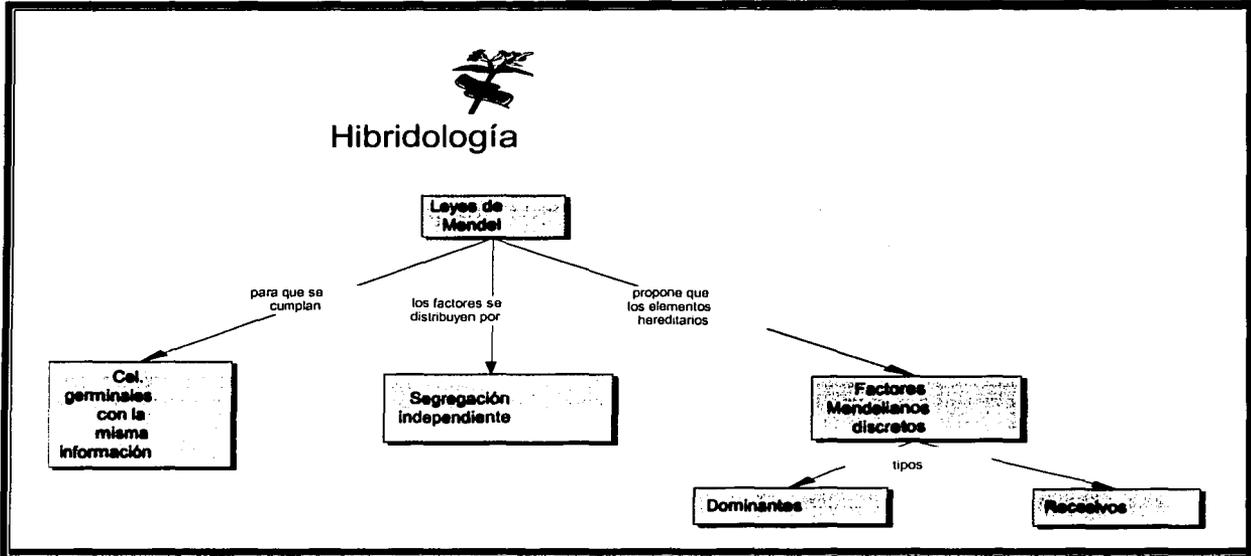
teoría que explicara la manera en la que se transmiten las características. Estas concepciones se denominarán conceptos estructurantes porque como se observó al hacer el análisis del trabajo de Mendel permitieron construir un nuevo modelo explicativo del fenómeno de la transmisión de características de progenitores a descendientes.

Los conceptos estructurantes construidos para fundamentar la propuesta de Mendel fueron los siguientes y están representados en la figura 2.2:

- ✓ Las características deben estar en entidades físicas discretas, denominadas *factores*. Cabe destacar que Mendel sólo suponía que se encontraban en las células reproductoras de la planta pero desconocía su naturaleza o su ubicación en estas células. Para una misma característica, los factores pueden ser de dos tipos: *dominantes y recesivos*.
- ✓ Los factores o la información completa de las características de una planta debe estar presente en todas las células germinales, es decir, en cada una de las células reproductoras que produce una planta se encuentra toda la información sobre las características de ésta.
- ✓ Los individuos presentan su información en pares (AA, Aa, aa), por lo tanto durante la producción de las células reproductoras debe llevarse a cabo un proceso de *segregación de los factores*, que es *independiente*, es decir, la segregación de un tipo de factor es independiente a la de otro.

La obra de Mendel no revolucionó la ciencia de su época, se quedó en el ámbito agrícola y aunque se dice que cayó en el olvido, se tiene el registro de algunas publicaciones que citaron el trabajo del monje agustino entre 1866 y 1900 (año de su resurgimiento) (Drouin, J. M., 1998). Mendel envió una copia de su trabajo al experto en hibridación Karl von Nägeli (1817-1891) a Munich donde éste era profesor de botánica. Nägeli no le prestó gran interés, comenzó entre ellos una relación a través de cartas en las que comentaban el trabajo. Nägeli estaba convencido de que los híbridos generaban descendencia variable y Mendel como sus antecesores hibridólogos, estaba convencido que la descendencia híbrida tendía a regresar a las formas originales.

Figura 2.2 Mapa de los conceptos estructurantes de la propuesta de Mendel.



Envueltos en esta polémica, Nägeli le recomendó a Mendel realizar los mismos experimentos con otra familia de plantas. Convencido Mendel de que sus resultados explicaban el desarrollo de los híbridos aceptó la propuesta y comenzó sus trabajos con la familia *Hieracium*, (conocidas comúnmente como vellosillas). Trató de hibridar estas plantas durante cinco años, pero los resultados que obtuvo eran incomprensibles, ya que no se ajustaban a sus proporciones ni a sus leyes (hoy sabemos que estas plantas se reproducen por partenogénesis, cuestión que evidentemente Mendel ignoraba). Mendel desilusionado y derrotado dejó a un lado sus estudios con híbridos.

II.3 La biología celular: el acercamiento microscópico a la vida

La instauración de la Teoría Celular en el siglo XIX marca un parte aguas en la biología moderna. Como lo afirma Duchesneau (1987) "*descubrir en qué consiste la "estructura elemental" de todo ser vivo, permite alcanzar una visión clara de lo que constituye el "fondo" de la naturaleza viva, tanto animal como vegetal*". La concepción de la célula como la unidad fundamental o estructura elemental de la vida fue y es un prerrequisito para construir y comprender todos los conceptos

actuales de estructura, mecanismos hereditarios, desarrollo y diferenciación, unidad biológica y teoría evolutiva.

El nacimiento del concepto de célula está inseparablemente unido al desarrollo tecnológico del microscopio. La creación del microscopio permitió a los estudiosos descubrir un nuevo mundo. En el texto *Micrografía* (1665), el inglés Robert Hooke (1635-1702) plasmó su interés en este nuevo instrumento; dio información acerca de la técnica microscópica y mostró imágenes aumentadas de objetos de la vida cotidiana (Magner, 1994; Ruiz Herrera, 2001). En este trabajo hizo especulaciones sobre la naturaleza de la luz; las relaciones entre la respiración y la combustión; y sobre el origen de los fósiles. Además, utilizó por primera vez la palabra célula, aunque con un sentido distinto al que se tiene hoy en día. Interesado en estudiar el interior de los objetos cotidianos, Hooke observó el corcho. Logró distinguir pequeñas perforaciones y poros yuxtapuestos llenos de aire, a los que denominó "células". Al hacer observaciones de tejido vegetal fresco identificó el mismo tipo de estructuras, pero a diferencia del corcho éstas estaban llenas de un jugo verde (Duschesneau, 1987). También en Inglaterra su colega Nehemiah Grew (1628-1712) realizó estudios microscópicos de mayor profundidad en tejido vegetal y animal, motivado por la idea de que plantas y animales debían poseer estructuras similares se lanzó al estudio microscópico de sus tejidos. En Italia el boloñés Marcello Malpighi (1628-1694) utilizó, como sus contemporáneos, la observación microscópica para sus estudios en fisiología, embriología, histología y anatomía animal comparándola con la vegetal, se dio cuenta como sus colegas ingleses, que en las plantas se encuentran cuerpos minúsculos en forma de bolsas, mismas que conforman a toda la planta. Sin embargo, en ningún momento pensó que fueran partes vivas estructural y funcionalmente independientes.

Sin duda el mayor microscopista del siglo XVII fue el holandés Antoni van Leeuwenhoek (1632-1723), quien con el fin de descubrir nuevas entidades microscópicas diseñaba sus propios microscopios (de tipo simple), que llegaron a ser los mejores sistemas ópticos del siglo. Gracias al avance tecnológico de sus microscopios, en el siglo XIX, se lograron observar células de dimensiones menores, así como estructuras celulares internas.

Los estudios derivados de esta nueva evidencia microscópica propiciaron la discusión acerca de la naturaleza de los organismos vivos. Durante la segunda mitad del siglo XVIII el fisiólogo suizo Albrecht von Haller (1708-1777) y el naturalista francés Georges Louis de Buffon (1707-1788) propusieron dos modelos opuestos acerca de la naturaleza de la vida. Von Haller era partidario del preformismo, sostenía que el componente anatómico básico era la fibra, pero continuaba asignándole funciones vitales a las estructuras globales o in-descomponibles del organismo. Buffon trató de inventar un nuevo modelo que eliminara el preformismo, éste se basaba en las "moléculas orgánicas" y los "moldes interiores". Suponía que el Universo contiene muchas partes materiales elementales dotadas de propiedades vitales, a diferencia de las inorgánicas que sólo poseen propiedades fisicoquímicas. Estas partículas o "moléculas orgánicas" que penetran al organismo se asimilan según él gracias a un "molde interior". Para Buffon, los organismos se forman por la construcción paulatina de estructuras cada vez más complejas, concepción conocida como epigénesis.

Con los trabajos realizados en el siglo XVII y el XVIII, el siglo XIX comenzó con un sin fin de polémicas y teorías acerca de este nuevo mundo microscópico. Las preguntas alrededor de la estructura del material biológico dieron origen a polémicas acerca de la existencia real de las células o de la posibilidad de que fueran tan sólo artilugios ópticos.

En general la concepción dominante acerca del organismo era vitalista. Se sostenía que el ser vivo poseía una esencia vital in-descomponible (Duchesneau, 1987), es decir, no era posible explicar sus funciones por la interacción mecánica de las partes y por la intervención exclusiva de la fisicoquímica. El alemán Blumenbach proponía que el principio vital de organización de los seres vivos es una fuerza que no se puede subyugar a las de la naturaleza inorgánica (Duchesneau, 1987). Éste principio posee el plan de integración estructural y funcional característico de los seres vivos complejos. Desde el punto de vista vitalista era inútil buscar unidades fundamentales dotadas de la información para construir organismos complejos.

Los que no tenían una visión vitalista estaban convencidos de la existencia de la célula, a la que concebían como simples cavidades que se observaban en ciertos tejidos, concepción heredada del siglo XVIII. Para este grupo de investigadores, un tejido celular era aquel que tenía

orificios microscópicos (Duschesneau, 1987). Además no relacionaban a la célula vegetal con la célula animal, aunque existían científicos que vislumbraban a la célula como la unidad entre ambos grupos (Zentella, 1996). En su trabajo de 1809, Lamarck escribe un párrafo en el que se ve reflejada esta idea: "*ningún cuerpo puede tener vida si sus partes constitutivas no son tejido celular o están formadas por tejido celular*". Pero los investigadores no consideraban que las células fueran unidades independientes, simplemente las concebían como intersticios localizados en los tejidos. La idea de que la célula fuera una estructura elemental viviente susceptible de explicar la formación y la integración de los organismos más complejos y diversos parecía simplemente una especulación (Duschesneau, 1987). Esto comenzó a tener sentido hasta que se empezaron a hacer estudios sobre el núcleo celular (Magner, 1994).

Antes de la postulación de la teoría celular, los estudios microscópicos giraban entorno a la descripción de la célula. Robert Brown (1773-1858) describió a la "areola circular" que se encuentra en las células vegetales (hoy estructura conocida como núcleo); Johannes Evangelista Purkinje (1787-1869) desarrollo técnicas para realizar cortes muy finos en los tejidos vegetales y describió a la sustancia que se encuentra en las células, protoplasma.

II.3.1 La Teoría Celular

El desarrollo de la Teoría Celular se adjudica a los alemanes Theodor Schwann (1810-1882) y Matthias Jacob Schleiden (1804-1881), sin embargo fueron fundamentales los resultados de muchas otras investigaciones en la consagración de dicha teoría.

Los antecedentes más directos a la propuesta de Schwann y Schleiden son los trabajos realizados por los naturalistas franceses Henri Dutrochet (1776-1847) y Francois-Vincent Raspail (1794-1878) quienes sintetizaron el movimiento *globulista*. Ambos propusieron la unidad estructural "utricular" o "vesicular" de los vegetales y los animales; a pesar de que tenían esta concepción sus explicaciones presentaban dos deficiencias fundamentales que impedían que la idea globulista representará una concepción general y aceptable de la estructura elemental de los organismos vivos (Duschesneau, 1987): en primer lugar, los utrículos o glóbulos eran representaciones muy burdas de las estructuras vivientes elementales, ya que no se explicaba su

constitución interna a pesar de que desde 1820 se conocía el núcleo; por consiguiente como segunda deficiencia, no podían explicar cómo estas estructuras lograban transformarse y dar origen a los organismos complejos.

Schleiden era botánico de formación y se le adjudica la reestructuración del estudio botánico. Hizo de esta disciplina una ciencia inductiva que trataba de establecer leyes en el reino vegetal, conocía muy bien el trabajo de Brown acerca del núcleo y pensaba que esta estructura debía estar relacionada con el crecimiento y desarrollo de la planta (Duschesneau, 1987; Magner, 1994). Schleiden estaba convencido, por sus observaciones y las de sus colegas, que las plantas son agregados celulares, este investigador pensaba que las células provienen de otras células o bien se originan de un fluido viscoso, al que llamó citoblastema que, por un proceso análogo a la formación de cristales, forma agregados que después se convierten en una célula; cabe destacar que a pesar de esta idea no creía en la generación espontánea (Magner, 1994; Zentella, 1996; Ruiz Herrera, 2001).

Schwann era un anatomista y fisiólogo animal que trabajó en el laboratorio Johannes Peter Müller (1801-1859) durante toda su carrera. Al fallecer Müller heredó la idea de crear una Teoría Celular. Schwann estaba convencido de que en las células debía encontrarse la información para que éstas funcionen como un todo (Zentella, 1996). La relación que entabló con Schleiden y su descubrimiento de los núcleos en las células de la notocorda en vertebrados, lo hizo percatarse de la importancia de esta estructura, vio en ella la clave para unir el mundo vegetal con el animal. Al igual que Schleiden, Schwann creía que las células poseen una independencia en cuanto a su vida pero se subordinan para funcionar como un organismo multicelular completo (Magner, 1994). El mismo Schwann dijo que el crecimiento de un organismo no se produce a partir de una fuerza inherente en él, sino de cada una de sus partes, las cuales tienen vida independiente (Duschesneau, 1987).

Entre 1838 y 1839 Schleiden y Schwann propusieron la afamada Teoría Celular, compuesta por dos postulados:

- 1) Todas las plantas y los animales están constituidos por células
- 2) Todas las células provienen de la división de otra célula.

Aunque proponían que todas las células provienen de otra célula aceptaban la teoría de agregación del *citoblastema*, al que llamaron proceso de "*intususcepción*", como mecanismo de formación de células. En esta teoría de agregación se planteaba que la formación de nuevas células dependía de la formación de núcleos en el *citoblastema*, sugirieron dos maneras de formación de núcleos: la endogénesis, cuando el núcleo se forma en el *citoblastema* interior a la célula-madre; y la exogénesis, cuando el núcleo surge de esta sustancia fuera de la célula (Duschesneau, 1987).

La teoría celular constituyó un nuevo esquema para entender la estructura, desarrollo y funciones de las plantas y los animales. El segundo postulado de la Teoría Celular quedó como se conoce actualmente: Una célula procede de otra célula hasta 1855 que los alemanes Robert Remak (1815-1865) y Rudolph Virchow (1821-1902) demostraron que la hipótesis exogénica no era válida.

Desde este momento, como lo argumenta Wilson (1925), se inició un segundo periodo de maduración de la naciente citología, de la embriología y de los estudios acerca de la herencia.

En los últimos veinticinco años del siglo XIX, los estudios acerca del segundo postulado de la teoría celular fueron exhaustivos.

Estudios sobre el proceso de división celular

Como se ha dicho el desarrollo de la biología celular está íntimamente relacionado con el avance tecnológico. La microscopía había conseguido grandes logros durante la primera mitad del siglo XIX. Se preparaban los tejidos con diferentes químicos para colorarlos y se hacían cortes pequeños, gracias a los modernos microtomos, que permitían observar estructuras subcelulares; las técnicas de tinción con colorantes naturales y artificiales permitieron tener preparaciones más detalladas; y las técnicas de inmersión para incrementar el aumento de las lentes fueron determinantes en los logros alcanzados por la biología en la última cuarta parte del siglo.

Los microscopistas alemanes Walther Flemming (1843-1905) y Eduard Strasburger (1844-1912), el primero estudioso de las células animales y el segundo de las vegetales, describieron el

comportamiento de las células durante su división, hicieron uso de los colorantes sintéticos (inventados por Perkin en 1860 aproximadamente) recién introducidos en la investigación microscópica lograron teñir el núcleo de las células para observarlo de manera muy detallada. Alrededor de 1870, Flemming describió el material que se encontraba dentro del núcleo, al que llamó cromatina (del griego *chromos*- color) por teñirse intensamente, lo describió como un cúmulo, en forma de ovillo, de cuerpos alargados en forma de hilo que son visibles sólo durante el momento de la división celular (Magner,1994; Zentella, 1996; Ruiz Herrera, 2001). La palabra cromosoma fue utilizada hasta 1888 por Heinrich Waldeyer (1836-1921), quien al usar la técnica de tinción con hematoxilina describió estos elementos (Magner,1994).

Mitosis

Strasburger publicó su trabajo *Cell-Formation and Cell-Division* en 1875, en el cual describía y explicaba el complicado proceso de división celular en plantas pero no fue tan reconocido como Flemming. En 1882 Flemming publicó su trabajo titulado *Cell substance, Nucleus and Cell Division*, en el que estableció las bases para el estudio posterior de las fases de la división celular. Se dio cuenta que durante la división celular los cromosomas se separan en cantidades iguales al final de la división, por lo que supuso que existe un paso de multiplicación del material antes del proceso de duplicación. A este proceso lo bautizó con el nombre de Mitosis, del griego hilo (Magner 1994, Ruiz Herrera, 2001).

Meiosis

En 1883, Edouard van Beneden (1846-1910) al estudiar a las células germinales: óvulos y espermatozoides, logró reconocer la individualidad de los cromosomas. Se dio cuenta que estos existen en forma de pares idénticos en un número fijo para cada especie (Ruiz Herrera, 2001). Gracias a este descubrimiento se dio cuenta que en este tipo de células las reglas de la división celular mitótica propuestas por Flemming y Strasburger no se cumplen; ya que los óvulos y espermatozoides poseen tan sólo la mitad de cromosomas. Al dividirse las células precursoras de los gametos reparten cada uno de los miembros de los pares de cromosomas a las células hijas

(que en este caso son cuatro en lugar de dos); a este fenómeno que da lugar a la reducción del número cromosómico lo denominó Meiosis.

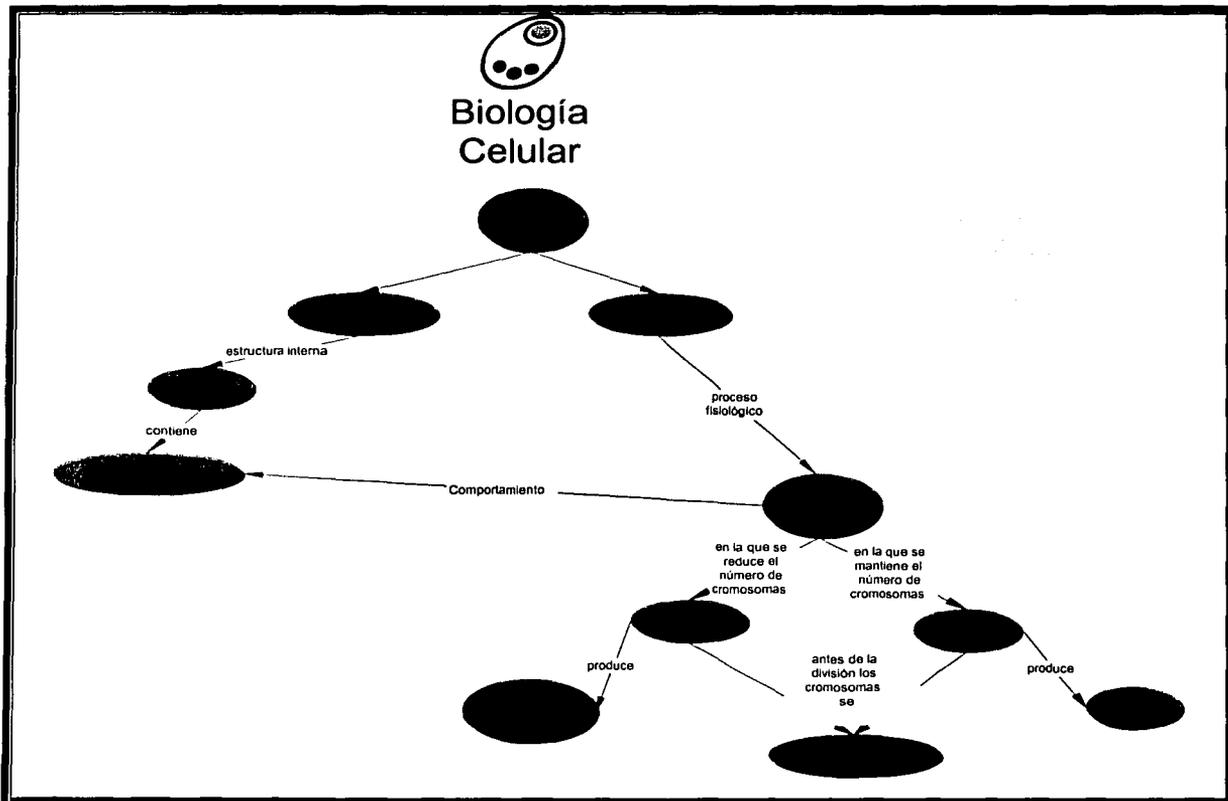
Este tipo de división celular era congruente con el fenómeno estudiado por Strasburger en el proceso de fertilización. Él había notado que el óvulo y el espermatozoide durante la fertilización reconstituyen el número cromosómico, es decir, el número de pares de cromosomas.

II.3.2 El antecedente celular para entender la herencia

Los conceptos o concepciones estructurantes que permitieron vencer el obstáculo epistemológico vitalista en relación a la organización de la vida quedan resumidos en los siguientes puntos y están representados en la figura 2.3:

- ✓ La concepción de que tanto las plantas como los animales están constituidos por células, y que tanto las células vegetales como las animales presentan una estructura llamada *núcleo*.
- ✓ La concepción de célula como la unidad fundamental de la vida, tanto *estructural* como *funcional*.
- ✓ La concepción de que las células proceden de otras células, lo que promovió que se realizaran estudios sobre el proceso de *división celular* para caracterizarlo.
- ✓ La identificación de los *cromosomas* como entidades que se encuentran en el núcleo y que sólo se hacen evidentes durante el proceso de división celular. Durante este último proceso los cromosomas se dividen y se reparten a las células que resultan de esta división por lo que proponían la idea de que necesariamente en algún momento del ciclo de vida de la célula se debía de llevar a cabo un proceso de *duplicación* de los cromosomas.
- ✓ La existencia de dos tipos de división celular, la *mitosis* y la *meiosis*.

Figura 2.3 Mapa de las concepciones estructurantes en la visión celular de la vida.



La concepción de la célula como unidad estructural y funcional de los seres vivos fue y sigue siendo fundamental en los estudios biológicos. Desde la postulación de la teoría celular la biología, disciplina recién nacida en el siglo XIX, avanzó a pasos agigantados comprometida con el paradigma celular. Como propone Gagliardi y Giordan (1986) este pasaje histórico permite ver con claridad una de las transformaciones conceptuales fundamentales que se realizó a finales del siglo XVIII y principios del XIX, el desarrollo de la idea de que todas las propiedades de un organismo están determinadas por el nivel microscópico subyacente. El obstáculo epistemológico a vencer fue descubrir las relaciones entre el nivel microscópico y el macroscópico cuestión que determinó el curso de las investigaciones posteriores.

II.4 El nacimiento de la genética

Con esta nueva visión celular acerca de la organización y naturaleza de la vida, los investigadores pusieron todo su empeño en hacer teorías que explicarían desde el nivel microscópico lo que se observaba macroscópicamente. Por esto, el final del siglo XIX está marcado por los intentos de varios autores por unificar los conocimientos recientemente adquiridos, Teoría Celular (parte de la evidencia microscópica) con Teoría Evolutiva (parte de la evidencia macroscópica) y Teoría de la Herencia (parte de la evidencia macroscópica). Para este entonces la comunidad científica ya estaba convencida de que el núcleo celular era una estructura muy diferente al citoplasma y que como lo habían supuesto Nägeli, Schwann, Schleiden ahí estaba la clave para entender los procesos de crecimiento, desarrollo y herencia.

Como ejemplo del afán por generar una teoría unificadora se tiene la Teoría de las Unidades Fisiológicas propuesta por Herbert Spencer (1863). En esta teoría se proponía que cada especie de animal y de planta está compuesta por unidades fundamentales, que son diferentes para cada especie, Spencer suponía que estos elementos debían ser más largos que las proteínas y estructuralmente más complejos que éstas, además pensaba que cualquier parte del organismo contiene los elementos fundamentales para reproducir al organismo entero (Morgan, T, 1928).

Darwin en 1868 también intentó dar una teoría explicativa de la herencia, propuso la Teoría de la Pangénesis para explicar la manera en la que se transmiten los caracteres adquiridos. En esta teoría se apelaba a diferentes partículas invisibles a las que llamó gémulas, estas partículas recorrían todo el cuerpo continuamente; aquellas gémulas que se incorporaban en las células germinales traían consigo la información hereditaria que hasta ese momento presentaba el organismo, de tal forma que cualquier cambio específico en el organismo sería transmitido a la descendencia (Morgan, 1927).

Con antecedentes de este tipo August Weismann (1834-1914) enunció los principios para generar una teoría en la que se incluyeran los estudios citológicos y hereditarios, propuso la Teoría de la Continuidad del Germoplasma y predijo, antes de que van Beneden lo descubriera, la reducción de los cromosomas durante la formación de las células germinales. La teoría acerca de la continuidad del germoplasma fue producto de la síntesis que realizó sobre las teorías de la

herencia, estructura celular, reproducción, cruces en plantas y animales, así como de sus propias observaciones experimentales. Estos conocimientos le permitieron construir la idea de que los precursores de las células germinales debían diferenciarse de las demás células muy temprano en el proceso de desarrollo del individuo, es decir, las células germinales se mantienen separadas y distintas de las otras células del cuerpo desde fases tempranas del desarrollo embrionario. Según la teoría las células del cuerpo no influyen en las germinales excepto para protegerlas y alimentarlas por lo tanto, existe una línea continua desde la célula germinal de una generación a la siguiente esto indica que un organismo está hecho de dos componentes: el germoplasma, que continua existiendo de una generación a la otra; y el somatoplasma que muere junto con el individuo.

Weismann en su teoría habló de la naturaleza de los elementos hereditarios a los que nombró *ids*. Estos elementos eran identificados de dos maneras: como pequeños cromosomas que se encontraban en gran número en las células o como grandes cromosomas conformados por diversos *ids*. Cada *id* contiene todos los elementos que son esenciales para el desarrollo de un individuo (Morgan, 1927), estas partículas se diferencian unos de otros debido a que son los representantes de individuos ancestrales o germoplasma ancestral. Weismann elaboró una teoría para explicar el desarrollo embrionario basándose en la idea de los *ids*. En ella explicaba que al dividirse el cigoto los cromosomas se separaban en elementos pequeños de manera que cada tipo de célula contendría uno de los componentes últimos de los *ids*. Entonces, en las células somáticas se tienen fragmentos de *ids*, mientras que en las células que son destinadas a ser germinales estos elementos no llegan a desintegrarse (Morgan, 1927).

Los postulados de la teoría de Weismann hacían imposible el concepto de herencia de las características adquiridas propuesta por Lamarck y apoyada por los evolucionistas de la época incluido Darwin. La herencia de características adquiridas debía eliminarse de las explicaciones hereditarias y evolucionistas, ya que bajo la propuesta de Weismann las variaciones presentes en los individuos se debían a la recombinación de *ids* provenientes de los padres. Para 1892, después de haber escrito su trabajo *The Germ-Plasm: a Theory of Heredity*, Weismann estaba convencido que las leyes de la herencia podían explicarse en términos de movimientos moleculares, como lo

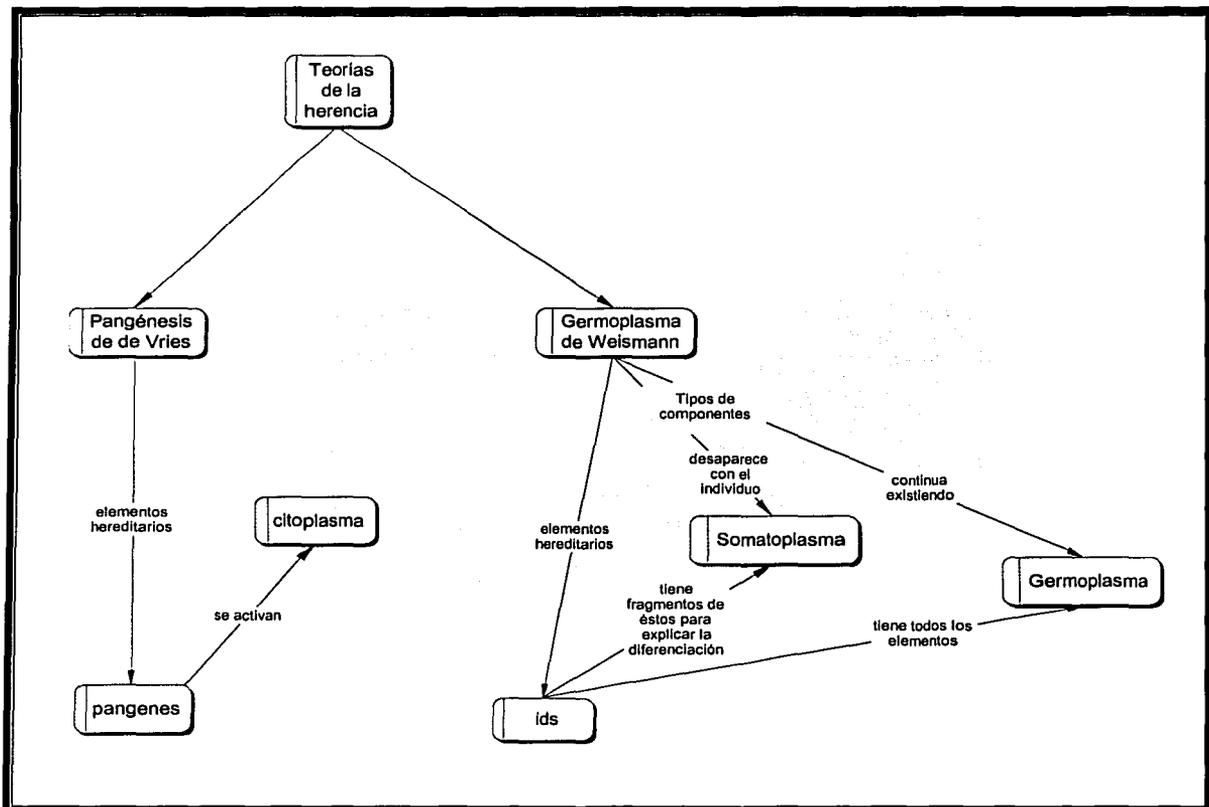
suponía la doctrina de Hermann von Helmholtz: "*todas las leyes pueden ser reducidas en su último análisis a leyes del movimiento*".

Al inicio del siglo XX, los científicos empezaban convencerse de que las partículas hereditarias estaban ubicadas en el núcleo de la célula y dedicaban mucho tiempo a estudios que los llevaran a confirmar este hecho. Por ejemplo, en 1899 en la Pangénesis Intracelular Hugo de Vries (1848-1935) sostenía que los *pangenes*, partículas de la herencia, se encontraban en el núcleo celular, probablemente en los cromosomas. De Vries pensaba que estos debían multiplicarse dentro del núcleo durante el desarrollo embrionario para después pasar al citoplasma en donde se volvían activos sin embargo, su teoría no era totalmente aceptada porque los microscopistas no habían logrado distinguir estas partículas en el citoplasma celular.

La figura 2.4 muestra como estas dos últimas teorías fueron las primeras propuestas en las que se tomaba en cuenta la concepción celular para explicar la herencia de las características de con el fin de explicar el desarrollo de los organismos.

Jean Piaget denominó esta etapa del desarrollo histórico de la genética como la *atomista* (1969). Le dio este nombre porque se pretendía explicar el fenómeno total de la herencia por elementos aislables, que en este caso eran denominados *ids* o *pangenes*. En el germoplasma encontramos un sistema de "determinantes" cuyo número no sería el mismo al de las células somáticas, ya que su función sería la de transmitir las características. En la teoría de Weismann queda claro que ni el soma ni el ambiente influyen en el proceso de la transmisión de características de progenitores a descendientes.

Figura 2.4 Mapa de las teorías hereditarias propuestas antes del redescubrimiento de las leyes de Mendel.



II.4.1 El redescubrimiento del trabajo de Mendel

La disciplina conocida como la Genética Clásica inició en el siglo XX con el redescubrimiento del trabajo de Mendel por tres botánicos: Hugo de Vries (1848- 1935), Carl Correns (1864- 1935) y Erik von Tschermak (1871-1862); así como, por la síntesis de los estudios realizados en citología, hibridología y embriología. De tal forma que los conocimientos que se produjeron en relación con la célula, la división celular, la fertilización y desarrollo embrionario conformaron la plataforma para darle sentido a los resultados obtenidos por Mendel en 1865.

Los tres investigadores redescubridores del trabajo de Mendel trabajaban en el ámbito de la hibridología. Hugo de Vries comenzó sus trabajos hibridando plantas de amapola en 1892 y para

1900 había encontrado las mismas proporciones a las que había llegado Mendel treinta años antes. Correns por su lado era estudiante de Nägeli. Él hacía cultivos de maíz y chícharo con el fin de analizar su desarrollo citológico, cuestión que le permitió reflexionar y analizar la transmisión de características de una generación a otra. Siguiendo la tradición de hibridación, realizó cruces de diferentes especies de maíz y al cuantificar las características llegó a la proporción 3:1 en el carácter diferencial de la progenie de los híbridos. Gracias a Nägeli, Correns conocía el trabajo de Mendel con *Hieracium*, pero no le era significativo porque en éste Mendel no había logrado demostrar la generalidad de sus resultados con *Pisum*. No fue sino hasta que comenzó a trabajar con las plantas de chícharo que se topó con el trabajo de Mendel de 1865 y con el de de Vries (1900) titulado "*On the law of segregation of hybrids*". Aunque reconocía la importancia del trabajo de Mendel, pensaba que éste no servía para explicar los patrones de transmisión de todos los caracteres ya que, aunque había encontrado los patrones mendelianos para algunas características se había dado cuenta que existen otros caracteres que no se comportan de acuerdo a éstos. Por este hecho pensaba que existía alguna interacción entre factores nucleares (hoy conocidos como genes) y citoplasma y que justamente esta interacción era importante para el desarrollo de los organismos.

Independientemente, Tschermak interesado en la reproducción y crecimiento de las plantas así como, en la idea de variación propuesta en el trabajo de Darwin comenzó a hacer estudios de los efectos del polen extranjero en las plantas de chícharo. Al tratar de observar y cuantificar la variación en las características (específicamente color de los cotiledones) de la progenie llegó, como sus colegas y el mismo Mendel, a la proporción 3:1. En ese momento recibió el trabajo de Vries y el de Correns titulado "*Gregor Mendel's Law*" y al igual que ellos cedió el lugar de descubridor a Mendel.

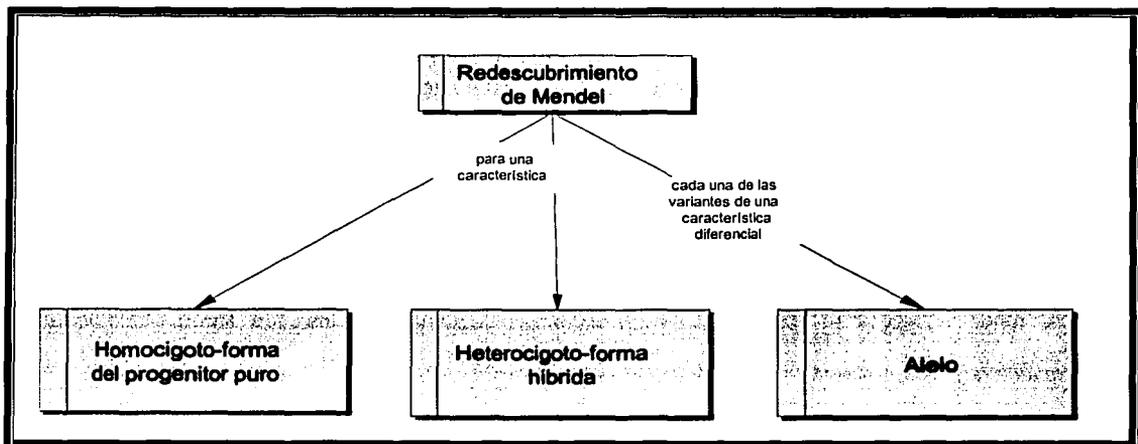
Interesado en la Teoría Evolutiva, principalmente el concepto de variación, William Bateson (1861-1926) comenzó a trabajar en un programa para analizar la relación entre características parentales y las de los descendientes por lo que conoció el trabajo de Mendel y el de de Vries. A partir de ese momento se convirtió en el mayor divulgador y defensor de las leyes de Mendel. Bateson estableció los términos: alelo, para referirse a cada una de las variantes de una

característica diferencial; cigoto a la célula fecundada; homocigoto a los organismos que para una característica diferencial, ya sea recesiva o dominante, tienen la forma del progenitor puro; y heterocigoto a los organismos que para una característica diferencial presentan la forma del progenitor híbrido.

Parece una coincidencia que después de treinta y cinco años de la publicación del trabajo de Mendel tres individuos prácticamente en el mismo momento llegaron a las mismas conclusiones que él, de hecho existían otros, como Bateson que estaban encaminados hacia el mismo rumbo experimental, probablemente su redescubrimiento ya era inevitable (Magner, 1994), en ese momento ya era posible entender la trascendencia de sus cálculos y relacionarlos con los conocimientos acerca de la naturaleza de la célula y de sus componentes subcelulares y moleculares (núcleo, cromatina, cromosomas), así como acerca de su desarrollo, cuestión que treinta y cinco años antes era imposible.

En la figura 2.5 se muestra un mapa en el que se resaltan los conceptos estructurantes que cumplieron la función de plataforma para construir el cuerpo de conocimientos genéticos. La nueva terminología propuesta por Bateson a partir del redescubrimiento del trabajo de Mendel no es sólo un cambio de nomenclatura de los conceptos propuestos por Mendel, es el establecimiento de conceptos con una definición determinada en un contexto teórico diferente (el celular) al que se tenía cuando Mendel los propuso.

Figura 2.5 Mapa de los conceptos que se establecieron después del descubrimiento del trabajo de Mendel.



II.4.2 La hipótesis de Sutton y Boveri

Los estudios más contundentes sobre el fenómeno de la herencia se realizaron en la primera década del siglo XX. Durante los primeros treinta años de este siglo el conocimiento acerca de las partículas de la herencia y de sus mecanismos hereditarios ya eran bastante sólidos. Existen cuatro personajes fundamentales en el camino inicial hacia la unificación de los estudios citológicos y hereditarios: Theodor Boveri, Walter Sutton, Nettie Stevens y Edmund Wilson. A partir de sus estudios y generalizaciones comenzó una tradición en la que los campos de investigación antes mencionados se trabajaban conjuntamente, generándose una nueva rama de estudio: la Genética, bautizada con este nombre en 1905 por Bateson.

Con el fin de demostrar que cada cromosoma contiene todos los caracteres o la información de un organismo Theodor Boveri (1862-1915) trabajó con embriones de erizos de mar. Ya se sabía, por las observaciones hechas por van Beneden, que cada especie presentaba un número constante y específico de cromosomas en el núcleo de cada célula. Con este conocimiento, Boveri realizó sus experimentos con embriones que presentaban un número anormal de cromosomas, con el fin de investigar las "propiedades fisiológicas" de los cromosomas en la formación de células germinales y en el desarrollo embrionario. En 1902 publicó sus resultados en un texto titulado: "*Multipolar mitosis as a means of análisis of the cell nucleus*" y llegó a la conclusión de que los cromosomas no funcionan equivalentemente, son diferentes unos de otros, ya que si tuvieran toda la información para un organismo la presencia de un número distinto al normal no debería alterar el desarrollo embrionario. Sin embargo, su método experimental no le permitía identificar la función de cromosomas individualmente.

Walter Sutton (1877-1916) inspirado en los experimentos de Boveri y en los resultados acerca del comportamiento de los cromosomas sexuales comenzó sus estudios con chapulines para demostrar las diferencias morfológicas en los cromosomas. Sutton era alumno de Clarence E. Mc Clung (1870-1946), pionera en los estudios sobre los cromosomas sexuales. En 1902 Mc Clug ya había sugerido la existencia de cromosomas especiales a los que llamó "*cromosomas accesorios*" responsables en la determinación del sexo. Estas ideas alentaban aquella que sugería una individualidad en los cromosomas de una célula, aunque demostrar este hecho no era sencillo.

Algunos pensaban que existía la posibilidad que entre una división celular y otra los cromosomas al pasar a un estado de "hilos" de cromatina y luego volver a su forma de cromosomas podían perder esta individualidad, es decir, que al momento de desenredarse los ovillos (cromosomas) y volverse a compactar para la siguiente división se constitulan cromosomas distintos. Pero por observaciones al microscopio, Sutton proponía que aunque la idea antes mencionada era factible la coincidencia en tamaño y forma de los cromosomas de la "serie materna" y de la "serie hija" sugerían la existencia de individuos cromosómicos morfológicamente distintos. En 1903 publicó "*The chromosomes in heredity*", ahí planteaba que la segregación de los pares de cromosomas en el proceso de la meiosis constituía la "base física de las leyes de Mendel de la herencia" y que futuras experimentaciones lo probarían.

Para 1904 ya se tenía una idea acerca de la individualidad de los cromosomas y se sugería la existencia de cromosomas causantes de la diferenciación sexual. Al utilizar las proporciones mendelianas se habían dado cuenta que la característica sexo se presentaba en una proporción 1:1 y no 1:2:1, la única manera de explicar esto era considerar que un sexo es heterocigoto y otro homocigoto.

Nettie M. Stevens (1861-1912) dedicó gran parte de su vida a la investigación de los cromosomas sexuales. Realizó su doctorado en Bryn Mawr (un colegio pequeño para mujeres) en donde Edmund B. Wilson (1856-1939) y Thomas Hunt Morgan (1866-1945) impartían cátedra; mientras era estudiante ganó una beca para hacer un estudio con Boveri en la universidad de Würzburg; gracias a estas situaciones pudo introducirse en el campo de la investigación cromosómica con los científicos de vanguardia. Trabajó con el "gusano de la comida", realizó observaciones de células somáticas de gusanos hembra y vio que en el núcleo había veinte cromosomas largos, mientras que en las células somáticas de gusanos machos se observaban sólo diecinueve cromosomas largos y uno pequeño. Pensaba que la determinación del sexo debía ser causada por esta insignificante diferencia. Para probar esta hipótesis hizo observaciones en las células germinales, en éstas vio que los espermatozoides eran de dos tipos: unos presentaban diez cromosomas largos y otros nueve largos más uno pequeño, y los óvulos en su totalidad presentaban diez cromosomas largos. Al fertilizar un óvulo con los espermatozoides de diez

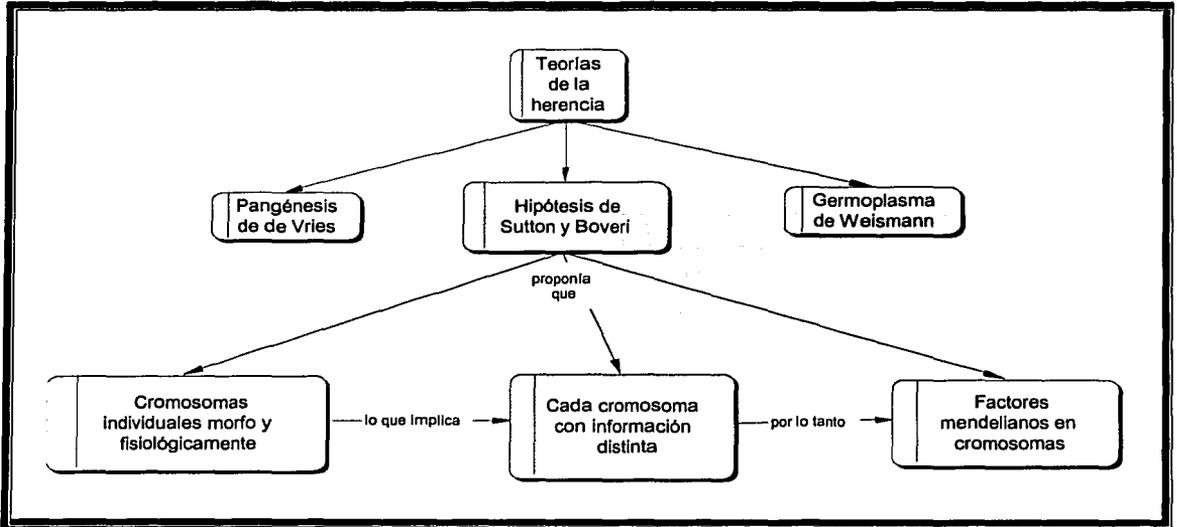
cromosomas largos se obtenían gusanos hembra y al fertilizar con espermatozoides de nueve cromosomas largos y uno corto se originaban individuos macho. Este hecho lo llevó a concluir que la diferencia morfológica de estos cromosomas, a los que denominó sexuales, son la causa de la determinación sexual (por convención al cromosoma largo se le denomina "X" y al corto "Y"). Independientemente Wilson llegó a las mismas conclusiones un poco más tarde.

Los resultados de los trabajos de estos tres investigadores, Sutton, Boveri y Stevens sugerían que los cromosomas eran individuales en el sentido morfológico y funcional. Sutton y Boveri sintetizaron estas ideas y propusieron una hipótesis que sostenía que: los "factores mendelianos" son constituyentes de los cromosomas, ya que el número de características diferenciales de un organismo es infinitamente mayor que el número de cromosomas en el núcleo celular; esto supone que los factores que se encuentran en el mismo cromosoma se heredan juntos y no independientemente como creían, Mendel y de Vries, lo que corrobora las observaciones de Correns sobre la herencia por patrones no mendelianos.

La hipótesis de Sutton y Boveri propone algunos conceptos estructurantes que fueron fundamentales en la propuesta que años después haría Thomas H. Morgan y están representados en la figura 2.6:

- ✓ Los cromosomas son individuales morfológica y funcionalmente.
- ✓ Los factores mendelianos son constituyentes de los cromosomas.
- ✓ En cada cromosoma hay información distinta, por lo tanto, hay diferentes factores mendelianos en cada cromosoma.

Figura 2.6 Mapa de las concepciones propuestas por Sutton y Boveri.



II.4.3 Teoría cromosómica: convergencia de los estudios citológicos y hereditarios

En 1905 las evidencias para aceptar la hipótesis de Sutton-Boveri eran vastas, ésta servía para explicar y predecir muchos aspectos citológicos y hereditarios, sin embargo no era reconocida por toda la comunidad científica. Para responder y demostrar en qué difieren y qué características hereditarias traen consigo los cromosomas fue necesario desarrollar otras técnicas y ver desde un punto de vista distinto al de la citología la teoría cromosómica.

E. Wilson desarrolló un trabajo experimental para probar esta hipótesis. Los resultados fueron descritos en su obra "*The cell development and heredity*", gracias a esta labor algunos científicos que se mostraban escépticos se convencieron de la Teoría Cromosómica.

Pero el trabajo que alcanzó mayor éxito y que convenció a la comunidad científica de la validez de la Teoría Cromosómica fue sin duda el de un antiguo colega de Wilson, Thomas Hunt Morgan (1866-1945). Se considera el trabajo más importante porque en él Morgan y su equipo de colaboradores lograron construir una teoría del mecanismo hereditario, en la cual los conocimientos citológicos que hasta entonces se habían generado se articulaban con los

resultados cuantitativos producto de las cruces de individuos. El resultado de esta teoría fue la síntesis de las visiones macroscópicas de la herencia con las "evidencias" microscópicas.

A pesar de que sus antecesores, Sutton, Boveri y otros investigadores, ya vislumbraban esta relación, el trabajo experimental y explicativo de Morgan y su equipo logró convencer a los biólogos de su época. Morgan sentó las bases a partir de las cuales se ha construido toda la biología contemporánea. En términos khunianos, Morgan creó un paradigma capaz de guiar las investigaciones de todo un grupo de científicos.

En la Universidad de Columbia se encontraba un laboratorio conocido como la "sala de las moscas", en éste Morgan junto con un equipo de destacados investigadores como: Alfred Sturtevant, Calvin Bridges, Herman Muller y Curt Stern demostraron la existencia de los factores mendelianos, a los que en 1909 el danés Wilhelm Johannsen denominó genes, así como su localización y ordenamiento en secuencias lineales específicas en los cromosomas.

Morgan comenzó su carrera científica en el campo de la embriología. Como muchos de sus colegas embriólogos, Morgan estaba interesado en los temas relacionados con la herencia y con la biología celular. En un inicio se negaba a aceptar la teoría cromosómica, para él la teoría cromosómica revivía el preformismo, ya que asumía que los caracteres adultos eran algo preformado en el núcleo. Años más tarde, sería precisamente Morgan quien demostraría y afianzaría la teoría, gracias al desarrollo de los conceptos de fenotipo y genotipo propuestos por Johannsen en 1909. Estos conceptos eliminaban la idea preformista en la Teoría Cromosómica, ya que se explicaba que la información incluida en el genotipo no se expresa íntegramente en el fenotipo.

Morgan fue catedrático y director del departamento de biología de Bryn Mawr, donde conoció a Wilson. En 1904, éste lo invitó a realizar experimentos zoológicos en Columbia, durante los siguientes veinticinco años trabajó en la mecánica del desarrollo embrionario y realizó estancias en diferentes laboratorios europeos. Esta experiencia le permitió conocer a Hans Dreisch, este investigador pensaba desde 1894 que el núcleo de todas las células de un organismo es equipotencial. Es decir, que en el núcleo de todas las células encontramos la misma información,

por lo que la diferenciación de los tejidos se debía a que estos núcleos variaban su actividad de acuerdo al tejido que iban a originar.

Durante su estancia en Columbia inició sus trabajos experimentales con ratones, palomas y moscas de la fruta. Finalmente en 1908 decidió iniciar sus investigaciones en el campo experimental utilizando a las moscas de la fruta, *Drosophila melanogaster*, en estos insectos encontró un sistema ideal para demostrar las relaciones entre genes, cromosomas y características, así como para utilizar la estadística de recombinación producto de las cruzas experimentales.

Primeros trabajos de Morgan

En 1910 Morgan todavía creía que los "factores mendelianos" no podían encontrarse en los cromosomas y mandó un artículo a la revista *America Naturalist* para exponer esta idea. Mientras aceptaban su artículo, continuó su trabajo con *Drosophila melanogaster* para demostrar la existencia de macromutaciones, idea derivada de la hipótesis de De Vries, quien decía que las especies se generaban por cambios drásticos o mutaciones y no de manera gradual como lo proponía Darwin. Morgan observó una mutación nueva en las moscas de la fruta a la cual denominó: "ojos blancos", por la coloración de este órgano; al ver al microscopio a los individuos con esta característica se dio cuenta que todos eran machos, así que decidió conservarlos como sementales. Al cruzar estos individuos con hembras de ojos de color normal (rojo) se dio cuenta que en la primera generación todos los descendientes presentaban el color de ojos de la madre. A la segunda cruce descubrió la presencia de moscas con la coloración blanca. La gran sorpresa fue descubrir que todos los que presentaban esta mutación eran machos. Este resultado lo llevó a pensar que la característica color de ojo estaba ligada al cromosoma X de las hembras. Entonces propuso la idea de herencia ligada al sexo.

Encontró otras características que al heredarse se comportaban de forma similar. Encontró en *Drosophila* cuatro grupos de ligamiento con cerca de 400 grupos mutantes. A uno de estos lo nombró *el grupo ligado al sexo*, porque la herencia de ciertos caracteres (como los antes mencionados) muestran una relación con el sexo de las moscas, en este grupo se encontró 150

características distintas. El segundo y tercer grupo incluían características en la forma del cuerpo, en el segundo encontró 120 características ligadas y en el tercer grupo 130. El cuarto grupo constaba de tan sólo tres características ligadas: una tiene que ver con el tamaño de los ojos; otra con el modo de cargar las alas, y una tercera característica que tiene que ver la reducción en el tamaño de los pelos del cuerpo.

Morgan explicó el método de herencia de las características ligadas en su texto de 1927 (Morgan, 1927) con el siguiente ejemplo: Un macho de *Drosophila* con cuatro características ligadas (del segundo grupo de ligamiento), cuerpo de color negro, ojos morados, alas vestigiales y una mancha en la base de las alas es cruzada con una hembra de tipo silvestre, es decir, con cuerpo gris, ojos rojos, alas largas y sin mancha en la base de alas. La descendencia de esta cruce será heterocigota y su fenotipo será como el de la madre, es decir será de tipo silvestre, ya que las características del padre son recesivas con respecto a las de la madre. Si uno de estos hijos se cruza con una hembra con características recesivas (es decir, cuerpo negro, ojos morados, alas vestigiales y mancha en la base de las alas) la descendencia de esta nueva cruce será de dos tipos solamente, la mitad tendrá las características recesivas y la otra mitad las características de tipo silvestre (Morgan, 1927). Lo cual no correspondería a las proporciones predichas por la segunda Ley de Mendel, la ley que habla sobre la distribución independiente de diferentes pares de caracteres.

Estas observaciones le hicieron revalorar las leyes de Mendel y entender la utilidad de éstas para demostrar que la existencia de patrones hereditarios "no mendelianos" no son un punto en contra de la teoría de Mendel sino, la demostración de la existencia del fenómeno de ligamento (existencia de diferentes características en un mismo cromosoma) propuesta por Bateson y Punnett en 1906 y que Sutton, Boveri, Stevens y Wilson habían deducido con sus resultados experimentales. Por ligamiento Morgan se refería a "*ciertas características que al llevarse a cabo la cruce quedan juntas, y que en generaciones posteriores tienden a estar siempre unidas, o bien ciertas características que no se segregan independientemente*" (Morgan, 1927). Esta afirmación verificada con los experimentos en mutantes de *Drosophila* comprobaban uno de los puntos propuestos en la hipótesis de Sutton y Boveri.

A partir de este momento empezaron los trabajos del conocido "Grupo Drosophila", quienes desarrollaron y postularon la Teoría del Gen.

La postulación de la Teoría del Gen

Una vez aceptados los postulados de Mendel, Morgan y su equipo reconocieron *"que la primera ley de Mendel (la que habla sobre la segregación de los factores, hoy genes) tiene una amplia aplicación en el conocimiento que hasta ese momento se había logrado construir, sin embargo la segunda (distribución independiente de los pares de caracteres) tiene una aplicación más limitada, ya que si los genes eran llevados por lo cromosomas, y estos permanecían intactos en el momento de la división meiótica, sólo podrían existir, en una cruce, tantos grupos de caracteres ligados como pares de cromosomas"* (Texto de Morgan en Barahona, 1992).

Morgan ya conocía los trabajos que F. A. Janssen (1863-1924) había realizado en 1909. Al observar el proceso de la meiosis Janssen describió un fenómeno al que denominó *"crossing over"* (entrecruzamiento). Observó que durante una fase inicial del proceso meiótico se formaban unas estructuras a las que denominó *"quiasmas"*, éstos son segmentos del cromosoma que están unidos con otro cromosoma idéntico en la misma zona. Estos segmentos cromosómicos al paso de cierto tiempo se enroscan entre ellos y aparentemente se separan del cromosoma al que pertenecen e intercambian su lugar, finalmente se reconstituyen las uniones con los cromosomas. Este fenómeno puede generar intercambios entrecruzados o recombinaciones de fragmentos de cromosomas entre los cromosomas homólogos. Janssen denominó a este fenómeno como: *"Hipótesis quiasmático"*.

Morgan seguía realizando estudios con moscas que eran mutantes para características ligadas al mismo cromosoma y se dio cuenta que no siempre se heredaban ligadas. Cuando cruzaba un macho de *Drosophila* con dos características recesivas ligadas, como alas amarillas con ojos blancos, con una hembra con el tipo silvestre, alas grises y ojos rojos, la descendencia presenta las características silvestres. Si una de las hijas se cruzaba con un macho de características recesivas se obtenían cuatro tipos de descendientes. Dos tipos con las características de los abuelos, es decir, alas amarillas y ojos blancos o bien alas grises y ojos rojos.

Estos dos tipos representaban el 99% de la población, un porcentaje mucho más alto del esperado según la segunda ley de Mendel (resultado acorde al concepto de ligamiento). Sin embargo se obtenían otros dos tipos más, que representaban el 1% de la población. Un tipo de moscas presentaba alas amarillas y ojos rojos y el otro tipo alas grises y ojos blancos. Si se hacía el mismo experimento cruzando machos con alas amarillas y ojos rojos con hembras con alas grises y ojos blancos se obtenía en la primera generación moscas con alas grises y ojos rojos. Si una de estas hembras se cruzaba con un macho con características recesivas, alas amarillas y ojos blancos, se producen cuatro tipos de moscas. El 99% serán como los abuelos, alas amarillas y ojos rojos o bien alas grises y ojos blancos; el otro 1% con características entrecruzadas tendrá alas amarillas y ojos blancos o alas grises y ojos rojos. Estos resultados mostraban que el entrecruzamiento se lleva a cabo independientemente de la combinación de las características ligadas (Morgan, 1927). Estos experimentos lo llevaron a mostrar lo que citológicamente había observado Janssen, el fenómeno de entrecruzamiento entre dos grupos ligados o cromosomas homólogos. Todos estos resultados daban cuenta de que el fenómeno de ligamiento tenía aplicaciones restringidas, ya que debido al entrecruzamiento cadenas completas de genes pasaban de un cromosoma a otro alterando las proporciones esperadas.

En 1913 Morgan y su compañero Sturtevant desarrollaron el primer mapa genético, gracias a la demostración del concepto ligamiento y al conocimiento del fenómeno de entrecruzamiento que se lleva a cabo durante la formación de los gametos (meiosis) y seguros que *"el ligamiento y el entrecruzamiento son fenómenos correlativos y pueden expresarse por leyes numéricas tan definidas como las descubiertas por Mendel"* (Texto de Morgan en Barahona, 1992). Para ellos era evidente que si *"dos pares de genes estaban cerca, la probabilidad de que ocurra un entrecruzamiento entre ellos es más pequeña que si se encuentran alejados uno de otro"* (Morgan, 1927) en el cromosoma; de tal forma que entre más alejados estén los genes en un cromosoma la probabilidad de que se entrecrucen aumenta. Utilizando estas relaciones obtuvieron información acerca de la distancia a la cual dos genes ligados al mismo cromosoma se encuentran. Con esto se demostró que los factores mendelianos tienen una base material y se pueden encontrar en posiciones específicas dentro del cromosoma, posiciones a las que se denominó *locus*.

Las demostraciones hasta ese momento logradas por el grupo de Morgan representaban la convergencia de dos líneas de investigación: las citológicas y las hereditarias (legado de los métodos utilizados por los hibridólogos) y fueron expuestas en el texto de 1915 "*The Mechanism of Mendelian Heredity*".

El mecanismo de la herencia mendeliana (1915)

En este texto Morgan unificó los conocimientos derivados de los resultados numéricos obtenidos de los experimentos de cruzas con el conocimiento generado en el campo de la biología celular. Retomó los descubrimientos alcanzados en los últimos años del siglo XIX y los primeros del siglo XX acerca de los cambios que se llevan a cabo durante las fases finales de la maduración de las células germinales y vio que estos resultados revelaban una serie de eventos que proporcionaban una base citológica al mecanismo de la herencia. Uno de los hechos mejor establecidos en la biología había sido la demostración de que en las células somáticas y en las germinales en sus primeros estadios se presenta un juego doble de cromosomas. Cada célula del cuerpo posee dos cromosomas de cada tipo mientras que las células germinales después del proceso de maduración presentan un solo juego. Lo que demostraba que al momento de la fertilización un juego de cromosomas es proporcionado por el padre y el otro por la madre. La única excepción a la dualidad cromosómica son los cromosomas sexuales, ya que para un sexo se presenta un par de cromosomas idénticos mientras que para el otro sexo se presenta un par de cromosomas que difieren en su forma.

El mecanismo de las dos leyes de Mendel

El estudio profundo del proceso de maduración de las células germinales (meiosis) demostró que el comportamiento de los cromosomas es paralelo a lo propuesto por la primera ley de Mendel. Durante estas etapas cada par de cromosomas, uno paterno y uno materno, se separan. De tal forma que las células germinales resultantes contienen sólo un cromosoma de cada tipo. Si se sustituyeran los factores mendelianos por los cromosomas las proporciones predichas por Mendel para la segregación independiente de los factores se cumplirían. Durante el proceso de

maduración la célula sufre dos divisiones; durante la primera división se lleva a cabo una reducción, los pares de cromosomas se separan y quedan dos células hijas con tan sólo un juego de cromosomas, en este juego pueden quedar representantes maternos y paternos no hay separación de los cromosomas dependiendo de su origen, por lo tanto en la división reductiva cada miembro del par cromosómico se distribuye de manera aleatoria; la segunda división es equitativa, los cromosomas se separan a lo largo de su estructura de tal forma que las células hijas resultantes presentan, ambas, el mismo juego (número) cromosómico. Esta evidencia es congruente con la segunda ley de Mendel, si se piensa en términos de la distribución de los grupos de ligamiento (cromosomas).

El número de grupos de ligamiento y el número de pares de cromosomas

Los genetistas demostraron que la herencia de los elementos se da en grupos de ligamiento y que estos grupos, en la mayoría de los casos, presentan un número definido. Por ejemplo en la mosca de la fruta Morgan descubrió cuatro grupos de ligamiento y coincidentemente en las células de esta mosca encontró cuatro pares de cromosomas; en el chícharo se observaron siete pares de cromosomas y siete grupos de ligamiento, Punnett propuso que probablemente las siete características independientes, propuestas por Mendel, se encuentran en cada uno de los grupos (cromosomas). Esto demuestra que el número de grupos de ligamiento y el número de pares de cromosomas son correspondientes.

El mecanismo de entrecruzamiento

La evidencia hasta aquí registrada demostraba que los cromosomas son los portadores de los genes. Los genes se intercambian o entrecruzan entre miembros del mismo par cromosómico a través del mecanismo conocido como entrecruzamiento. Antes de que se descubriera este mecanismo, el proceso de conjugación de los cromosomas era bien conocido así como el de la reducción del número cromosómico en la maduración de las células germinales. Se sabía que durante la conjugación miembros del mismo par cromosómico se combinaban lo que indicaba que la conjugación no es un fenómeno al azar. Es importante destacar que los cromosomas homólogos

se conjugan porque son representantes del mismo tipo cromosómico no porque provienen del lado materno y paterno. La evidencia citológica de la conjugación era un primer paso para hacer una explicación mecánica de cómo puede llevarse a cabo el entrecruzamiento. De hecho Janssen hizo observaciones profundas durante la fase de conjugación de los cromosomas y propuso su hipótesis quiasmático. Aunque la hipótesis es congruente con los resultados obtenidos en las cruces era difícil demostrar que en efecto durante esta etapa de conjugación en la que los cromosomas se entrelazan se lleva a cabo el proceso de intercambio de los fragmentos cromosómicos (Morgan, 1927).

Después de la publicación de *El mecanismo de la herencia Mendeliana* (1915) la actividad en la "sala de las moscas" fue muy intensa, muchos fueron los descubrimientos de Morgan y cada uno de los miembros del equipo. En 1919 Morgan y su grupo publicaron un libro que explicaba los descubrimientos que había alcanzado la Genética en los últimos veinte años y lo denominaron "*The physical basis of heredity*". En ese mismo año Bridges, integrante del equipo de Morgan, descubrió el proceso de duplicación cromosómica en *Drosophila*, hecho fundamental para dejar claro en que momento se lleva a cabo el proceso de la replicación que Flemming y Strasburger habían deducido al describir la mitosis. Siete años después Morgan publica "*The Theory of the Gene*" que resume el desarrollo de la genética desde el redescubrimiento de las Leyes de Mendel. En este libro se rebautiza a la Teoría Cromosómica como la Teoría del Gen.

La teoría plantea que: "*Las características de un individuo se deben a pares de elementos (genes) en el material germinal que se mantienen juntos en un número definido de grupos de ligamiento (cromosomas); establece que los miembros de cada par de genes se separan durante la maduración de las células germinales de acuerdo con la primera ley de Mendel, y en consecuencia cada célula germinal contiene sólo un juego de estos genes; indica que cada miembro perteneciente a grupos de ligamiento distintos se segrega independientemente de acuerdo a la segunda ley de Mendel; expresa que un intercambio ordenado -entrecruzamiento- se lleva a cabo en algún momento, entre los elementos de un grupo de ligamiento correspondiente; y plantea que*

la frecuencia del entrecruzamiento proporciona evidencia de un orden lineal de los elementos con respecto a cada uno de ellos" (Morgan, 1927).

II.4.4 La herencia desde la visión de la genética

La teoría propuesta por Morgan se resume en cinco postulados o principios fundamentales, la existencia: de genes distintos en los cromosomas; de la segregación; de ligamiento o grupos de genes de un mismo cromosoma; del proceso de entrecruzamiento; y de un orden lineal de estos genes.

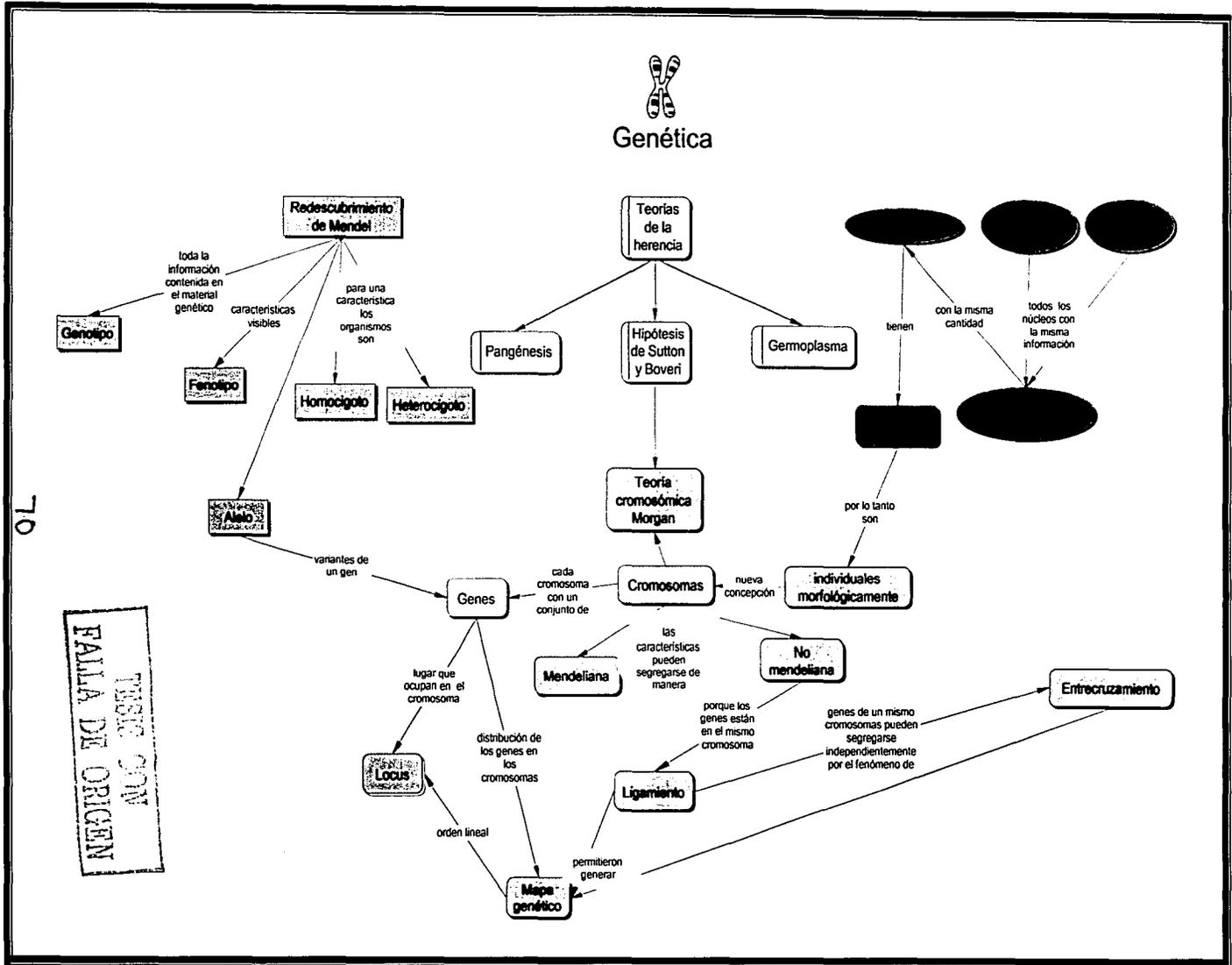
La nociones que fueron fundamentales en la instauración de la nueva teoría interpretativa y que se consideran como conceptos estructurantes ya que son parte fundamental del nuevo paradigma quedan resumidos en los siguientes puntos y están representados en la figura 2.7.:

- ✓ Las células somáticas y las germinales (en sus primeros estadios) tienen un juego doble de cromosomas. La única excepción a la dualidad son los cromosomas sexuales. (Conocimiento heredado de la investigación en biología celular)
- ✓ Las células germinales después de su maduración presentan un solo juego de cromosomas (Conocimiento heredado de la investigación en biología celular)
- ✓ En el proceso de fertilización un juego de cromosomas es proporcionado uno por la madre y otro por el padre (Conocimiento predicho por Mendel y observado por los citólogos)
- ✓ Durante el proceso de la meiosis, entre los cromosomas homólogos, se lleva a cabo un proceso de entrecruzamiento.
- ✓ Los cromosomas son individuales morfológicamente (Conocimiento heredado de los primeros estudios citológicos de la herencia)
- ✓ Las leyes de Mendel se cumplen cuando observamos la segregación de los cromosomas durante el proceso de la meiosis.
- ✓ Los genes se encuentran en los cromosomas y son las estructuras portadoras de la información hereditaria. Por lo tanto en cada cromosoma encontramos genes distintos.
- ✓ Los genes tienen una ubicación determinada en los cromosomas. El lugar que ocupan dentro de éste es conocido como locus.

- ✓ Los genes que se encuentran en un mismo cromosoma se heredan juntos. A los genes de un mismo cromosoma se le conoce como grupo de ligamiento. De ahí que la herencia de los genes que están en un mismo cromosoma no sigan los patrones mendelianos.

En 1930 Morgan recibió el Premio Nobel en Medicina por el desarrollo de la Teoría del Gen, primer premio para un investigador de la nueva disciplina del siglo XX: la Genética. Esta nueva disciplina conocida hoy como la Genética Clásica se encargó de responder a la pregunta de ¿cómo se transmiten los genes?, y su momento cúlpe fue la premiación de Morgan por sus trabajos de 1915; la Genética Moderna se fundó en el momento en que la pregunta a responder fue ¿cómo operan los genes?

Figura 2.7 Mapa de los conceptos estructurantes de la teoría cromosómica.



II.5 Análisis de la construcción de la genética

Como se ha descrito a lo largo de este capítulo la genética es una ciencia que surge de la convergencia de dos disciplinas. La evolución de las ideas sobre los mecanismos hereditarios sigue una línea (no recta) que va desde la concepción celular de la vida, la ubicación del posible material hereditario y sus mecanismos de transmisión hasta la postulación de una teoría que marcó el inicio del paradigma genético.

El primer obstáculo a vencer en esta empresa fue la visión vitalista (tabla 2.1). Dentro de esta perspectiva era inconcebible buscar unidades fundamentales de la vida regidas por las mismas leyes de la materia inorgánica. Los estudios microscópicos de los organismos vivos mostraban la existencia de estructuras, a las que llamaron células, que constituían a todos los seres vivos. Estas células poseían estructuras internas determinadas y tenían comportamientos característicos, por ejemplo al momento de reproducirse. Los intensos y variados estudios que se hicieron acerca de la estructura y función de la célula propiciaron un cambio de enfoque acerca de la naturaleza y organización de la vida. La concepción de la célula como la unidad estructural, funcional y de origen de los seres vivos promovió la superación del primer gran obstáculo en las ciencias de la vida. Se pasó de una postura vitalista de la vida a una mecanicista. Finalmente se proponía que los organismos respondían a las mismas leyes (físicoquímicas, mecánicas, entre otras) que rigen el mundo de lo no vivo.

Esta nueva concepción de la organización de la vida marcó una tendencia en las investigaciones posteriores. En ese momento el segundo obstáculo a vencer era el explicar las propiedades macroscópicas de los seres vivos a partir de sus propiedades microscópicas, al que se denominará obstáculo por los niveles de organización (tabla 2.1).

En esta tarea de encontrar las explicaciones del mundo macroscópico a partir del microscópico surgieron las primeras teorías que trataban de explicar el fenómeno de la herencia, lo que podría denominarse la fase preparadigmática de la genética. Aunque no es la única, como se observó en el capítulo, la más destacada por el alcance de su explicación fue la de Weismann. Él propuso una separación radical entre el plasma germinal, que sigue existiendo a lo largo de las generaciones porque se transmite de progenitores a descendientes, y el plasma somático que

desaparece junto con el individuo. Weismann propuso una entidad material portadora de las características hereditarias. Su teoría explicaba no sólo el proceso de transmisión sino también el proceso de diferenciación celular. Sin embargo, su teoría presentaba un obstáculo epistemológico denominado obstáculo relacionado con la percepción (obstáculo definido por Fillon, 1997) (tabla 2.1). Si bien ya tomaba en cuenta algunos conceptos nacidos en el seno de la biología celular y la evolución, era inconsistente con las observaciones hechas en el ámbito de la citología, por ejemplo en el proceso de reproducción celular.

Como se mencionó antes, a esta etapa de la evolución de la genética Piaget, (1969) la denominó atomista. Esta visión fue reforzada con el redescubrimiento de las leyes de Mendel y por la concepción de "gen" como una partícula ubicada en los cromosomas. Como lo expresa Piaget (1969), *el carácter binomial de la ley de distribución de Mendel, la estructura discontinua de las figuras (cromosomas) que se distribuyen en el espacio en el transcurso de la mitosis y la meiosis,....., parecía conducir a esta visión atomística de las cosas, que durante mucho tiempo dominó todas las interpretaciones del sistema genético.*

La postulación de la teoría del gen de Morgan marca el inicio de la fase de paradigma de la genética. La comunidad científica se comprometió con esta teoría y comenzó a construir el conjunto de conocimientos genéticos. Los conceptos utilizados para expresar esta teoría —división celular: mitosis y meiosis, cromosoma, gen, alelo, fenotipo, genotipo, células germinales, células somáticas, etc.- si bien ya habían sido utilizados por otros investigadores previos a Morgan, adquirieron nuevos significados dentro de la teoría de Morgan. El obstáculo que se venció en esta etapa del desarrollo de la genética es denominado de lenguaje (tabla 2.1), ya que se redefinieron los conceptos utilizados en la teoría para darle coherencia a ésta.

Los trabajos realizados por los investigadores genéticos posteriores a Morgan han puesto en evidencia que la genética según la cual cada gen determina una característica (visión atomista) no responde a lo que han encontrado. Gracias a los estudios moleculares del material genético se sabe que éste es un sistema que opera en conjunto. En el sistema genético se encuentran genes que producen proteínas involucradas en los procesos de regulación de otros genes, de reproducción del material genético; así mismo existen proteínas que son codificadas por más de un

gen. Esta evidencia ha sido fundamental para vencer el obstáculo atomista (tabla 2.1) y pasar a una visión o a una etapa de la construcción de la genética que Piaget (1969) ha denominado *totalidad relacional*. En esta se concibe que el material genético funciona como un sistema, es decir, como un conjunto de elementos independientes que trabajan al unísono.

En la tabla 2.1 quedan resumidos los obstáculos epistemológicos que se presentaron a lo largo de la génesis de esta disciplina.

Tabla 2.1 Obstáculos epistemológicos encontrados al analizar la construcción de la genética

Temática	Obstáculos epistemológicos
Célula	<p><i>Obstáculo vitalista</i> La concepción de la existencia de un principio vital en la organización de los seres vivos impedía buscar unidades fundamentales de la vida que estuvieran regidas bajo las mismas leyes de la materia no viva.</p>
	<p><i>Obstáculo por niveles de organización</i> Si las células son la unidad estructural, funcional y de origen de los seres vivos, entonces el nivel macroscópico debe ser explicado a partir del nivel microscópico, es decir, las propiedades macroscópicas de un organismo están determinadas por las propiedades del nivel microscópico subyacente.</p>
Genética	<p><i>Obstáculo de percepción</i> La explicación al fenómeno de la herencia y de diferenciación de los tejidos de Weismann, si bien tomaba en consideración el conocimiento generado en la citología, tuvo como elemento fundamental la evidencia que tenía del nivel macroscópico.</p>
	<p><i>Obstáculo atomista</i> El fenómeno de la herencia era explicado por la acción de elementos aislables, estos determinan directamente las características de los organismos.</p>
	<p><i>Obstáculo de lenguaje</i> Los conceptos creados en diferentes disciplinas se redefinieron para darle coherencia a la teoría propuesta por Morgan.</p>

III. Análisis de las Ideas Previas en Genética

En las últimas tres décadas la investigación en enseñanza de la ciencia ha mostrado que en el proceso de aprendizaje, las representaciones e interpretaciones que hacen los estudiantes de los fenómenos naturales que perciben y de los conceptos científicos que se les enseñan tienen un papel fundamental (Flores et al; 2001). Estas representaciones son construcciones cognitivas de los estudiantes que les permiten interpretar y entender los fenómenos naturales porque son necesarios para la vida cotidiana o bien para demostrar cierta comprensión de éstos ante otros sujetos.

Estas representaciones han sido denominadas de muy diversas maneras, por ejemplo: "ideas previas", "preconceptos", "concepciones alternativas", "errores conceptuales" (*misconceptions*), entre otras. Las distintas denominaciones están relacionadas con los diferentes enfoques de los investigadores. En este trabajo se denominarán como "Ideas previas", ya que este término las describe como concepciones que el individuo elabora antes de ser transformadas por algún proceso educativo, como por ejemplo las estrategias de enseñanza para el cambio conceptual.

III.1 Características y origen de las Ideas previas

Como ideas previas entendemos construcciones personales de los sujetos, elaboradas de modo más o menos espontáneo en su interacción cotidiana con el mundo y por la influencia escolar. Estas ideas pueden ser incoherentes desde el punto de vista científico aunque no para el sujeto; son bastante estables y resistentes al cambio, ya que logran dar explicaciones satisfactorias de los fenómenos naturales al individuo que las genera (Pozo et al, 1991). Las ideas previas ocurren sin importar factores como la edad, género, habilidad y cultura (Wandersee et al, 1994). Además, las ideas previas son compartidas por personas de muy diversas características, y pueden incluso aparecer en los alumnos ideas similares a las elaboradas por los filósofos y científicos eminentes de tiempos pasados (Pozo et al, 1991; Wandersee et al, 1994).

Existen algunas explicaciones que ayudan a comprender el origen de las ideas previas de los sujetos. Una de ellas está relacionada con la necesidad que tienen los individuos de contar con interpretaciones que les permitan entender los fenómenos naturales con los que se enfrentan cotidianamente, y mediante las cuales pueden explicarlos y predecirlos. El origen de las ideas previas según Pozo (1991) puede ser de tres tipos:

- **Sensorial:** estas ideas se forman en el intento de dar significado a las actividades cotidianas, mediante el uso de reglas de inferencia causal directa -inferencias simples que implican una premisa y una conclusión (Flores et al; 2000)- aplicadas a los datos recogidos mediante procesos sensoriales y perceptivos.
- **Cultural:** las ideas originadas desde este ámbito son producto de la asimilación del individuo de un conjunto de creencias compartidas por los grupos sociales. Este bagaje cultural está formado por fragmentos, a veces, poco coherentes e incluso contradictorios de distintas informaciones que requieren de criterios para ser controlados y evaluados.
- **Escolar:** estas ideas tienen su origen en la enseñanza. Pueden deberse a que los alumnos hacen presentaciones deformadas o simplificaciones de ciertos aspectos teóricos que conducen a una comprensión errónea, desviada de la ciencia aceptada, que no es más que reflejo de la información o interpretación recibida. Estas ideas pueden ser el reflejo de errores didácticos. Lo que indica que la instrucción está provocando una incompreensión de la propia naturaleza del discurso científico al confundirlo y mezclarlo con conocimiento sensorial y cultural.

Según su origen Pozo (1991) denomina las ideas previas de la siguiente manera:

- **Concepciones espontáneas:** aquellas que tienen un origen sensorial.
- **Concepciones sociales:** las que tienen un origen cultural.
- **Concepciones analógicas:** las que tienen un origen escolar.

Aunque esta clasificación de los orígenes de las ideas previas resulta muy explicativa, la construcción de las explicaciones de la naturaleza por parte de los alumnos son producto de la mezcla de los tres orígenes, ya que la percepción que tienen los individuos de la realidad depende de muchos factores, empezando por la experiencia y percepción individual hasta el lenguaje y conocimiento cultural transmitido por la sociedad.

III.2 Ideas Previas en Genética y Reproducción Celular

En los últimos años se han realizado diversas investigaciones para conocer las ideas previas que tienen los alumnos en bachillerato en varios países del mundo sobre la naturaleza del material genético, así como de la transmisión de la información hereditaria a través de los procesos de reproducción sexual y asexual (mitosis y meiosis). La gran diversidad de estudios que se presentan alrededor de estos temas se fundamentan en los argumentos de algunas publicaciones (Johnstone & Mahmoud, 1980; Finley et al; 1982; Kindfield, 1994) que indican que los tópicos que integran el cuerpo de conocimientos de la Genética siempre resultan ser de los más complicados para enseñar, según los profesores, y de los más difíciles para aprender, según los estudiantes. Por otra parte se ha reconocido que los conceptos genéticos son la base para la comprensión de la evolución y por lo tanto de la propia biología (Smith & Sims, 1992). Para entender las posibles causas del problema de la enseñanza-aprendizaje de la Genética, en este trabajo se hace un análisis de las ideas previas reportadas por diferentes autores con el fin de proponer el posible esquema conceptual que albergan y los obstáculos epistemológicos que probablemente impiden la construcción de esquemas más aproximados a los científicos, ya que se parte de la hipótesis de que estos esquemas alternativos impiden un aprendizaje significativo de los conceptos y procesos que integran el cuerpo de conocimientos que conforman a la genética.

III.3 Categorización de las Ideas Previas

Al hacer un análisis general del universo de ideas previas alrededor del tema de Genética se observó que éstas pueden ser divididas en dos grandes grupos según su origen ontológico, es decir, según el esquema conceptual al que pertenecen. En el primer grupo (A) se encuentran

todas aquellas ideas que están relacionadas con la constitución del material genético; en este grupo se hallan las ideas que reflejan las concepciones de los estudiantes acerca de la parte estructural de los elementos que componen al material genético: cromosomas, genes, alelos, ADN, así como de las relaciones entre cada uno de estos componentes y su función. En el segundo grupo (B) se localizan aquellas ideas que están relacionadas con los procesos de transmisión de la información genética, ya sea macroscópicamente de progenitores a hijos, o microscópicamente de célula a célula.

Cada agrupación de las ideas de los estudiantes fue analizada y organizada tomando en cuenta lo que cada una de las ideas previas (reportadas en los trabajos de investigación consultados) expresa sobre un fenómeno en particular. Las ideas previas de los estudiantes se fueron agrupando hasta llegar a una posible interpretación de un conjunto de ideas que reflejaran el o los esquemas que exhiben los alumnos sobre un grupo de fenómenos o sobre la disciplina en general.

La clasificación de las ideas previas que se explica a continuación tiene su origen en el trabajo de Gilbert y Watts (1983), con algunas modificaciones hechas por Flores, López y Gallegos (2001). Estos autores proponen un análisis que no parte de las elucidaciones hechas por los investigadores sino por las ideas previas enunciadas por los alumnos, con el fin de describir los elementos de interpretación que presentan los estudiantes.

Esta clasificación está organizada en tres niveles que agrupan conjuntos de ideas previas:

- 1^{er}. Nivel **CONCEPCIÓN**: éste implica una primera agrupación de ideas previas con el mismo significado en cuanto a que son expresiones similares acerca de un fenómeno, ya sea en términos explicativos o descriptivos; en este nivel el investigador no hace interpretación alguna de las ideas.
- 2^o. Nivel **CATEGORÍA**: en éste se agrupan concepciones que se refieren a un campo más amplio de explicación; es en este nivel que el investigador comienza a hacer inferencias e interpretaciones acerca de las ideas.
- 3^{er}. Nivel **MARCO**: es la síntesis más alta que el investigador puede hacer con las ideas de los alumnos; en este nivel se agrupan categorías con la finalidad de dar

cuenta del posible esquema interpretativo que se presenta sobre un conjunto amplio de fenómenos y sus explicaciones.

El resultado del análisis de las ideas previas reportadas en la bibliografía en genética está resumido en la tabla 3.1. En esta tabla se muestra, para cada grupo de ideas, el trabajo de categorización realizado; indicando las ideas previas (se especifica la fuente de la que se obtuvieron) y las concepciones en las que éstas pueden ser agrupadas, así como las categorías inferidas a partir de estas concepciones para finalmente proponer el marco que expresa un posible esquema de interpretación.

Tabla 3.1. Categorización de las ideas previas encontradas en la bibliografía en el tema de genética.

Grupos	Marco	Categoría	Concepciones	Ideas Previas
<p>A) Constitución del material genético</p>	<p>M1. Visión no integral de la relación estructura-función del material genético</p>	<p>C1. Se tiene una visión parcial de la naturaleza del material genético, sólo se considera su estructura; se infiere que todos los elementos que forman parte del material genético están relacionados entre sí sin tomar en cuenta su papel fisiológico.</p>	<p>c1. La estructura del cromosoma depende de su número.</p>	<p>*La estructura del cromosoma es algo que está en función del número o ploidía. Por ejemplo, los cromosomas que consisten en una sola cadena doble de ADN (no replicados) son el tipo de cromosomas que están presentes en células haploides; y los que consisten en dos cadenas dobles de moléculas de ADN o cromátidas (replicados) son el tipo de cromosomas que están presentes en las células diploides (Kindfield, 1991).</p> <p>*Una célula cambia de haploide a diploide cuando dos cromosomas haploides se unen para generar la forma en "X" típica que se presenta durante la fertilización (Kindfield, 1991).</p>
			<p>c2. Las estructuras genéticas están relacionadas entre sí, sin embargo no hay distinción entre sus diferencias ni en los niveles de organización</p>	<p>*Un cromosoma con dos moléculas de DNA (replicado) puede contener dos diferentes alelos para el mismo gen (Kindfield, 1991).</p> <p>*Los alelos provenientes de cada padre forman al gen (Stewart & Dale, 1989).</p> <p>*Los genes y alelos son lo mismo (Pashley, 1994).</p> <p>*Los cromosomas hacen el ADN (Wood-Robinson, Lewis & Leach, 2000).</p> <p>*En una célula fecundada, los genes y la información genética podrían ser diferentes porque es un nuevo individuo que viene de un óvulo y un espermatozoide distinto (Wood-Robinson, Lewis & Leach, 2000).</p> <p>*Los cromosomas llevan genes y están en las células (Liberatore & Sichafer, 1994).</p>
			<p>c3. Las estructuras genéticas: genes, ADN, se pueden encontrar en cualquier parte de la célula o del organismo.</p>	<p>*El ADN es una proteína, de ahí que haya proteínas en todas las células (Dreyfus & Jungwirth, 1988).</p> <p>*La información hereditaria está en las células sexuales y en el cerebro; en este último porque ahí se desarrolla toda la información (Banet & Ayuso, 1995).</p> <p>*Los genes se encuentran en todas partes (Lewis & Wood-Robinson, 2000).</p> <p>*Los genes se encuentran en las células (Lewis & Wood-Robinson, 2000).</p>

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

		<p>c4. Existen estructuras, células, núcleos, cromosomas, genes, que son como contenedores de la información de las características de un organismo o de una célula.</p>	<p>*Las características están en los cromosomas (Stewart & Dale, 1989).</p> <p>*La información concerniente a las funciones de la célula está en el núcleo y se transmite completamente en cantidades iguales a las células hijas (Dreyfus, Jungwirth, 1988).</p> <p>*Los cromosomas contienen a los genes, esto es importante porque define como es la gente, por ejemplo: color de ojos, color de pelo, y cosas como esas (Wood-Robinson, Lewis & Leach, 2000).</p> <p>*El ADN rodea a los genes (Wood-Robinson, Lewis & Leach, 2000).</p> <p>*El ADN es la escalera en la cual todo está almacenado (Wood-Robinson, Lewis & Leach, 2000).</p> <p>*La información hereditaria es la información que llevan los genes (Banet & Ayuso, 1995).</p> <p>*La información genética es la información que está almacenada de manera inespecífica o como código (Lewis & Wood-Robinson, 2000).</p>
--	--	--	---

Tabla 3.1. Categorización de las ideas previas encontradas en la bibliografía en el tema de genética.

	<p>C2 Se desconoce el proceso por medio del cual se expresan los genes, por lo tanto se recurre a visiones deterministas.</p>	<p>C5. Existen estructuras genéticas, genes, cromosomas, o información que determinan cómo será un individuo.</p>	<p>*Un gene es sólo una posición en el cromosoma que codifica diferentes características, como color de ojos, pelo, tamaño y contiene varias proteínas (Longden, 1982; Kindfield, 1991).</p> <p>*Los cromosomas contienen a los genes, esto es importante porque define como es la gente, por ejemplo: color de ojos, color de pelo y cosas como esas (Wood-Robinson, Lewis & Leach, 2000).</p> <p>*Los cromosomas deciden como será la textura de tu piel, de que color serán tus ojos, el color de pelo y cosas como esas (Wood-Robinson, Lewis & Leach, 2000).</p> <p>*Los genes determinan como eres, que personalidad tienes y los obtienes tanto de tu padre como de tu madre (Wood-Robinson, Lewis & Leach, 2000).</p> <p>*Durante la fecundación, el espermatozoide llega al núcleo, por lo tanto carga mucha información diferente como: el color de pelo, de ojos y otras que proveerá a la siguiente generación (Wood-Robinson, Lewis & Leach, 2000).</p> <p>*La información genética es la información que da instrucciones para controlar a la célula o para la determinación de características (Wood-Robinson, Lewis & Leach, 2000).</p>
--	---	---	---

Tabla 3.1. Categorización de las ideas previas encontradas en la bibliografía en el tema de genética.

				<p>c6. Existen cromosomas masculinos y femeninos; los masculinos se encuentran en los descendientes machos y los femeninos en las hembras.</p>	<p>*La información genética de un hombre y una mujer ha tenido que ser diferente, porque si fuera la misma una mujer podría lucir como un hombre (Wood-Robinson, Lewis & Leach, 2000).</p> <p>*Existen cromosomas machos y cromosomas hembra, los machos van hacia los espermatozoides y las hembras van al óvulo (Wood-Robinson, Lewis & Leach, 2000).</p> <p>*Todos los cromosomas masculinos irán al espermatozoide, la información genética será la misma que la del padre (Wood-Robinson, Lewis & Leach, 2000).</p> <p>*Los óvulos podrán presentar siempre la misma información y en los espermatozoides puede cambiar, porque las hembras sólo tienen cromosomas X y los machos X y Y (Lewis & Wood-Robinson, 2000).</p>
				<p>c7. Las estructuras genéticas, genes, son importantes porque transfieren información.</p>	<p>*Los genes son importantes porque transfieren información (Lewis & Wood-Robinson, 2000).</p>
<p>A) Transmisión de la información</p>	<p>a) Transmisión de la información de progenitor a hijo</p>	<p>M2. Se considera que la información genética se transmite de individuo a individuo, a través de la reproducción sexual por lo tanto las células germinales son las únicas que poseen la información sobre las características que presentará el individuo.</p>	<p>C3 Las células germinales tienen la información para desarrollar un organismo. Son responsables de la transmisión de la información genética de progenitor a descendiente.</p>	<p>c8. Los hijos se parecen a los padres dependiendo de la información que estos le transmiten.</p>	<p>*La información hereditaria es todo lo que se transmite de padres a hijos (Banet & Ayuso, 1995).</p> <p>*Los hijos se parecerán al padre o a la madre dependiendo de la cantidad de información que dé cada uno de ellos (Banet & Ayuso, 1995).</p> <p>*Los hijos pueden presentar características que no tienen sus padres porque sus antepasados las tenían (Banet & Ayuso, 1995).</p> <p>*Si una mutación afecta células somáticas de un organismo entonces su descendencia podrá nacer con ella (Banet & Ayuso, 1995).</p>

Tabla 3.1. Categorización de las ideas previas encontradas en la bibliografía en el tema de genética.

<p>c9. Los genes sólo se encuentran en las células sexuales.</p>	<p>*Los genes se encuentran en los aparatos sexuales: espermatozoides y óvulos (Banet & Ayuso, 1995).</p> <p>*La información hereditaria está en las células sexuales y en el cerebro; en este último porque ahí se desarrolla toda la información (Banet & Ayuso, 1995).</p> <p>*Los cromosomas sexuales están en las células sexuales y éstas sólo poseen cromosomas sexuales (Banet & Ayuso, 1995).</p> <p>*Los genes se encuentran solamente en áreas específicas, por ejemplo el sistema reproductivo (Lewis & Wood-Robinson, 2000).</p>
<p>c10. Cada célula germinal de un mismo individuo tiene información genética distinta, sino los hijos serían idénticos.</p>	<p>*Los espermatozoides tienen diferentes genes y diferente información genética (Wood-Robinson, Lewis & Leach, 2000).</p> <p>*La información genética en los óvulos debe ser distinta, porque si no serías exactamente igual a tu hermano (Wood-Robinson, Lewis & Leach, 2000).</p>
<p>c11. Las células germinales de un mismo organismo tienen la misma información genética.</p>	<p>*Todas las células espermáticas del mismo animal tienen los mismos genes y la misma información genética (Wood-Robinson, Lewis & Leach, 2000).</p> <p>*Óvulos diferentes de una misma hembra deben tener los mismos genes y la misma información genética, a menos que algo este mal con ellos, como discapacidades o cualquier cosa como esa (Wood-Robinson, Lewis & Leach, 2000).</p> <p>*La información genética es la información obtenida de un organismo (Lewis & Wood-Robinson, 2000).</p> <p>*La información genética de una célula germinal y una somática es la misma (Lewis & Wood-Robinson, 2000).</p>

Tabla 3.1. Categorización de las ideas previas encontradas en la bibliografía en el tema de genética.

			<p>c12. La información que tiene las células somáticas es distinta a la que tienen las células germinales, ya que las primeras necesitan información para llevar a cabo su función y las segundas información para desarrollar un organismo.</p>	<p>*La información genética en las células fertilizadas es diferente a la que hay en las somáticas, porque las células somáticas tienen una función y las fertilizadas dicen cómo será el cuerpo, cómo debe crecer éste (Wood-Robinson, Lewis & Leach, 2000).</p> <p>*Los genes se encuentran solamente en áreas específicas, por ejemplo el sistema reproductivo (Lewis & Wood-Robinson, 2000).</p>
		C4. La información genética sólo se transmite durante los eventos de reproducción sexual. Es decir, se progenitores a hijos.	<p>c13. La información genética sólo se transmite durante los eventos relacionados con la reproducción.</p>	<p>*La información genética sólo se transmite durante los eventos relacionados con la reproducción (Dreyfus & Jungwirth, 1988).</p> <p>*La información hereditaria es todo lo que se transmite de padres a hijos (Banet & Ayuso, 1995).</p> <p>*La información genética es la información que pasa de persona a persona (Lewis & Wood-Robinson, 2000).</p>
			<p>c14. Cada individuo tiene su propia identidad genética, presentan diferentes genes.</p>	<p>*Dos células podrían tener diferentes genes porque son de diferentes personas, cada individuo tiene su propia identidad en genes, como una huella digital (Wood-Robinson, Lewis & Leach, 2000).</p> <p>*En una célula fecundada, los genes y la información genética podrían ser diferentes porque es un nuevo individuo que viene de un óvulo y un espermatozoide distinto (Wood-Robinson, Lewis & Leach, 2000).</p> <p>*El código genético es un identificador personal como lo es un código de barras (Wood-Robinson, Lewis, Leach & Driver, 1998).</p> <p>*La información genética es la información obtenida de un organismo (Lewis & Wood-Robinson, 2000).</p> <p>*La información genética de una célula germinal y una somática es la misma (Lewis & Wood-Robinson, 2000).</p>

Tabla 3.1 Categorización de las ideas previas encontradas en la bibliografía en el tema de Genética

<p>b) Transmisión de la información de célula a célula</p>	<p>M3 La información, que en este caso son órdenes, es repartida (racionada) a las diferentes células hijas, por lo tanto los procesos de reproducción celular (mitosis y meiosis) no están relacionados con la transmisión del material genético.</p>	<p>C5 Las células somáticas poseen sólo la información necesaria para cumplir su función. Tal información es repartida desigualmente cuando la célula se divide.</p>	<p>c15. Las células de un mismo organismo tienen funciones distintas por lo tanto, tienen diferente información genética.</p>	<p>*Las células tienen diferentes cromosomas, genes e información genética porque tienen diferentes roles o cumplen con diferentes trabajos (Wood-Robinson, Lewis, & Leach, 2000).</p> <p>*Las células tienen diferentes funciones, por lo tanto, no pueden tener los mismos genes (Wood-Robinson, Lewis, & Leach, 2000).</p> <p>*La célula nerviosa hace más cosas que otras células, por lo que, tiene que tener más cromosomas (Wood-Robinson, Lewis, & Leach, 2000).</p> <p>*La información genética en las células fertilizadas es diferente a la que hay en las somáticas, porque las células somáticas tienen una función y las fertilizadas dicen como será el cuerpo, como debe crecer éste (Wood-Robinson, Lewis, & Leach, 2000).</p> <p>*En un organismo todas las células del mismo tipo tienen la misma información genética, por lo tanto, diferentes tipos de células tienen distinta información genética (Wood-Robinson, Lewis, Leach & Driver, 1998).</p> <p>*Cada célula del organismo es genéticamente diferente a las demás (Wood-Robinson, Lewis, Leach & Driver, 1998).</p> <p>*Todas las células llevan información hereditaria, pero unas llevan para una cosa y otras para otra (Banet & Ayuso, 1995).</p> <p>*Todas las células llevan la misma información hereditaria, pero en cada una hay la especificación de la información que necesita (Banet & Ayuso, 1995). Las células contienen la información genética que necesitan para llevar a cabo su función (Lewis & Wood-Robinson, 2000).</p>
--	--	--	---	---

Tabla 3.1. Categorización de las ideas previas encontradas en la bibliografía en el tema de genética.

			<p>c16. Al dividirse las células por mitosis o meiosis la distribución de la información hereditaria es desigual.</p>	<p>*La información codificada en el núcleo de todas las células de un organismo es idéntica, pero durante la división celular, información diferente es transmitida a diferentes células, lo cual explica la diferenciación (Dreyfus, Jungwirth, 1998).</p> <p>*Al duplicarse la célula huevo (célula fecundada), reparte la información hereditaria a cada célula (Banet & Ayuso, 1995).</p> <p>*Después de la división celular, las células tienen menos información genética porque ésta ha sido dividida en dos (Lewis & Wood-Robinson, 2000).</p> <p>*Después de la mitosis: las células hijas tienen diferente número cromosómico y/o la diferente información genética que la célula que las originó (Lewis & Wood-Robinson, 2000).</p> <p>*Después de la meiosis, el óvulo tiene diferente número cromosómico y/o diferente información genética que la célula que lo originó (Lewis & Wood-Robinson, 2000).</p>
			<p>c11. Las células germinales de un mismo organismo tienen la misma información genética.</p>	<p>*Todas las células espermáticas del mismo animal tienen los mismos genes y la misma información genética (Wood-Robinson, Lewis & Leach, 2000).</p> <p>*Óvulos diferentes de una misma hembra deben tener los mismos genes y la misma información genética, a menos que algo este mal con ellos, como discapacidades o cualquier cosa como esa (Wood-Robinson, Lewis & Leach, 2000).</p> <p>*La información genética es la información obtenida de un organismo (Lewis & Wood-Robinson, 2000).</p> <p>*La información genética de una célula germinal y una somática es la misma (Lewis & Wood-Robinson, 2000).</p>
		<p>c6 Los mecanismos de reproducción celular pasan desapercibidos, la explicación del evento es tan sólo una descripción general de éste.</p>	<p>c17. La división celular se lleva cabo en todas las células.</p>	<p>*La división celular ocurre en todas las células (Lewis & Wood-Robinson, 2000).</p>

Tabla 3.1. Categorización de las ideas previas encontradas en la bibliografía en el tema de genética.

<p>c18. La mitosis y la meiosis son procesos de división celular distintos porque se llevan a cabo en tejidos diferentes y las células que resultan de ambos procesos tienen una función diferente.</p>	<p>*Los gametos pueden formarse en la meiosis (Stewart & Dale, 1989).</p> <p>*La mitosis es importante para el crecimiento : (Lewis & Wood-Robinson, 2000)</p> <p>*La meiosis es la preparación para la reproducción(Lewis & Wood-Robinson, 2000) .</p> <p>* La mitosis y la meiosis son procesos de división celular distintos porque se llevan a cabo en tejidos diferentes (tejido somático o gónadas) (Lewis & Wood-Robinson, 2000).</p> <p>*La meiosis es la división de las células (Liberatore & Sichafer, 1994).</p>
<p>c19. En los procesos de división celular (meiosis y mitosis) los cromosomas y la información genética tienen una serie de alteraciones o modificaciones, tales como: duplicarse, dividirse, entre otras.</p>	<p>*En la profase de la meiosis se lleva a cabo la duplicación de los cromosomas (Longden, 1982; Smith, 1991; Liberatore & Sichafer, 1994).</p> <p>*La duplicación se lleva a cabo en la mitosis, por que, es necesario que los cromosomas estén duplicados (Smith, 1991).</p> <p>*En la meiosis los cromosomas se dividen y se replican para formar dos cromátidas (Longden, 1982; Kindfield, 1991).</p> <p>*En la meiosis una célula duplica sus cromosomas y se divide en dos células nuevas. En estas dos se separan todos los pares de cromosomas y cuando el proceso ha terminado se forman 4 células especializadas con la mitad del número de cromosomas, como una célula del cuerpo normal (Liberatore & Sichafer, 1994).</p>
<p>c20. El origen de una célula es otra célula.</p>	<p>*El origen de una célula es otra célula (Dreyfus & Jungwirth, 1988).</p>

Tabla 3.1. Categorización de las ideas previas encontradas en la bibliografía en el tema de genética.

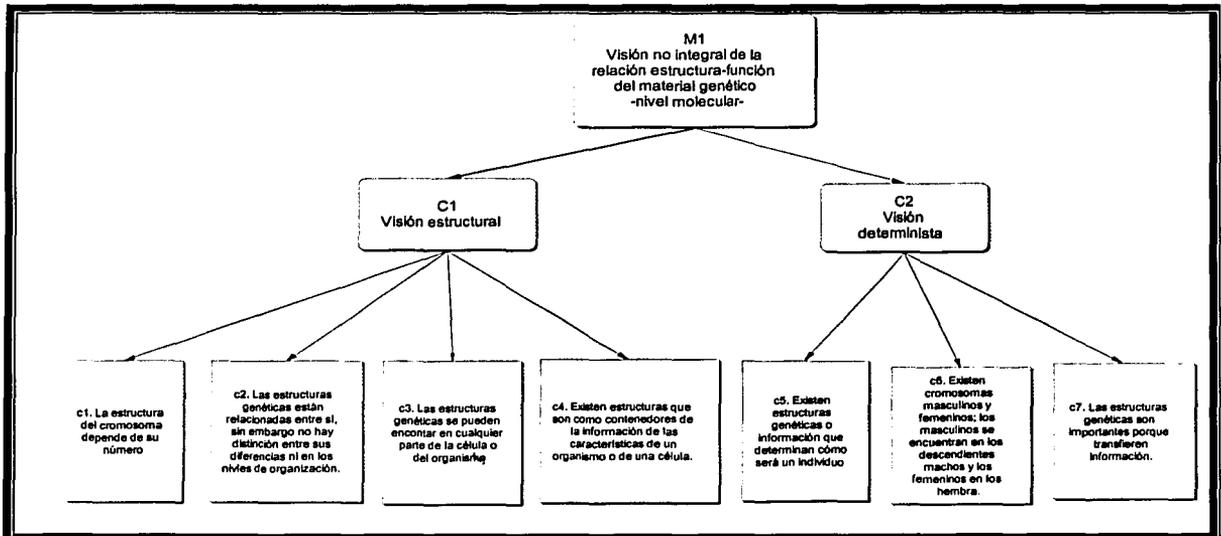
		<p>C7 La información genética es aquella que pasa de célula a célula.</p>	<p>c21. La información genética es aquella que pasa de célula a célula.</p>	<p>*La información genética es aquella que pasa de célula a célula (Lewis & Wood-Robinson, 2000).</p> <p>*Después de la mitosis, las células hijas tienen el mismo número cromosómico y/o la misma información genética que la célula que las originó (Lewis & Wood-Robinson, 2000).</p> <p>*Después de la meiosis, el óvulo tiene el mismo número cromosómico y/o la misma información genética que la célula que lo originó (Lewis & Wood-Robinson, 2000).</p>
--	--	---	---	--

Tabla 3.1. Categorización de las ideas previas encontradas en la bibliografía en el tema de genética.

Bajo esta propuesta de análisis se hace evidente que los alumnos presentan el conocimiento genético de manera fragmentada, es decir, no hay un vínculo entre cada uno de los niveles de organización: molecular (constitución del material genético), microscópico (transmisión de la información de célula a célula) y macroscópico (transmisión de la información de individuo a individuo). Ya que los estudiantes identifican cada uno de estos niveles de manera aislada, como si se tratara de tres dominios independientes. Se puede ubicar en este punto el primer obstáculo epistemológico derivado del análisis histórico realizado en el capítulo anterior: obstáculo por los niveles de organización. Para crear un modelo sobre la herencia los alumnos deben vencer el obstáculo que implica entender que en el proceso hereditario existen relaciones entre el nivel microscópico y el macroscópico, de tal forma que todas las propiedades hereditarias de un organismo están determinadas por el nivel microscópico subyacente. Para lograr que los estudiantes alcancen un modelo de herencia biológica integral es necesario analizar los esquemas que presentan en cada uno de los niveles de organización. Este análisis explicará por qué los alumnos han construido modelos para cada nivel de organización desvinculados entre sí.

A) Constitución del material genético

Figura 3.1 Esquema de la categorización de las Ideas previas sobre Constitución del Material Genético.



Como se puede observar en la figura 3.1 con las representaciones de los alumnos que se ubican en este grupo (A) se crearon siete concepciones que dan cuenta del conjunto de ideas que se encontraron en la bibliografía consultada. Estas concepciones fueron agrupadas en dos categorías (C1 y C2) que tienen un nivel mayor de interpretación y que comienzan a dar cuenta del tipo de razonamiento que tienen los estudiantes sobre la naturaleza del material genético.

En la primera categoría C1 (figura 3.1) encontramos concepciones relacionadas fundamentalmente con la estructura del material genético. Esta categoría refleja que los alumnos identifican los elementos que componen el material genético: ADN, genes, alelos, cromosomas. Los estudiantes saben que existen relaciones entre cada uno de estos elementos pero las representaciones de estas relaciones son inadecuadas desde la perspectiva científica porque confunden los términos o bien en algunos casos los utilizan como sinónimos. Un ejemplo de estas imágenes es la concepción de que el material genético es un lugar de almacenamiento de información -por ejemplo, "los cromosomas contienen a los genes", "el ADN es la escalera en la que todo es almacenado". Este problema conceptual ha sido identificado por varios autores (Radford & Bird-Stewart, 1982; Smith, 1991), más que ser un problema de terminología como algunos justifican (Bugallo, 1995), se piensa que es un problema de representación ya que los estudiantes memorizan los términos y los asocian a estructuras determinadas. El obstáculo epistemológico que se ajusta a este problema es el de tipo "verbal", este obstáculo propuesto por Bachelard (1985) se refiere a la asociación de una palabra concreta con un concepto abstracto, por lo tanto las palabras sustituyen el significado. En las ciencias, como propone Bachelard (1985), las palabras designan y explican al mismo tiempo, pero en los alumnos este principio no se aplica. En este caso en particular, los estudiantes sustituyen la representación de la estructura y función de los cromosomas, genes o ADN, por la palabra que le da nombre al elemento. Los nombres asignados a las diferentes estructuras genéticas son identificados por los alumnos, pero realmente no existe un esquema conceptual de ellas.

La segunda categoría C2 (figura 3.1) muestra las ideas deterministas que se generan alrededor del conocimiento genético. Es común percibir la idea de que la información genética determina las características de los organismos. Esta concepción se presenta no sólo en los

estudiantes de bachillerato sino, de manera general en toda la población. Este enfoque se podría denominar "preformista modificado" ya que los estudiantes no afirman la existencia de un ser completamente formado dentro de las células germinales como lo hacían los preformistas en la Edad Media (Herrera, 2001), pero sí piensan en un código o una receta para formarlo. Estas representaciones llevan a una visión determinista de la función de los componentes hereditarios - por ejemplo, "los genes son importantes porque transfieren información"- . Estas ideas pueden deberse a un obstáculo epistemológico relacionado a la falta de dominio o de conocimiento de ciertos conceptos (Fillon, 1997 en Gómez, 2000) o fenómenos. Como se describió en la categoría anterior (C1), los alumnos carecen de una representación de las estructuras genéticas, por lo que se poseen lagunas que impiden a los estudiantes construir modelos explicativos sobre los procesos de expresión de la información hereditaria.

Estas dos categorías C1 y C2 dan cuenta del esquema conceptual de los alumnos y está expresado en el marco M1 que las incluye (figura 3.1). En este marco se propone que los alumnos no tienen una visión integral de la naturaleza del material genético desde un enfoque estructural-funcional. Como se expresó al analizar las dos categorías, es fundamental que los alumnos vayan identificando las estructuras que conforman el material genético y las relaciones estructurales entre ellos a partir de los procesos en los que están involucrados para que puedan comenzar a construir un modelo explicativo del fenómeno de la herencia.

Los conceptos de núcleo, cromosoma, gen, alelo, y ADN se fueron estableciendo históricamente gracias al estudio de ciertos procesos celulares, como la mitosis y la meiosis, así como por el estudio de los mecanismos hereditarios, sin embargo los alumnos no han ido construyendo su propio modelo de esta manera, ya que parece que los conceptos no han sido introducidos ordenadamente o de manera análoga a como se hizo históricamente, lo que se refleja en el esquema planteado en este análisis.

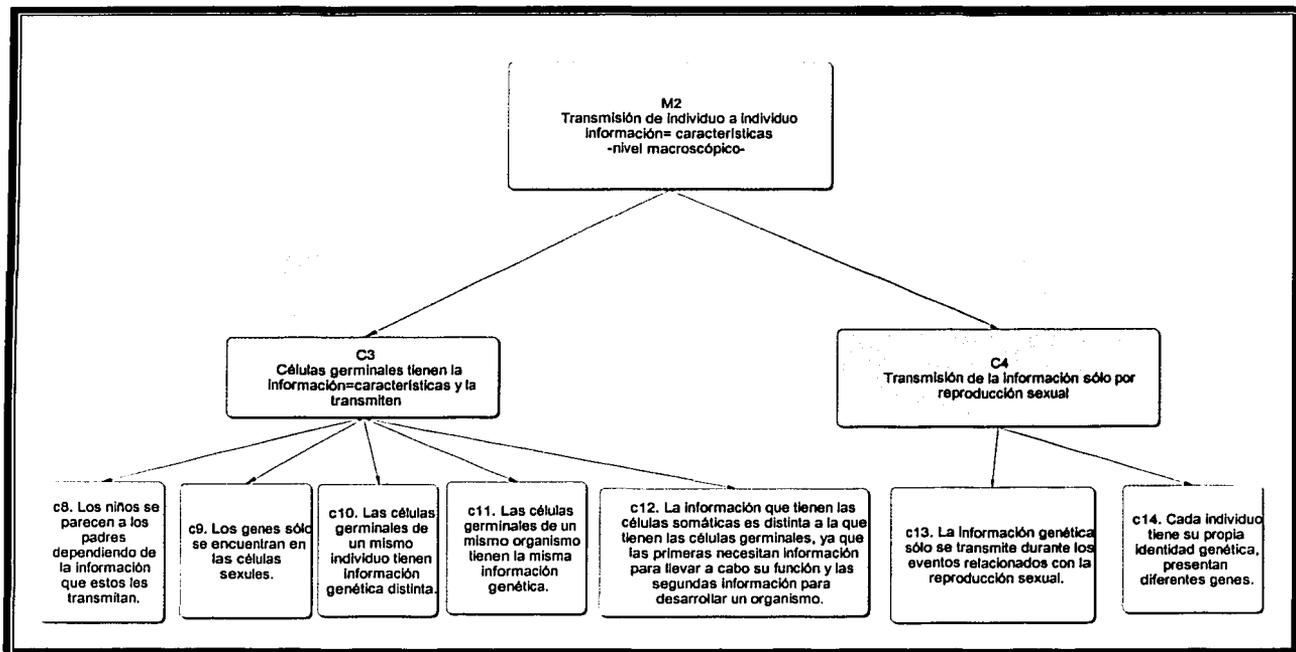
B) Transmisión de la información genética

Este grupo de ideas (B) está organizado en dos subgrupos distintos. Por un lado, encontramos ideas relacionadas con a) transmisión de la información de progenitor a hijo, ya que generalmente

son ideas sobre organismos multicelulares-animales que lo hacen a través de la reproducción sexual; y aquellas que hacen referencia a la b) transmisión de la información de célula a célula -a través de la reproducción celular, específicamente mitosis y meiosis.

a) Transmisión de la información de progenitores a hijos

Figura 3.2 Esquema de la categorización de las ideas previas sobre Transmisión de la Información de Progenitores a Hijos.



En la figura 3.2 se observa como las ideas previas que se refieren al fenómeno de transmisión de la información de progenitores a hijos fueron integradas en siete concepciones. Estas concepciones a su vez fueron agrupadas en dos categorías (C3 y C4) que las incluyen y que muestran un posible esquema conceptual.

La segunda categoría C4 (figura 3.2) da cuenta de la representación que existe en los alumnos acerca de que la reproducción sexual es el principal o el único mecanismo de transmisión de la información genética, por ejemplo: "la información genética sólo se transmite durante la reproducción sexual", "la información genética es la que pasa de padres a hijos".

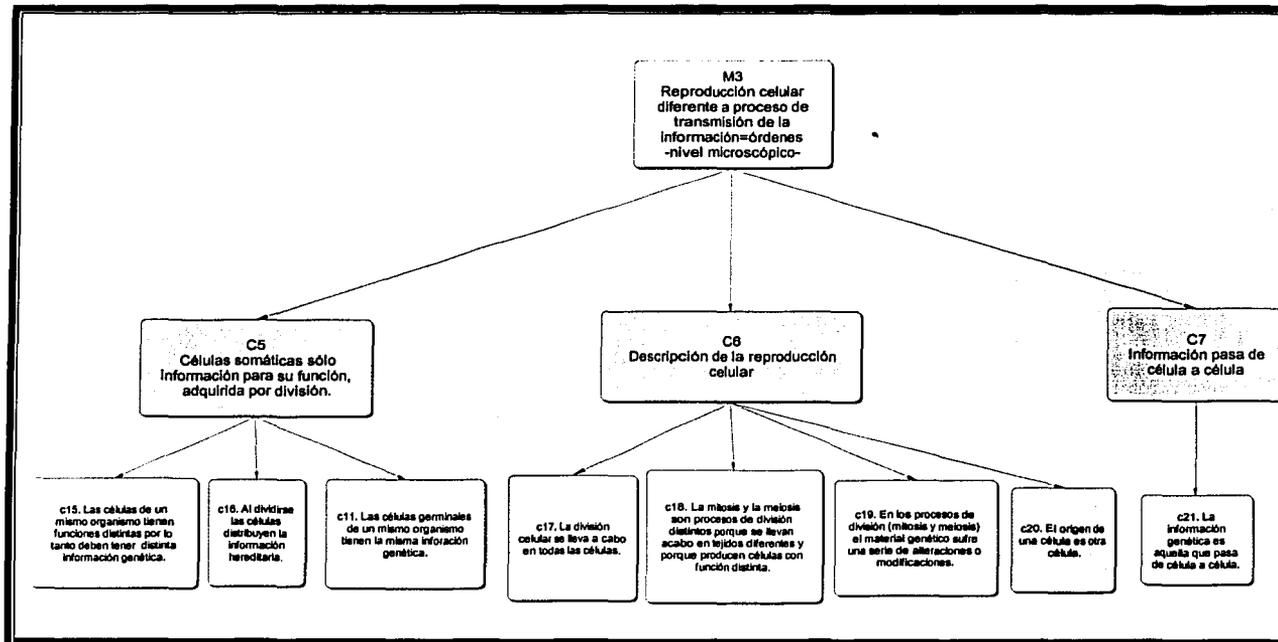
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Por lo tanto, como queda evidenciado en la primera categoría C3 (figura 3.2) las células involucradas en el fenómeno de la herencia son las germinales y su función es la transmisión de la información hereditaria. Estas células deben tener la información completa para generar un nuevo individuo como lo expresan en la idea de que "los genes se encuentran en áreas específicas, por ejemplo el sistema reproductivo".

Ambas categorías, C3 y C4, dan cuenta del esquema conceptual que albergan los estudiantes en relación a este tema. El marco M2 (figura 3.2) hace evidente que los alumnos consideran que la información hereditaria se transmite de progenitores a hijos a través de la reproducción sexual por lo tanto las células germinales poseen la información sobre las características que presentará un individuo. En este esquema conceptual se puede distinguir un obstáculo epistemológico relacionado con la percepción (obstáculo propuesto por Fillon, 1997), que consiste en dar prioridad a los sentidos sobre la conceptualización. A lo largo de su vida los alumnos han percibido que entre los progenitores y los hijos existen características semejantes, por ejemplo "los hijos se parecerán al padre o a la madre dependiendo de la cantidad de información que dé cada uno de ellos". Por instrucción escolar han aprendido que a través de la reproducción sexual, las células germinales de los progenitores originan nuevos individuos. Esta progenie presenta características semejantes a las de sus progenitores, ya que las células sexuales de sus padres aportan información para formar al nuevo organismo. La información escolar se ajusta perfectamente a las observaciones que ellos han hecho, por lo tanto, la adoptan aunque la representación del proceso de fertilización no sea correcto (Flores et al, 2001). El problema radica en que esta información es generalizada, ya que los alumnos piensan que si la transmisión de información se da a través de la reproducción sexual, idea claramente expresada por los alumnos cuando afirman que "la información hereditaria es todo lo que se transmite de padres a hijos" o bien que: " la información genética sólo se transmite durante los eventos relacionados con la reproducción" , entonces, la información hereditaria sólo se encuentra en aquellas células que están directamente involucradas con el proceso de la reproducción sexual: los óvulos y los espermatozoides.

b) Transmisión de la información de célula a célula

Figura 3.3 Esquema de la categorización de las ideas previas sobre Transmisión de la Información de Célula a Célula.



Como se puede observar en la figura 3.3, a partir de las representaciones de los alumnos que se ubican en este tópico, se crearon ocho concepciones que fueron agrupadas en tres categorías que las incluyen (C5, C6, C7).

En la categoría C7 (figura 3.3) se muestra que los alumnos reconocen que existe una transmisión de información de célula a célula. Sin embargo, en la primera categoría C5 (figura 3.3) se distingue que los alumnos conciben la naturaleza de esta información distinta a la que se transmite de individuo a individuo, por ejemplo, dicen: "la información genética en las células fertilizadas es diferente a la que hay en las somáticas, porque las somáticas tienen una función y las fertilizadas dicen cómo será el cuerpo o cómo debe crecer éste". Los estudiantes piensan que esta información se semeja a órdenes, mientras que aquella que es transmitida de individuo a individuo es de características. Los estudiantes proponen que esta información es repartida entre las células durante las sucesivas divisiones que lleva a cabo el cigoto, lo que explica la

diferenciación celular. El obstáculo presente en esta representación se ajusta al propuesto por Astalfi y Peterfalvi (1993) al que denominaron "obstáculo de lenguaje" y que consiste en que a una sola palabra o concepto se le da diferente significado dependiendo del contexto en el que se utilice. El concepto de información genética cumple esta función pues dentro del contexto macroscópico tiene una imagen distinta a la que tiene dentro del contexto microscópico. Evidentemente este obstáculo está relacionado con aquellos que impiden que los estudiantes tengan una representación integral de la naturaleza estructural y funcional del material genético a nivel molecular. Dentro de este contexto la imagen que presentan los alumnos de la información genética difiere de la que se presenta a nivel microscópico, pero está relacionada de manera más cercana a la que se propone a nivel macroscópico; es decir a nivel macroscópico y molecular se concibe como información para generar características fenotípicas determinadas.

La siguiente categoría C6 (figura 3.3) muestra que los alumnos ven los mecanismos de reproducción celular como mecanismos de división o de producción de más células. Al hablar sobre el fenómeno los alumnos sólo alcanzan a hacer descripciones burdas de este mecanismo como por ejemplo, cuando dicen que: "el origen de una célula es otra célula"; o bien dan explicaciones teleológicas de los fenómenos, por ejemplo: "la mitosis es importante para el crecimiento", "la meiosis es la preparación para la reproducción-. Si se les pide explicar el mecanismo de la reproducción celular, ya sea mitosis o meiosis, nuevamente ofrecen representaciones descriptivas y no explicativas, por ejemplo: "en la meiosis los cromosomas se dividen y se replican para formar dos cromátidas". Estas ideas son originadas por la instrucción, e indican que los alumnos no han construido una concepción que se adecue a la propuesta científica sobre la reproducción. Si realmente entendieran que la reproducción es el mecanismo de transmisión de la información genética, podrían identificar que ya sea de progenitores a hijos o de célula a célula, se está llevando a cabo un proceso de transferencia del material genético.

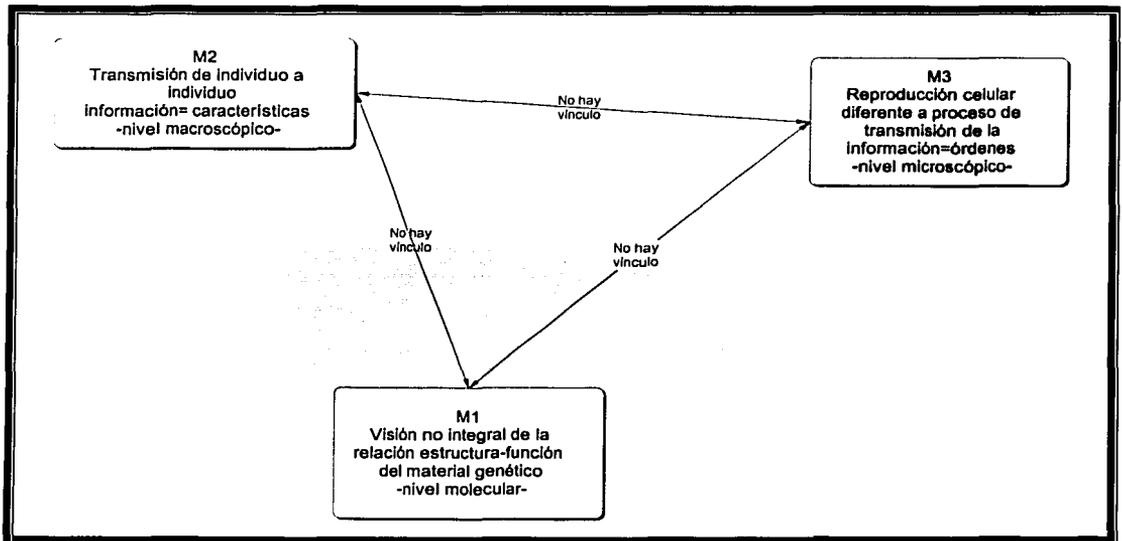
Esta situación está estrechamente relacionada con la problemática planteada en diversas investigaciones en las que se destaca que los alumnos no tienen una representación adecuada de la célula (Caballer & Jiménez, 1993; Banet & Ayuso, 1995; Lewis et al, 2000; Flores, et al, 2001). Los estudiantes no pueden concebir a la célula como la unidad fundamental de la vida o como un

organismo independiente que tiene un ciclo de vida propio; no tienen el antecedente conceptual de que la estructura y función celular impacta directamente en las estructuras y funciones de los organismos pluricelulares.

El proceso de meiosis explica la distribución de las características genéticas en las células germinales y por consiguiente, explica el mecanismo de la herencia de las características de progenitores a hijos. La falta de este modelo conceptual, en la mayoría de los alumnos, está propiciada por el obstáculo epistemológico que impide ver que existen relaciones entre el nivel microscópico y el macroscópico, de tal forma que todas las propiedades hereditarias de un organismo están determinadas por el nivel microscópico subyacente. Obstáculo que se mencionó al principio de este capítulo en la construcción de toda la genética.

III.4 Análisis de la categorización

Figura 3.4 Esquema de la categorización con los marcos. En colores azules la clasificación de las Ideas relacionadas al tema de Transmisión de la Información Genética; en color amarillo la clasificación de las Ideas relacionadas al tema de Naturaleza del Material Genético.



La figura 3.4 muestra los marcos conceptuales originados a partir de esta categorización. Este esquema da cuenta de la naturaleza de la construcción global de la disciplina. En términos generales y como lo proponen algunos autores (Banet, 1998; Lewis & Wood-Robinson, 2000), para entender el proceso de la herencia biológica se deben desarrollar los modelos conceptuales referentes a la naturaleza del material genético y los mecanismos de transferencia de la información hereditaria: de célula a célula y de progenitores a descendientes. Esto implica, como se mostró en el análisis histórico hecho en el capítulo anterior, que en la disciplina se construyó la explicación del fenómeno de la herencia a través de tres niveles de organización distintos: el molecular, el microscópico y el macroscópico, articulados en una misma red conceptual.

El análisis del esquema de categorización propuesto en este capítulo, muestra que existen diversos obstáculos epistemológicos que impiden a los alumnos construir un esquema conceptual de la genética apegado al que se propone en el ámbito científico. En la tabla 3.2 se resumen los obstáculos encontrados en el análisis hecho en este capítulo.

Tabla 3.2 Principales problemas conceptuales encontrados en el análisis de los esquemas de categorización asociados a los obstáculos epistemológicos definidos.

Temática	Problemas conceptuales	Obstáculo epistemológico
Genética	Los alumnos presentan un conocimiento desintegrado de la genética, ya que no han podido relacionar los tres niveles explicativos – molecular, microscópico y macroscópico- con los que se ha construido el conocimiento de la genética.	<i>Obstáculo de niveles de organización.</i> En el proceso hereditario no se distinguen las relaciones entre el nivel microscópico y el macroscópico, en cuanto a que todas las propiedades hereditarias de un organismo están determinadas por el nivel microscópico subyacente.
Constitución del material genético	Los alumnos tienen una representación confusa de los elementos que conforman al material genético (cromosoma, gen, alelo, ADN)	<i>Obstáculo verbal.</i> Los alumnos reemplazan el significado de los conceptos (cromosoma, gen, alelo, ADN) por la palabra que los nombra.
	Los alumnos tienen visiones deterministas y teleológicas con relación al proceso de expresión de la información genética	<i>Obstáculo por falta de dominio de ciertos conceptos.</i> Las lagunas conceptuales originadas por la falta de representación de las estructuras y procesos genéticos impiden crear modelos explicativos sobre la expresión de la información hereditaria.

Transmisión de la información de progenitores a hijos	Los alumnos piensan que sólo a través de la reproducción sexual se transmite la información genética, por lo tanto las células que deben portar esa información son las germinales.	<i>Obstáculo de percepción.</i> Los alumnos han generalizado sus interpretaciones sobre el proceso hereditario dando prioridad a los sentidos sobre la conceptualización del proceso.
Transmisión de la información de célula a célula	Si bien es cierto los alumnos conciben la transmisión de la información de célula a célula, la naturaleza de esta información es distinta a la que se transmite a nivel macroscópico de progenitores a hijos.	<i>Obstáculo de lenguaje.</i> Los alumnos dan significados distintos a los mismos conceptos dependiendo del contexto en el que se utilicen.
	Los alumnos no conciben a la mitosis y meiosis como procesos de reproducción por lo tanto no asocian que estos mecanismos están involucrados en la transmisión de la información genética.	
	Los alumnos no han distinguido que la explicación de los patrones hereditarios a escala macroscópica descansa en la distribución de los cromosomas durante el proceso de la meiosis.	<i>Obstáculo de niveles de organización.</i> En el proceso hereditario no se distinguen las relaciones entre el nivel microscópico y el macroscópico, en cuanto a que todas las propiedades hereditarias de un organismo están determinadas por el nivel microscópico subyacente

Lo que se desprende de este análisis es que los alumnos presentan algunas dificultades en la construcción del conocimiento genético, porque no han logrado conectar los tres dominios desde los cuales se ha construido la genética: macroscópico, microscópico y molecular. Esta desvinculación puede deberse a las siguientes tres causas:

Causa I: Falta de representación del concepto de célula.

El eje central para alcanzar una representación adecuada del mecanismo hereditario descansa en el nivel celular. Como se ha mencionado, las investigaciones educativas sobre las representaciones de la célula han mostrado que los estudiantes no tienen una representación adecuada de ésta. Esto se refleja en el obstáculo de organización, ya que los alumnos no pueden distinguir que las características estructurales y funcionales del nivel microscópico (en este caso el celular) explican los procesos macroscópicos (en este caso los patrones hereditarios). Los alumnos sólo distinguen el proceso de transmisión de la

información hereditaria a escala macroscópica. Por lo tanto, dentro del esquema conceptual de los alumnos, este fenómeno está relacionado con la reproducción sexual y con las células sexuales: óvulos y espermatozoides.

Causa II: Falta de representación del fenómeno de la reproducción.

Otro problema fundamental es la concepción del fenómeno de la reproducción. Los alumnos asocian la reproducción exclusivamente con el proceso de reproducción sexual en los organismos pluricelulares. Los procesos de división celular (mitosis y meiosis) no son concebidos como procesos de reproducción. El fenómeno de transmisión del material genético no se considera ya que este solamente se da entre padres e hijos. Esto está reflejado en las descripciones que hacen los alumnos de la mitosis y la meiosis, aunque hablan de los movimientos de los cromosomas no observan estos pasos como fundamentales en ambos procesos. Lo anterior los lleva a visiones teleológicas de los procesos de reproducción celular, la finalidad de la mitosis es generar más células para el crecimiento de los organismos y la de la meiosis es producir células germinales para que los organismos pluricelulares se reproduzcan.

Causa III: Falta de representación de la constitución molecular del material genético.

El problema se agudiza cuando descendemos en el nivel de organización, cuando los alumnos muestran su conocimiento de las estructuras genéticas a nivel molecular. Lo que se observa en este análisis es que los alumnos realmente no tienen una representación de la constitución molecular del material genético. Este problema ha sido propiciado por la instrucción, probablemente se ha preponderado el nombre de las estructuras sobre sus funciones y sus relaciones estructurales. Esta situación impide que los alumnos utilicen el conocimiento de las estructuras genéticas como elementos explicativos del proceso de la herencia.

IV. Construcción de la genética vs construcción de los esquemas conceptuales de los alumnos

Análisis de los obstáculos epistemológicos y conceptos estructurantes para una propuesta educativa de contenidos y secuencia.

A lo largo de este trabajo se ha hecho un análisis de la construcción histórica de la genética, así como de los esquemas conceptuales de los alumnos de bachillerato. El análisis de la disciplina muestra que ésta se ha elaborado a partir de tres niveles de organización fundamentales: el molecular (constitución del material genético), el microscópico (transmisión de la información genética de célula a célula) y el macroscópico (transmisión de la información de progenitores a descendientes). Como se ha establecido en esta tesis, para conseguir una representación adecuada del fenómeno de la herencia, es preciso que los individuos entiendan las relaciones entre cada uno de estos niveles. Para alcanzar este objetivo es necesario que los estudiantes tengan claros los conceptos a través de los cuales se explica el fenómeno genético.

En este capítulo se hace un análisis comparativo de la construcción del conocimiento genético desde el ámbito científico y desde la perspectiva de los estudiantes con el fin de entender por qué estos últimos tienen representaciones alternativas del proceso hereditario. Con esta información se hará una propuesta de organización de los contenidos en el programa de la Escuela Nacional Preparatoria que tenga como objetivo promover una construcción del conocimiento genético en los estudiantes más cercano al que propone la ciencia.

El análisis bilateral está fundamentado en la propuesta de Gagliardi (1988) acerca de que la historia y la epistemología de la ciencia pueden ser utilizadas para determinar los obstáculos epistemológicos que pueden presentar los individuos, en una disciplina científica, con relación a los que se presentaron durante la génesis de la misma; así como para definir los conceptos estructurantes que históricamente ayudaron a vencer dichos obstáculos. Aunque no exista un paralelismo absoluto entre la construcción histórica de una disciplina y la construcción individual de la misma, el análisis de su génesis da información acerca de las circunstancias bajo las cuales se originaron los elementos conceptuales que la integran y el orden en el que fueron apareciendo.

Esta información resulta ser una herramienta útil en el diseño de programas y estrategias didácticas. Por lo tanto esta labor de exploración y comparación entre la construcción científica e individual del conocimiento permitirá hacer una propuesta pedagógica que promueva el desarrollo de nuevas estructuras cognitivas en los estudiantes. De tal forma que construyan esquemas de representación que se aproximen a los que propone la ciencia.

IV.1 Análisis comparativo de los obstáculos epistemológicos.

En el análisis histórico desarrollado en este trabajo en el capítulo II, se describieron cinco obstáculos epistemológicos que fueron superados durante la construcción de la genética. Al hacer el análisis de las ideas previas de los estudiantes en este tema se detallaron los posibles problemas conceptuales y se definieron cinco obstáculos epistemológicos que pueden ser la causa de éstos. Se ha mostrado que los obstáculos señalados impiden que los estudiantes construyan un esquema conceptual aproximado al que se propone desde el ámbito científico. En la tabla 4.1 se muestran los obstáculos identificados en los análisis tanto histórico como de las ideas previas; así como los posibles problemas conceptuales asociados a los diferentes obstáculos epistemológicos presentes en los estudiantes.

Tabla 4.1. Cuadro comparativo de los obstáculos epistemológicos encontrados en la historia de la genética y los encontrados en el análisis de la construcción de los esquemas conceptuales de los estudiantes.

Obstáculos epistemológicos (en la historia de la genética)	Obstáculos epistemológicos (en los estudiantes)	Problemas conceptuales (en los estudiantes)
<p>Obstáculo vitalista La concepción de la existencia de un principio vital en la organización de los seres vivos impedía buscar unidades fundamentales de la vida que estuvieran regidas bajo las mismas leyes de la materia inerte.</p>		

<p>Obstáculo de niveles de organización Si las células son la unidad estructural, funcional y de origen de los seres vivos, entonces el nivel macroscópico debe ser explicado a partir del nivel microscópico, es decir, las propiedades macroscópicas de un organismo están determinadas por las propiedades del nivel microscópico subyacente. Aquí se incluye el fenómeno de la herencia.</p>	<p>Obstáculo de niveles de organización En el proceso hereditario no se distinguen las relaciones entre el nivel microscópico y el macroscópico, en cuanto a que todas las propiedades hereditarias de un organismo están determinadas por el nivel microscópico subyacente.</p>	<p>Los alumnos presentan un conocimiento desintegrado de la genética, ya que no han podido relacionar los tres niveles explicativos –molecular, microscópico y macroscópico– con los que se ha construido el conocimiento de la genética.</p> <p>Los alumnos no han distinguido que la explicación de los patrones hereditarios a escala macroscópica descansa en la distribución de los cromosomas durante el proceso de la meiosis y en la combinación e interacción entre los alelos.</p>
<p>Obstáculo de percepción La explicación al fenómeno de la herencia y de diferenciación de los tejidos de Weismann, si bien tomaba en consideración el conocimiento generado por la citología, tuvo como elemento fundamental la evidencia que se tenía del nivel macroscópico.</p>	<p>Obstáculo de percepción Los alumnos han generalizado sus interpretaciones sobre el proceso hereditario dando prioridad a lo que los sentidos perciben y abstraen escasamente los procesos.</p>	<p>Los alumnos piensan que sólo a través de la reproducción sexual se transmite la información genética, por lo tanto las únicas células que deben portar esa información son las germinales.</p>
<p>Obstáculo atomista El fenómeno de la herencia era explicado por la acción de elementos aislables, estos determinan directamente las características de los organismos.</p>	<p>Obstáculo por falta de dominio de ciertos conceptos Las lagunas conceptuales originadas por la falta de representación de las estructuras genéticas impiden crear modelos explicativos sobre los procesos de expresión de la información hereditaria.</p>	<p>Los alumnos tienen visiones deterministas y teleológicas con relación al proceso de expresión de la información genética</p>
<p>Obstáculo de lenguaje Los conceptos creados en diferentes disciplinas se redefinieron para darle coherencia a la teoría propuesta por Morgan.</p>	<p>Obstáculo de lenguaje Los alumnos dan significados distintos a los mismos conceptos dependiendo del contexto en el que se utilicen.</p>	<p>Si bien es cierto los alumnos conciben la transmisión de la información de célula a célula, la naturaleza de esta información es distinta a la que se transmite a nivel macroscópico de progenitores a hijos.</p> <p>Los alumnos no conciben a la mitosis y meiosis como procesos de reproducción, por lo tanto no asocian que estos mecanismos están involucrados en la transmisión de la información genética.</p>
	<p>Obstáculo verbal. Los alumnos reemplazan el significado de los conceptos (cromosoma, gen, alelo, ADN) por la palabra que los nombra.</p>	<p>Los alumnos tienen una representación confusa de los elementos que conforman al material genético (cromosoma, gen, alelo, ADN)</p>

Tabla 4.1. Cuadro comparativo de los obstáculos epistemológicos encontrados en la historia de la genética y los encontrados en el análisis de la construcción de los esquemas conceptuales de los estudiantes.

En la tabla 4.1 se observan los obstáculos epistemológicos definidos en la construcción del conocimiento genético de los estudiantes en correspondencia con los obstáculos encontrados en la historia. En algunos casos, aquellos que presentan los alumnos están directamente relacionados con los históricos (como el obstáculo de percepción), sin embargo existen algunos en los que la relación es indirecta (como el obstáculo por falta de dominio de ciertos conceptos). Esta disparidad muestra que en realidad no existe un paralelismo total entre la construcción histórica de la genética y la construcción individual de este conocimiento. Esto puede deberse a que en la construcción de representaciones sobre el fenómeno de la herencia, los alumnos hacen uso de conocimiento adquirido por la instrucción. Si bien los alumnos ya tienen representaciones sobre la herencia a nivel macroscópico (de progenitores a hijos), una vez que han sido introducidos al tema de genética en la escuela utilizan los conceptos que se les han ido presentando en clase (por ejemplo, gen, cromosoma, ADN, célula, etcétera) pero asignándoles un significado alternativo al que se propone en el ámbito científico, como se verá más adelante en el capítulo. Por esta razón se propone, que la mayoría de las ideas de los alumnos sobre el proceso de transmisión de la información hereditaria tienen un origen escolar. Sin embargo existen algunas otras ideas que tienen un origen sensorial (individual) y cultural (social), lo que confirma lo propuesto por Pozo (1991) acerca de que las explicaciones que los estudiantes dan a la naturaleza son producto de la mezcla de los tres orígenes (sensorial, cultural y escolar). Un ejemplo de estas representaciones de origen mixto serían las relacionadas con la ubicación del material genético o sobre las que se refieren a las células que transmiten la información hereditaria, precisamente es en estas nociones donde se encuentra una mayor similitud entre el proceso de construcción del conocimiento genético individual y el científico, porque en ambos ámbitos se prepondera la información que llega a través de los sentidos sobre la conceptualización, obstáculo que se ha denominado de percepción y que como se observa en la tabla 4.1 se presenta tanto en la construcción histórica de la genética como en la construcción de este conocimiento en los estudiantes.

Aunque no exista un paralelismo estricto entre la historia de la genética y las ideas de los estudiantes, a lo largo de este capítulo se demostrará que la comparación entre la construcción histórica de la genética y la construcción de los esquemas alternativos de los estudiantes resulta

de mucha utilidad puesto que ayuda a entender por qué los estudiantes tienen estas representaciones alternativas. Además la historia resulta fundamental para identificar los elementos esenciales o conceptos estructurantes que constituyen el cuerpo de conocimientos de la genética, así como la secuencia en la que estas concepciones fueron apareciendo. Esta información servirá para elaborar una propuesta educativa en la que los estudiantes tengan los elementos conceptuales para construir un modelo hereditario como el propuesto por la ciencia.

A continuación se presenta un análisis de los obstáculos epistemológicos presentados en la tabla 4.1, el cual ayudara a entender por qué los alumnos presentan esquemas de representación alternativos y servirá de plataforma para hacer la propuesta educativa.

IV.1.1 Obstáculo Vitalista

La visión vitalista en la organización de la vida constituyó uno de los grandes obstáculos epistemológicos en la historia de la biología. Aunque en esta tesis no se trabaja a fondo este obstáculo, se hace mención a él porque la visión mecanicista que ayudó a superarlo es fundamental en la historia de la genética. La postura vitalista proponía la existencia de una fuerza o principio vital que explicaba la organización del mundo vivo y la diferenciaba del mundo no vivo, este principio era la "causa final" a las explicaciones acerca de la naturaleza de los seres vivos. En contraposición a esta perspectiva de la vida surge la visión mecanicista. Este enfoque nace junto con la idea de que la vida puede estar organizada a través de unidades fundamentales que se rigen por las mismas leyes a las que está sometida la materia inerte. La concepción de célula como el elemento fundamental de la vida abrió un espacio por el que se pudo abandonar al vitalismo (parcialmente). Los estudios dirigidos a encontrar cómo es que las células se comportan y cuáles son las leyes que las rigen dictó el curso de las investigaciones posteriores.

Aunque no se hace una revisión de la existencia de una posición vitalista en los estudiantes, lo expuesto en este apartado sugiere que la falta de representación del concepto de célula promueve la regresión a una visión vitalista. Es decir, para los alumnos la vida seguirá estando relacionada a un principio único y exclusivo de los seres vivos mientras no tengan una concepción de célula mecanicista, como la descrita anteriormente. Como Piaget (1969) sugiere en

la biología y en los individuos es natural el constante retorno a la visión vitalista, ya que históricamente han habido insuficiencias en las explicaciones mecanicistas de la vida; e individualmente porque no se tiene una visión completa de las explicaciones propuestas por la ciencia, o bien porque no se tienen los elementos explicativos de tipo mecanicista.

IV.1.2 Obstáculo de niveles de organización

Al hacer un repaso de la historia de la biología se destaca que en la conformación del paradigma hereditario fue fundamental la noción de célula. Esta concepción fue indispensable en la constitución de la disciplina que se encarga de estudiar a los seres vivos (incluidos animales, plantas y microorganismos) : La biología; como se explica en el apartado anterior.

La falta de noción de célula lleva directamente al obstáculo que en este trabajo se ha denominado "niveles de organización". Históricamente este obstáculo fue vencido una vez que se aceptó la idea de la célula como la unidad estructural, funcional y de origen de todo ser vivo (unicelular o pluricelular); y por lo tanto las investigaciones acerca de los fenómenos biológicos tenían que explicar, desde el nivel microscópico, los procesos que se observan a nivel macroscópico. Es decir, los investigadores se habían comprometido con la idea de que todo fenómeno biológico observado macroscópicamente se puede entender explicando lo que ocurre en el nivel microscópico subyacente.

En los alumnos se observa una desvinculación entre los diferentes niveles de organización, pues presentan diversos esquemas conceptuales acerca del fenómeno de la herencia dependiendo del nivel de organización en el que dan su explicación. De forma tal, que a pesar de que distinguen la transmisión de información de progenitores a hijos, no pueden explicar los patrones o los mecanismos hereditarios, ya que para hacerlo tendrían que recurrir a los modelos de meiosis y de interacción alélica y estos procesos no están relacionados directamente con sus representaciones de reproducción y de la transmisión de la información genética.

La historia de la genética muestra que la representación de la célula fue esencial en la construcción de los conceptos hereditarios. Los resultados de los experimentos de Mendel expresaban algunos procesos de transmisión de la información de individuo a individuo y

probablemente quedaron en el olvido porque no se concebían dentro del marco celular. El trabajo de Mendel cobró sentido una vez que se pudo establecer su base física, misma que fue proporcionada por las investigaciones sobre el mundo microscópico. A mediados del siglo XIX se estableció a la célula como la unidad de la vida, es decir, como el constituyente básico de todo ser vivo. Bajo este paradigma se realizaron investigaciones acerca de su estructura y funcionamiento; en seguida se hicieron estudios sobre el núcleo de la célula y sobre la división celular, con el paso de los años se fue caracterizando al material contenido dentro del núcleo y se comenzaron a generar ideas acerca del papel que tenía éste como portador de la información que se transmite entre los individuos. Con esta información al final del siglo XIX se comenzaron a generar diversas hipótesis sobre el proceso de la herencia. Sin embargo, la Genética se fundó cuando convergieron los estudios en biología celular y los de la hibridología; Morgan y su equipo sintetizaron los conocimientos derivados de ambas tradiciones de investigación en el primer cuarto del siglo XX. Fue justamente en ese momento que se entendió que la transmisión de la información del material genético se da a dos niveles: de individuo a individuo en el proceso de reproducción sexual y que se comporta según las leyes de Mendel; y de célula a célula en los procesos de división celular (mitosis y meiosis) o reproducción asexual.

Lo anterior indica que si se pretende que los alumnos entiendan el mecanismo hereditario y que construyan un esquema de representación del fenómeno de transmisión de la información, se debe asegurar que los estudiantes establezcan las relaciones explicativas que existen entre el nivel molecular (relacionado con la estructura del material genético: ADN, gen, alelo, cromosomas), el microscópico (relacionado con el concepto de célula: estructura y función, básicamente el proceso de reproducción celular) y el macroscópico (relacionada con el proceso de reproducción sexual y las leyes de Mendel).

IV.1.3 Obstáculo de percepción

Históricamente este obstáculo está relacionado con la propuesta hereditaria de Weismann. Si bien este investigador generó su teoría bajo el paradigma celular, su hipótesis tenía un elemento de interpretación que provenía de lo que él percibía. Weismann postulaba que sólo el germoplasma

posea los elementos hereditarios completos para generar un nuevo individuo; el somatoplasma no, porque al dividirse para constituir a todo el organismo va repartiendo la información que permite la diferenciación de los tejidos. Dentro de este marco de interpretación la reproducción sexual es el único mecanismo de transmisión de la información completa. Este modelo era una explicación a lo que se evidenciaba macroscópicamente: los organismos pluricelulares están constituidos por tejidos con funciones específicas, por lo tanto la información que tiene cada uno de estos tejidos debe ser diferente entonces, sólo aquel tejido encargado de generar nuevos individuos debe tener la información completa.

Los alumnos presentan un modelo semejante a este, pero no idéntico. Para ellos existe una diferencia clara entre las células somáticas y las germinales; de manera que la representación del proceso de transmisión de la información hereditaria se lleva a cabo exclusivamente durante la reproducción sexual; incluso piensan que sólo en las células germinales se encuentra la información para generar un nuevo organismo. Para los estudiantes la información que se reparte a las células somáticas para que se diferencien en los diversos tejidos que presentan los organismos pluricelulares es de naturaleza distinta, es concebida de manera no material como órdenes (nunca especifican de que tipo). Esta es la diferencia fundamental entre el esquema de los estudiantes y el modelo de Weismann.

Históricamente este obstáculo fue superado por las conclusiones a las que se llegó (entre los años de 1875 y 1883) después de hacer una interpretación de los procesos de reproducción celular. Se observó que todas las células que se producen en el organismo, ya sea por mitosis o meiosis, tienen el mismo juego de cromosomas (aunque las células producidas por mitosis presenten cromosomas en pares homólogos y no así las células producidas por meiosis). Por lo tanto la diferenciación de las células somáticas no tiene que ver con un proceso de división o repartición del material genético, en realidad pensaban que debía estar relacionado con un mecanismo de control de la expresión de la información. Se estableció que existía una diferencia entre las células somáticas y las germinales, pero se consideraba que esta diferencia estaba relacionada fundamentalmente con el proceso que las originaba: las somáticas se generan a partir de la mitosis y las germinales a partir de la meiosis.

Como se puede observar la superación de este obstáculo está relacionado con la solución del obstáculo de niveles de organización, es decir, la explicación de la evidencia macroscópica descansa en el nivel microscópico subyacente.

IV.1.4 Obstáculo atomista vs obstáculo por falta de dominio de ciertos conceptos

La época en la que comenzaron a plantearse las primeras hipótesis sobre el fenómeno de la herencia fue denominado atomista por Piaget (1969). Dentro del marco mecanicista los investigadores comprometidos con el paradigma celular interpretaban lo macroscópico a través de lo microscópico. Esta situación puso a la biología en un reduccionismo inevitable: las explicaciones biológicas, incluidas las que se generaban alrededor del fenómeno de la herencia, se hacían a partir de los datos recopilados del mundo microscópico y se dirigían hacia esquemas atomísticos.

Cognitivamente, esta etapa corresponde a las operaciones más simples del pensamiento, como lo son las operaciones concretas (Piaget, 1969). Los investigadores estaban comprometidos con la idea de que la totalidad morfológica y funcional de los seres vivos es resultado de la síntesis progresiva a partir de elementos o de subsistemas aislables. Esto último se acentuaba durante esta época ya que las evidencias biológicas que se tenían en aquel entonces, no permitían entender cómo la información contenida en los cromosomas podía transformarse en las características observables. Diversas propuestas como: la Teoría de Weismann, los estudios sobre la reproducción celular, el redescubrimiento del trabajo de Mendel, la hipótesis de Sutton y Boveri, reforzaban la idea de que elementos aislables determinan las características de un individuo. Es decir apoyaban la idea de que la relación gen-característica era directa.

Cuando los estudiantes explican los mecanismos de expresión de la información genética muestran esquemas deterministas. El obstáculo que se observa en los alumnos está relacionado con la falta de dominio de ciertos conceptos, las lagunas que generan estos "huecos conceptuales" llevan a los estudiantes a proponer explicaciones del tipo atomista. Sin embargo el origen de las explicaciones atomistas de los estudiantes no corresponde al histórico, aunque el resultado sea semejante. Los alumnos recurren a explicaciones deterministas, por ejemplo en las que dicen que los genes determinan las características o que los cromosomas dicen como será un individuo. En

realidad, lo que estas representaciones expresan es que los alumnos no han integrado a su esquema de interpretación los elementos conceptuales suficientes para dar una explicación causal, porque carecen de representaciones abstractas del proceso de expresión de la información genética. Por ejemplo, no han identificado que al ser traducidos los genes codifican en proteínas y que las interacciones entre todas estas proteínas generan las características estructurales y funcionales de los seres vivos.

Históricamente, la superación del obstáculo atomista está estrechamente relacionado con las investigaciones que se realizaron en el ámbito genético en el siglo XX. Como se ha visto, la idea determinista estuvo presente en la historia de la genética, el mismo Morgan (1910) rechazaba la teoría cromosómica pues pensaba que revivía al preformismo. Para él esta teoría asumía que las características de los individuos estaban preformadas o determinadas en el núcleo del cigoto. No fue sino hasta que se instauraron los términos fenotipo y genotipo que la incómoda idea preformista desapareció. Con esta nueva visión del material genético, Morgan aceptó la teoría cromosómica, a pesar de que reconocía que el mecanismo a través del cual se traduce la información de los genes a las características visibles de los organismos era desconocido. Este discernimiento fue fundamental para la construcción de su teoría cromosómica. También fue esencial para comenzar a superar el obstáculo atomista, pues finalmente el genotipo de un organismo tiene la posibilidad de producir diferentes fenotipos dependiendo del medio en el que se encuentre. El fenotipo o las características visibles de un organismo son el resultado de la acción de los genes en conjunto, de manera que las características de un organismo no están relacionadas uno a uno con los genes.

Los estudios ulteriores a la postulación de la Teoría del Gen de Morgan fueron fundamentales para abandonar totalmente la postura atomista y entrar en la etapa de totalidad relacional (Piaget, 1969). Esta etapa como lo expone Piaget (1969), se caracteriza por concebir al sistema genético como un todo, constituido por elementos que trabajan en conjunto. El medio externo al organismo, la célula, el ambiente celular, el mismo material genético, regulan al genotipo y generan uno de los tantos fenotipos que potencialmente puede producir el conjunto de genes que posee un organismo. Las características de un organismo no están determinadas exclusivamente

por los genes, más bien son producto de las interacciones constantes de un conjunto de procesos (reproducción, transcripción, traducción, regulación y de variación) que se llevan a cabo en este sistema.

IV.1.5 Obstáculo de lenguaje y obstáculo verbal

Estos obstáculos están relacionados con la definición y la función de los conceptos que conforman al cuerpo de conocimientos de la teoría cromosómica de la herencia.

Para explicar estos obstáculos resulta muy ilustrativo emplear la metáfora de "ecología conceptual" propuesta por Toulmin (1972 en Ruiz y Ayala, 1998) y que ha sido utilizada en el ámbito educativo para explicar los procesos para el cambio conceptual en los alumnos (Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982; Strike, Posner, 1985; Hewson, 1985). Toulmin propone que para entender el origen y transformación del conocimiento, es apropiado hacer una analogía con el proceso de evolución de los seres vivos. Inspirándose en la teoría darwiniana, propone aplicar los conceptos de *variación* y *selección natural* al análisis de *poblaciones conceptuales* o redes conceptuales. Toulmin considera que tanto las poblaciones orgánicas como las conceptuales, responden a un patrón de desarrollo por *innovación* y *selección*. De tal forma que la *producción de innovaciones* y la *selección* constituyen el doble mecanismo para el desarrollo y la evolución conceptual.

Las poblaciones o redes conceptuales están integradas por concepciones que se relacionan entre sí y ayudan a explicar un fenómeno natural. En esta red los conceptos tienen un nicho o función explicativa establecida. En el presente trabajo los términos concepto o concepción son equivalentes (aunque se reconoce que entre estos términos existen diferentes niveles de conceptualización, sin embargo no se distinguen dichos niveles a lo largo de la tesis). Como concepto se entiende la unidad funcional de pensamiento que abarca aspectos de tipo *estructural* (saber qué) y/o aspectos de tipo *procesal* (saber cómo) (Hewson, 1985). En una misma red conceptual la aparición de un nuevo concepto o innovación conceptual (ya sea de tipo estructural o procesal) altera el equilibrio dinámico en el que se encuentra; entonces los conceptos nuevos

entran en *competencia* con aquellos conceptos establecidos en la red por el mismo *nicho conceptual*.

Una vez establecido lo anterior, se puede decir que el conocimiento biológico está constituido por diferentes redes conceptuales, donde cada una correspondería a un cuerpo de conocimientos acerca de un fenómeno biológico (por ejemplo la red conceptual sobre el fenómeno de la herencia, el de la evolución, ecología, etcétera). En cada una de las poblaciones conceptuales, los conceptos interactúan entre sí, es decir, existen relaciones entre ellos. Por lo tanto, continuando con la analogía ecológica, se puede decir que las redes conceptuales constituyen ecosistemas y que este conjunto de ecosistemas constituyen a toda la disciplina.

Hablando en términos de la ecología conceptual, Morgan construyó una teoría o red conceptual y para darle coherencia, identificó el nicho de cada uno de los conceptos que integran su modelo hereditario. Al postular la Teoría del Gen, Morgan utilizó los conceptos que se generaron durante muchos años en diferentes disciplinas. En su trabajo de 1927 Morgan explicó el origen de cada uno de los conceptos que conforman su propuesta sobre los mecanismos de la herencia.

El trabajo de Morgan resulta cardinal ya que en él logró sintetizar los conocimientos generados en el ámbito celular y en el hibridológico. Su modelo estableció las relaciones fundamentales entre la evidencia macroscópica (patrones hereditarios) y la microscópica (mitosis, meiosis, fecundación), cuestión que le permitió hacer inferencias sobre el nivel molecular (por ejemplo la creación de los mapas genéticos). Finalmente logró instaurar las relaciones que existen entre los diferentes niveles de organización y que a diferencia de lo que se proponía desde la visión atomista, el material genético funciona como sistema. Los estudios posteriores se realizaron comprometidos con este paradigma. El descubrimiento de la estructura molecular del material genético, los mecanismos de duplicación, transcripción y traducción del DNA, los mecanismos de regulación de la expresión génica, los mecanismos de variación del material genético, los estudios en ingeniería genética y la biotecnología moderna han nacido bajo el seno de esta teoría clásica de la herencia.

Es importante destacar que las estructuras que conforman el material genético fueron proponiéndose desde el final del siglo XIX. La instauración de los términos surgió de los estudios acerca de la célula en el XIX y de los estudios en la genética e hibridología en el XX. La construcción de los términos fue producto de la investigación del proceso de la herencia, es decir, los conceptos de tipo estructural y procesal se fueron estableciendo al mismo tiempo. Las innovaciones conceptuales se iban construyendo o adoptando de otras tradiciones de investigación en la medida en la que se abrían espacios funcionales o nichos, de tal forma que se generaron modelos coherentes. Es justamente a este nivel que podemos entender los obstáculos de lenguaje y verbales que presentan los estudiantes. En algunos casos los estudiantes asignan significados distintos a los conceptos dependiendo el contexto fenomenológico (ya sea constitución del material genético, transmisión de la información a nivel celular o bien transmisión de la información de progenitores a descendientes) en el que se utilicen, como se observó en el análisis de las ideas previas en el capítulo III. Por ejemplo, los estudiantes de bachillerato tienen una representación del material genético cuando se explica la transmisión de la información a nivel macroscópico (determina las características) y otra cuando se explica a nivel microscópico (da las órdenes, el movimiento de los cromosomas pasa a segundo término). Este fenómeno puede entenderse si se recuerda que los alumnos presentan un esquema de representación de la herencia para cada nivel de organización, por lo tanto su conocimiento genético está fragmentado, es decir, presentan tres redes conceptuales diferentes para explicar la constitución del material genético y la transmisión de la información hereditaria. En otras ocasiones las ideas de los alumnos contienen la terminología genética (gen, alelo, cromosoma, ADN) sin embargo, como también se vio en el análisis del capítulo III, los alumnos confunden los términos, lo que ocasiona que posean ideas contradictorias dentro de un mismo contexto, ya sea dentro de su esquema molecular, microscópico o macroscópico.

Regresando a la ecología conceptual, lo que se observa en los alumnos no es un ecosistema sino tres, en los cuales los conceptos no tienen un nicho (espacio funcional) definido. En algunas ocasiones los conceptos desempeñan diferentes funciones para darle sentido a sus ideas aunque sean contradictorias (obstáculo de lenguaje). En otras ocasiones, los conceptos no

tienen una función, simplemente ocupan un lugar en el ecosistema y utilizan el término porque saben que pertenece a esta red conceptual (obstáculo verbal). Es posible que los currículos propicien en los estudiantes esta falta de representación de los conceptos y de sus relaciones, así como la falta de representaciones al nivel molecular y celular.

El objetivo educativo al enseñar genética es que los alumnos construyan un modelo explicativo más aproximado al de la ciencia. Es decir, se pretende que los individuos después de la instrucción hayan creado una red conceptual como la que expone la genética. Lo que se ha observado a lo largo de este trabajo es que los alumnos presentan redes conceptuales alternativas como las señaladas en el capítulo III, que les han resultado funcionales para explicar el fenómeno de la herencia a diferentes niveles de organización (molecular, microscópico y macroscópico) pero que no resultan congruentes con la red propuesta desde el ámbito científico (Capítulo II).

Para alcanzar el objetivo educativo antes expuesto, los estudiantes necesitan tener representaciones de los Por ello es que para proponer los concepciones fundamentales a partir de los cuales se establece la red conceptual genética, se hizo el análisis histórico de la disciplina. Los conceptos se fueron estableciendo, a partir del análisis histórico, en la medida en la que fueron primordiales para superar los obstáculos epistemológicos antes definidos. A estos conceptos se les denomina conceptos o concepciones estructurantes.

Utilizando el recurso histórico en la didáctica de la genética, lo ideal es que los alumnos vayan integrando los conceptos estructurantes a sus esquemas de representación del fenómeno hereditario de manera análoga a la historia de esta disciplina.

IV.2 Análisis de los conceptos estructurantes

Este apartado resulta crucial para entender las diferencias entre las redes conceptuales alternativas construidas por los estudiantes y la red conceptual propuesta en la genética. Para exponer las posibles causas de las diferencias entre ambas, se identificarán en primer lugar los conceptos estructurantes que integran la Teoría de la Herencia. Una vez trazado lo anterior, se distinguirá la presencia o ausencia de estos conceptos en las redes que han construido los

estudiantes, así como las relaciones que entre estas concepciones han sido establecidas por ellos.

En el apartado anterior se identificó el papel de los conceptos estructurantes para la superación de los obstáculos epistemológicos que se presentaron a lo largo de la historia de la genética y que permitieron la construcción de esta disciplina. Al comparar estos obstáculos con los que presentan los alumnos se evidenció la existencia de lagunas conceptuales (ausencia de algunos conceptos estructurantes) en los estudiantes. Para hacer una propuesta de organización en el programa de biología, es importante definir los conceptos estructurantes y su nicho dentro de la red conceptual sobre el fenómeno de la herencia, ya que como lo propone Gagliardi (1988) la identificación de los conceptos estructurantes ayuda a definir los contenidos de enseñanza. El análisis comparativo de las redes conceptuales propuestas desde la ciencia y desde la visión de los estudiantes, servirá de sustento para la propuesta de organización del programa. Para tal propuesta será básico observar cómo se comportan los conceptos estructurantes dentro del ecosistema conceptual científico, así como en el ecosistema alternativo de los estudiantes, si es que están presentes.

En las tablas 4.2, 4.3 y 4.4 se muestran, a manera de síntesis, los conceptos estructurantes que se identificaron a través del análisis histórico de la genética (capítulo II). Al hacer la exploración sobre el nacimiento de la genética, se identificó que ésta surgió de la convergencia de dos líneas de investigación (biología celular e hibridología) por esta razón se proponen dos tablas (4.2 y 4.3) para mostrar los conceptos que derivan de cada una de estas tradiciones y una más (tabla 4.4) en la que se incluyen los conceptos estructurantes que surgieron dentro de la investigación genética. Cabe destacar, como se explicó en el capítulo II, que todas estas concepciones fueron fundamentales en la creación de la red conceptual relacionada al fenómeno de la herencia.

Tabla 4.2 Conceptos estructurantes, en caracteres resaltados, surgidos en el ámbito de la Biología Celular.

Estructurales	Procesales	
Célula: unidad estructural, funcional y de origen de los seres vivos		
Núcleo: estructura interna de todas las células (hoy sabemos que sólo las eucariontes)	Reproducción celular: mecanismo de división de las células en el que se transmite el material contenido en el núcleo, origen de nuevas células.	
Cromosoma: elementos encontrados dentro del núcleo de todas las células, que se pueden observar sólo cuando las células se están dividiendo.		
<p>Células somáticas: células que se producen a través del proceso de mitosis.</p> <p>Diploide: células con el número cromosómico completo, es decir, que presentan un juego doble de cromosomas. Como las células somáticas.</p>	<p>Mitosis: división celular que produce células con la misma cantidad de cromosomas (dos por cada tipo cromosómico),</p>	<p>Meiosis: división celular que produce células con la mitad del número de cromosomas (un cromosomas por cada tipo cromosómico),</p>
<p>Células germinales: células que se producen a través del proceso de meiosis. Estas células se generan en las gónadas y son las que participan en el proceso de la reproducción sexual.</p> <p>Haploide: células que presentan la mitad del número cromosómico, es decir, que presentan un juego sencillo de cromosomas. Como las células germinales.</p>		
<p>Núcleos equipotenciales: Los núcleos de todas las células de la misma especie (somáticas y germinales) deben tener la misma información, es decir los mismos cromosomas.</p>		

Tabla 4.3 Conceptos estructurantes, en caracteres resaltados, generados en el ámbito de la hibridología después del redescubrimiento del trabajo de Mendel.

Estructurales	Procesales
Gen: partícula hereditaria que porta la información para una característica diferencial.	Segregación mendeliana: cada una de las características diferenciales se segregan independientemente. Y cumplen con el patrón hereditario propuesto por Mendel.
Alelo: variantes de una característica diferencial (hoy en día denominada gen)	
Alelo dominante: característica diferencial que siempre se expresa.	
Alelo recesivo: característica diferencial que está latente en los organismos heterocigotos y que sólo se expresa en los homocigotos.	Segregación no mendeliana: características diferenciales que no se segregan independientemente. No cumplen las proporciones predichas por Mendel, es decir, no cumplen el patrón hereditario propuesto por él.
Homocigoto: organismo que para una característica diferencial; dominante o recesiva, tiene la forma del progenitor puro.	
Heterocigoto: organismo que para una característica diferencial tiene la forma del progenitor híbrido.	
Genotipo: toda la información contenida en el material genético.	
Fenotipo: información genética expresada, es decir, características observables en los organismos.	

Tabla 4.4 Conceptos estructurantes, en caracteres resaltados, generados en el ámbito de la genética.

Estructurales	Procesales
Cromosoma: estructuras visibles durante la fase de la división celular que son individuales morfológicamente, cada tipo cromosómico posee genes distintos.	Duplicación: antes del inicio de la fase de reproducción celular el material genético se duplica. De tal forma que cuando la célula entra a la fase de división cada cromosoma homólogo está duplicado.
Cromosomas homólogos: cromosomas que morfológicamente son iguales, por lo tanto poseen los mismos genes (lo que no implica que tengan los mismos alelos).	
Locus: lugar físico que ocupan los genes en un cromosoma.	
Grupo de ligamiento: genes ligados a un mismo cromosoma, es decir, que se encuentran en un mismo cromosoma.	
Mapa genético: mapas de la distribución y tipo de genes en un cromosoma.	

En la primera tabla (4.2) se muestran (en caracteres resaltados) los conceptos estructurantes que crearon los investigadores dentro de la biología celular; así como la función conceptual o nicho conceptual que ocuparon. Como se observa en esta tabla se diferencian los conceptos estructurales de los procesales, y se establecen los conceptos que están relacionados a ambos tipos de conceptos. Los estructurantes relacionados con la estructura son: **núcleo, cromosoma, célula somática, diploide, célula germinal, haploide y núcleo equipotencial**. Los relacionados con procesos son: **reproducción celular** e incluidos dentro de este concepto están los de **mitosis y meiosis**. Se propone la noción de **célula** como un concepto estructural y procesal al mismo tiempo; ya que este elemento está relacionado con el qué y el cómo de la entidad. Es decir, se considera la célula como la estructura fundamental de la vida, así como un elemento que presenta funciones específicas que se reflejan en el organismo completo.

En la segunda tabla (4.3) también en caracteres resaltados y organizados según el tipo de concepción (estructural, procesal o ambas) se pueden observar los conceptos estructurantes definidos en el análisis de la hibridología una vez redescubierto el trabajo de Mendel en 1900. Al igual que en la tabla anterior (4.2), en ésta (4.3) se describe la función conceptual de éstos. Como concepciones estructurales se puede identificar: **gen, alelo, alelo dominante, alelo recesivo, homocigoto, heterocigoto, genotipo y fenotipo**. Los conceptos procesales son: **segregación mendeliana y segregación no mendeliana**.

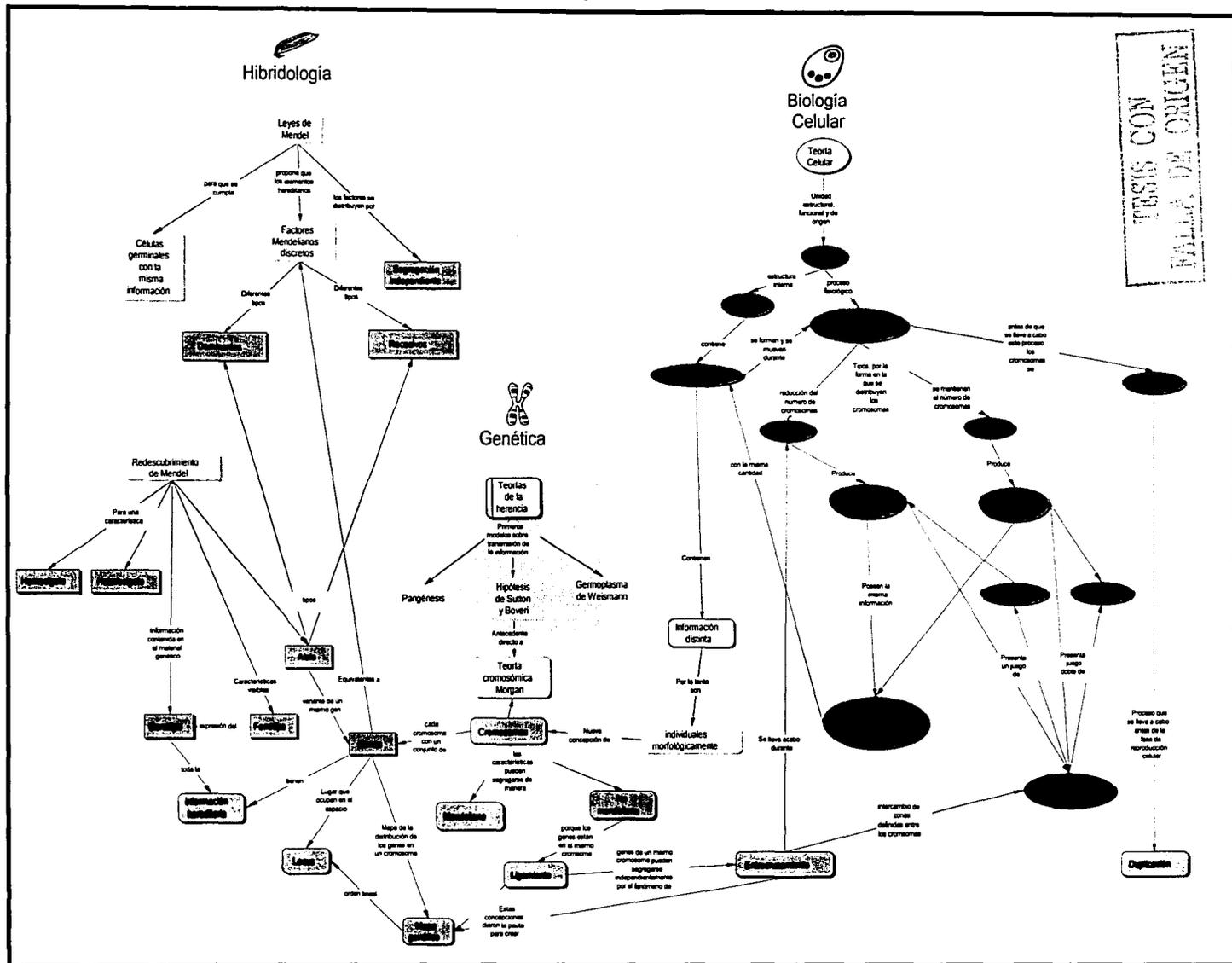
En la tercera tabla (4.4) se muestran los conceptos estructurantes que se propusieron dentro de la genética, específicamente en la Teoría Cromosómica de la Herencia, una vez que se dio la convergencia de las disciplinas antes mencionadas. La estructura de esta tabla (4.4) es idéntica a la que presentan las otras dos (4.2 y 4.3), es decir, se muestran los conceptos según su tipo, así como su nicho conceptual. Dentro de los conceptos estructurales encontramos: **cromosoma, cromosomas homólogos, locus, grupos de ligamiento y mapa genético**. Las concepciones que hacen alusión a un proceso son: **duplicación y entrecruzamiento**, ambos fenómenos relacionados al proceso de meiosis.

La red conceptual que se construyó para explicar el fenómeno de la herencia está conformada por las concepciones que se proponen una vez establecida la genética, aunadas a las

que se establecieron en las líneas convergentes, a las que se puede denominar progenitoras. En la figura 4.1 se muestra un mapa en el que se establecen los conceptos estructurantes definidos en las tablas antes descritas (4.2, 4.3 y 4.4) y sus relaciones funcionales. Es decir, se muestra gráficamente el ecosistema o red conceptual con los conceptos estructurantes y las relaciones que entre cada uno de estos se construyeron en la génesis de la teoría cromosómica de la herencia.

En el mapa se pueden identificar los conceptos que se derivaron de los estudios en hibridología y en biología celular con los colores verde y rosa respectivamente, así como las innovaciones conceptuales hechas en el ámbito genético en color azul. El mapa hace evidente la convergencia de las dos líneas de investigación (Hibridología y Biología Celular) en la propuesta de Morgan. La estructura de esta red conceptual apoya la propuesta hecha a lo largo de este trabajo acerca del papel crucial que jugó el modelo celular en el establecimiento del modelo hereditario. También hace evidente la importancia de la representación del proceso de reproducción celular para explicar las bases citológicas de la herencia, tal como lo propuso Morgan en su trabajo de 1915.

Figura 4.1 Mapa de los conceptos estructurantes definidos en la construcción histórica de la genética.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Una vez definidos los conceptos estructurantes históricos se hizo un análisis de las ideas previas de los estudiantes de bachillerato encontradas en la bibliografía (ideas mostradas en la tabla 3.1 del capítulo III) para identificar la presencia de éstos en cada una de ellas, así como la función conceptual que los alumnos les asignan. También se identificaron los conceptos, que a pesar de no ser parte del conjunto de los conceptos estructurantes definidos en la genética, son constituyentes de la red conceptual alternativa que han generado los aprendices. Estos conceptos sí existen en la terminología científica pero su definición es diferente a la que proponen los estudiantes.

Las tablas 4.5 y 4.6 muestran sintéticamente los conceptos que presentan los estudiantes de bachillerato y la función conceptual de éstos en relación a dos temáticas fundamentales, biología celular y genética (información extraída de las ideas previas que se muestran en la tabla 3.1). En cada tabla se señalan los conceptos estructurantes (en caracteres resaltados) y las concepciones que los alumnos han creado para darle sentido a su explicación sobre el proceso hereditario (en caracteres itálicos y resaltados). Al igual que en las tablas de los conceptos estructurantes definidos para la doctrina (4.2, 4.3, 4.4) en estas tablas (4.5, 4.6) también se diferencian los conceptos alusivos a una estructura o a un proceso.

Tabla 4.5 Conceptos, en caracteres resaltados, de los estudiantes en biología celular.

Estructurales	Procesales	
Célula: elemento estructural en los seres vivos	División celular: mecanismo de división o partición de las células.	
Núcleo: estructura ubicada dentro de la célula		
Cromosoma: estructuras contenidas en el núcleo		
Células somáticas: células del cuerpo	Mitosis: proceso importante para el crecimiento, repartición de la información (órdenes).	Melosis: proceso para generar células reproductoras.
Células germinales: células reproductoras, óvulos y espermatozoides		

Tabla 4.6 Conceptos, en caracteres resaltados, de los estudiantes en genética. Los conceptos en caracteres itálicos y resaltados son los creados por los alumnos para explicar el fenómeno de la herencia.

Estructurales	Procesales
Gen: estructuras que contienen y/o determinan las características de un organismo.	
Cromosoma: estructuras que contienen y/o determinan las características de un organismo.	
Alelo: estructura equivalente a gen.	Reproducción sexual: único mecanismo de transmisión de la información (características).
Cromosoma sexual: cromosomas que se encuentran en las células germinales y que contienen la información de las características para formar un nuevo individuo.	
Información = órdenes: tipo de información que se encuentra en las células somáticas y que define la función de éstas.	
Información = características: tipo de información que se encuentra en las células germinales y que define cómo será físicamente un organismo.	

En la tabla 4.5 se observan los conceptos relacionados con la biología celular. Dentro de los conceptos de tipo estructural encontramos: **célula, núcleo, cromosoma, células somáticas y células germinales**. Los conceptos de tipo procesal son: **división celular, mitosis y meiosis**. Es importante destacar que las funciones conceptuales que asignan los alumnos a cada uno de estos elementos interpretativos difieren en algunos casos de los definidos desde el ámbito científico. Un claro ejemplo de esto es el concepto de célula. Los alumnos la identifican como un elemento estructural de los seres vivos, lo que no implica que la conciben como la unidad fundamental de la vida, es decir, como un elemento vivo *per se*. Otro caso es el concepto de cromosoma. Tanto los alumnos como la ciencia identifican este concepto como una estructura dentro del núcleo de una célula. Sin embargo, los estudiantes no manifiestan que esta estructura sólo se hace visible durante la fase de división de la célula, es decir no tienen claridad sobre su papel en los procesos de división celular y por ende tampoco sobre su participación en los procesos hereditarios. También podemos analizar el concepto de división celular, para los alumnos éste no es más que un mecanismo de división o partición de las células. Por esta razón no se definió como proceso de reproducción celular (como se hizo en la propuesta de los conceptos estructurantes históricos), ya

que esta definición incluye la noción de transmisión del material contenido dentro del núcleo de manera equitativa, tanto en la mitosis como en la meiosis (siempre el mismo juego de cromosomas, aunque en algunos casos se tiene un juego doble y en otro un juego sencillo). De hecho si se examina la representación que tienen los alumnos sobre estos dos mecanismos de reproducción celular se puede notar que es teleológica. Ya que tanto la mitosis como la meiosis se explican definiendo lo que producen.

En la tabla 4.6 se pueden identificar los conceptos relacionados con la genética. En este tema se encuentran concepciones que no se pueden denominar estructurantes ya que son conceptos que los alumnos utilizan para explicar la herencia. Dentro de los conceptos de tipo estructural encontramos: **alelo, cromosoma sexual, información como órdenes e información como características**. Como concepto de tipo procesal se identificó: **reproducción sexual**. Y como conceptos que son de ambos tipos se reconocieron los siguientes: **gen y cromosoma**. Al igual que en el caso de los conceptos definidos para el tema de biología celular, pero de manera más dramática, la función de los conceptos genéticos de los estudiantes discrepan de la función que cumplen estos conceptos dentro de la red conceptual que ha creado la ciencia. Los casos más notorios son los de los conceptos de gen, cromosoma, alelo. Si se observa la definición de cada uno de ellos podría decirse que los alumnos les asignan las mismas funciones conceptuales, aunque esto no sea explícito entre los conceptos de gen y cromosoma. Es decir, estos tres conceptos tienen el mismo nicho conceptual en la red conceptual que presentan los estudiantes. Sin embargo, esta situación no resulta conflictiva para los alumnos, ya que pueden utilizar los conceptos como sinónimos. Si este fuera el caso en la ciencia, estos conceptos competirían, retomando la analogía de la ecología conceptual. De hecho, si se vuelve al análisis histórico realizado en el capítulo II se puede ver que los conceptos de cromosoma y gen (aunque todavía no se había propuesto este término pero sí la función conceptual) compitieron entre ellos. Esto sucedió en el momento en el que se discutió la posible ubicación de las partículas que poseían la información hereditaria. Los investigadores se dieron cuenta de que era imposible la relación característica-cromosoma porque el número de cromosomas en una célula es mucho menor al número de características diferenciales que se presentan en un organismo. Por lo tanto en cada

uno de los cromosomas que se encuentran en una célula deberían estar las partículas que poseen esta información, y que después serían bautizadas como genes. Con esta idea en mente se realizaron algunas experiencias que llevaron a los investigadores a confirmar su hipótesis, por ejemplo las realizadas por Sutton y Boveri.

En relación con los conceptos que los estudiantes utilizan para explicar el fenómeno de la herencia, lo que se destaca es que les asignan funciones conceptuales, que no tienen nada que ver con la que les han sido asignadas desde la postura científica. Tal es el caso de la concepción de los cromosomas sexuales. Los alumnos suponen que estos cromosomas son los que se encuentran en las células sexuales, las cuales son responsables de la transmisión de la información para generar nuevos individuos. Lo que evidentemente disiente de lo que se establece desde la visión biológica pues los cromosomas sexuales son definidos como el único par de cromosomas que difieren en su forma y que definen el sexo de un organismo.

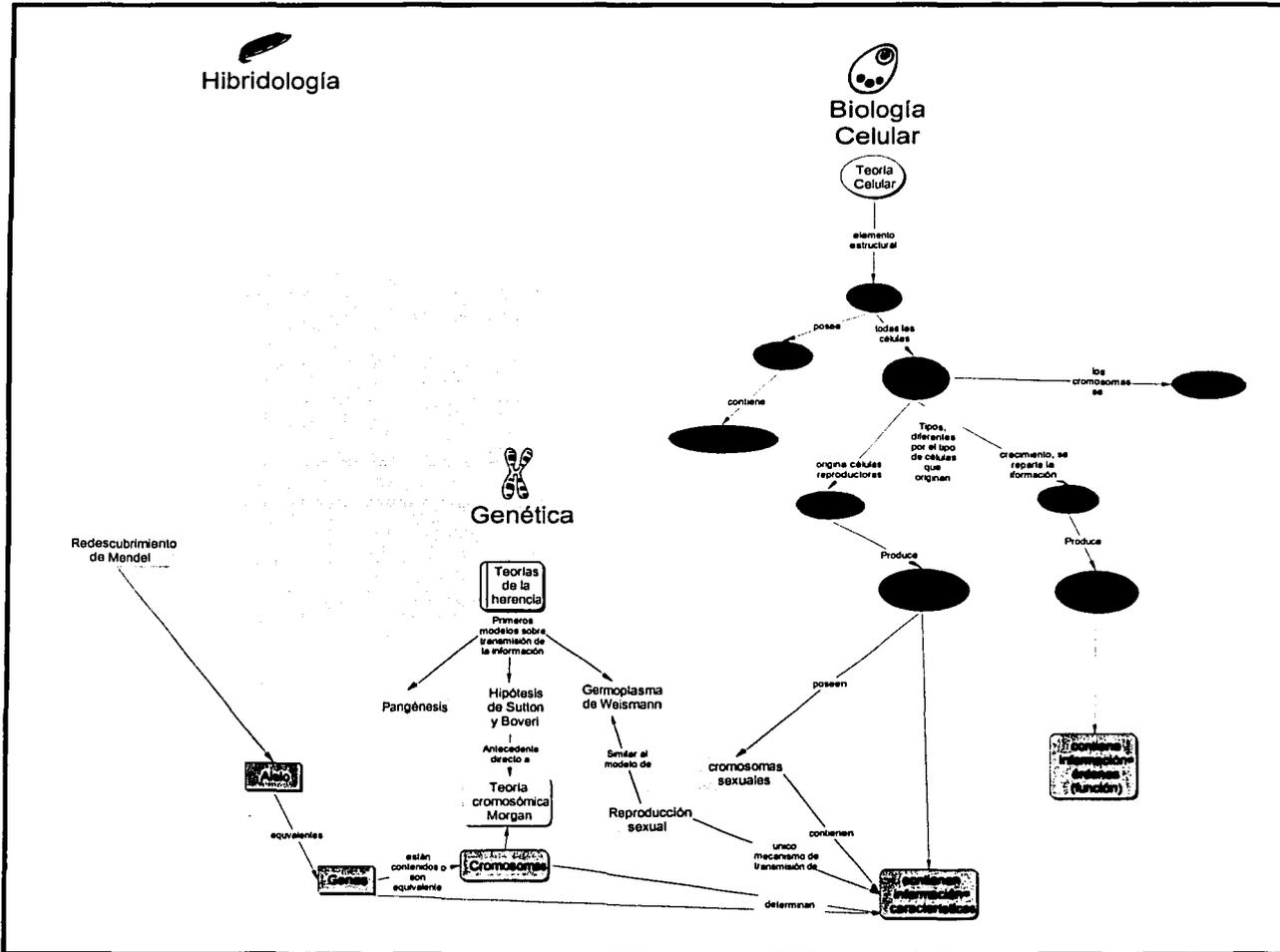
Una vez identificados los conceptos a partir de los cuales los alumnos construyen su esquema sobre el fenómeno hereditario, se establecieron las relaciones que existen entre cada uno de ellos. El resultado de este ejercicio se muestra gráficamente en la figura 4.2.

Si se compara la estructura de ambos mapas (figuras 4.1 y 4.2), es indudable que en el esquema genético de los alumnos hacen falta varios de los conceptos estructurantes definidos en la génesis de esta disciplina. Igualmente se evidencia que las relaciones entre los conceptos que poseen los estudiantes son diferentes a las que se plantean desde la perspectiva científica. En este esquema (figura 4.2) se identifican algunas de las posibles causas de la problemática educativa propuesta en el capítulo anterior.

La primera causa está relacionada con la representación del concepto **célula** (tabla 4.5). Los alumnos ven a la célula como un elemento de construcción, es decir, no como una entidad viva independiente. La segunda causa está relacionada con la concepción de los estudiantes sobre el fenómeno de la **reproducción**. Los alumnos piensan que el único mecanismo de transmisión de la información genética es la reproducción sexual (tabla 4.6). Para ellos la reproducción celular es tan sólo un mecanismo de división en el cual la transmisión de la información genética pasa a segundo término (tabla 4.5). Si bien los estudiantes al describir el mecanismo de división celular hablan del

movimiento de los cromosomas, no centran su atención en la distribución de este material. Esto ocurre porque no consideran que la parte más importante de este proceso es justamente la transmisión de este material (independientemente de si se trata de la meiosis o la mitosis). Para los estudiantes lo que es importante en el proceso de la reproducción es lo que se produce: la mitosis es importante porque produce células somáticas y la meiosis porque genera células germinales.

Figura 4.2 Mapa de los conceptos estructurantes y las relaciones entre cada uno de ellos en los esquemas genéticos de los alumnos.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

La tercera causa tiene que ver con la representación del material genético y sus relaciones funcionales (**cromosomas, genes, alelo, información**) (tabla 4.6). Lo más evidente al observar el mapa (figura 4.2) es el reducido número de conceptos que integran esta red en comparación con la científica (figura 4.1). Como se definió en los obstáculos de lenguaje y verbales, esta falta de representaciones conceptuales resulta ser el impedimento más importante para que los alumnos construyan un modelo hereditario similar al que se propone desde el ámbito científico. Ya que la conceptualización es fundamental en toda teoría.

Si el objetivo educativo es propiciar que los alumnos construyan esquemas de representación aproximados a los propuestos desde el ámbito científico es fundamental que tengan los elementos conceptuales para edificar sus representaciones. Retomando la analogía con la ecología, Toulmin propone que:

"A falta de nichos adecuados, el potencial genético de una población quedará sin ser explotado; mientras que en ausencia de poblaciones adecuadas quedarán sin satisfacerse las exigencias ecológicas de un nicho determinado" (Toulmin, 1972 en Ruiz y Ayala, 1998)

Esta cita resulta muy significativa dada la problemática establecida en esta tesis, dado que aunque los alumnos posean los conceptos, si no se han creado los nichos funcionales para estas concepciones, éstas quedarán sin ser explotadas; así mismo, si los alumnos han identificado un nicho determinado pero no poseen conceptos que puedan satisfacerlo, éste quedará sin ser utilizado. Ecológicamente no tiene sentido hablar de la existencia de nichos sin una población y viceversa, sin embargo, en la ecología cognitiva de un individuo, si bien tampoco puede hablarse de nichos sin conceptos y viceversa, existe la posibilidad de que en el aula se introduzcan las innovaciones conceptuales para que los estudiantes las integren a sus ecosistemas conceptuales. Por lo tanto, la organización de los contenidos curriculares puede ayudar a que se vayan presentando los conceptos de manera análoga a como fueron apareciendo en la génesis de la disciplina para favorecer que los aprendices vayan creando los nichos y los conceptos al mismo tiempo.

Sería conveniente que en el diseño de los currículos de biología se considerara la evolución histórica de las diferentes ramas que la integran (como la genética) para definir los contenidos de los cursos. Este análisis histórico puede ayudar a especificar los conceptos estructurantes presentes en los momentos de transformación o de instauración de una ciencia y por lo tanto, pueden permitir la determinación de los conceptos estructurantes en la enseñanza. Saber cuáles fueron las innovaciones conceptuales que emergieron en un momento histórico de cierta disciplina ayudaría a definir los conceptos estructurantes que debe construir el alumno. De tal forma que los programas faciliten que el individuo vaya construyendo una red en la que la mayoría de los conceptos y sus nichos estén presentes de manera que sirva de base para incorporar nuevos conocimientos.

IV. 3 Análisis del programa de bachillerato para elaborar una propuesta

Para hacer una propuesta educativa, que tome en consideración el análisis hecho en este trabajo, es importante examinar alguno de los programas de biología propuestos para el nivel bachillerato. Este análisis permitirá ver si el programa sigue un orden coherente con la historia de la genética y con la aparición de los conceptos estructurantes. Ya que como se propone en este tesis uno de los problemas de la enseñanza- aprendizaje de la genética tienen que ver con las carencias conceptuales de los alumnos.

El programa que se analizará es el de la Escuela Nacional Preparatoria (ENP). Ya que de aproximadamente 340 escuelas de nivel bachillerato incorporadas a la UNAM el 80% de ellas usa este sistema (datos obtenidos de la página de la Dirección General de Incorporación y Revalidación de Estudios –www.dgire.unam.mx).

En el sistema educativo mexicano el estudio de los conceptos básicos que integran el cuerpo de conocimientos genéticos, es decir, dónde se ubica y cómo se transmite la información hereditaria se inicia a nivel secundaria y se continua en el bachillerato. Dado que en esta tesis se hace un análisis de la problemática a nivel bachillerato, solamente se revisa el plan de estudios de biología en este nivel.

Por lo que respecta al tema de genética, si se quiere hacer una propuesta curricular que tome como eje central los conceptos estructurantes, es esencial que se revise como están organizadas las concepciones definidas. Es decir, si están presentes explícitamente o no y cual es el orden en el que son presentados en el programa de biología de la ENP, ya que como se expuso en el apartado anterior, los alumnos presentan una red de elementos conceptuales alternativos y escasos en comparación a la que se propone en la disciplina. Por lo tanto si el objetivo es que los alumnos tengan esquemas o redes conceptuales semejantes a las de la ciencia, se debe propiciar que los alumnos vayan integrando los conceptos estructurantes a sus esquemas conceptuales.

IV.3.1 El programa de biología de la ENP

Durante la década de los noventa fue reformulado el programa de biología de la ENP. El propósito de este cambio era favorecer que a lo largo del curso el alumno fuera integrando la información que adquiere. Se busca que sea capaz de entender los conceptos, los principios y las generalizaciones más importantes de la biología, con el fin de que tenga una visión integral de la naturaleza de los seres vivos y sus funciones.

Las innovaciones en cuanto al contenido se relacionan con dos aspectos: a) *la secuencia de las unidades temáticas*, y b) *la actualización de los contenidos a la luz de los avances de la ciencia y a la concepción actual de la Biología como ciencia integral* (Programas de estudio de las asignaturas de Biología IV y V de ENP, 1994). Con respecto al primer aspecto, con esta nueva organización se pretende ayudar al alumno a construir su propio conocimiento de tal forma que vaya relacionando e integrando la información que se le va presentando. Para alcanzar este objetivo se plantea un orden temático que inicia con el estudio de los procesos celulares para ir analizando procesos cada vez más complejos. Es decir, se propone que el alumno construya en primer grado las bases teóricas sobre las cuales descansan las teorías integradoras de la biología (Hereditarias, Evolutivas y Ecológicas).

Estas modificaciones son coherentes con el planteamiento hecho en este trabajo. El programa de Biología IV (Apéndice I), obligatorio para todos los estudiantes, muestra una estructura lógica con respecto a la construcción de la biología. En la primera unidad se plantea una

introducción a la biología; en la segunda unidad se propone el estudio de la célula como principio unificador de los seres vivos; la tercera aborda los temas de continuidad de la vida, justamente en esta unidad se estudian los procesos de reproducción y los mecanismos hereditarios; en la cuarta unidad se estudia la evolución de los seres vivos; la quinta trata sobre la historia evolutiva de la diversidad biológica; y finalmente la sexta trata los temas de ecología.

El análisis de la segunda unidad (*La célula: unidad estructural y funcional de los seres vivos*) y la tercera (*Procesos para la continuidad de la vida*) son fundamentales para definir si en el planteamiento de los contenidos de éstas aparecen los conceptos estructurantes definidos en esta tesis.

El programa aparentemente tiene un enfoque constructivista, porque pretende que los estudiantes sean responsables de su aprendizaje, partiendo de un proceso de enseñanza-aprendizaje centrado en el alumno. Sin embargo, en su aplicación el planteamiento del plan de estudios de Biología IV, no considera actividades para evidenciar el conocimiento previo de los alumnos antes de iniciar cada unidad. Por lo tanto es posible que los propósitos que se pretenden alcanzar en cada una de las unidades no se logren. Ya que como se ha propuesto en esta tesis, los individuos construyen sobre las estructuras cognitivas que han edificado con anticipación. Lo que implica que los alumnos antes de comenzar los cursos ya poseen esquemas conceptuales sobre el fenómeno de la herencia. Estos esquemas están creados a partir de su experiencia sensorial, su contexto cultural, la información escolar y las imágenes que tienen de cada uno de los conceptos que integran al cuerpo de conocimientos genético (por ejemplo: célula, reproducción celular, cromosomas, gen, alelo, dominante, recesivo, heterocigoto, homocigoto, etcétera).

IV.3.2 Contenidos del tema de biología celular

La unidad denominada: *La célula: unidad estructural y funcional de los seres vivos*, aborda los temas relacionados con la estructura y fisiología celular (Apéndice I). El propósito de esta unidad, como se plantea en el programa, es que *el alumno comprenda que la estructura y los procesos metabólicos celulares son la base de la unidad y diversidad de los seres vivos.*

El análisis de los obstáculos epistemológicos en la historia de la genética y en los individuos muestra la importancia de tener una representación de célula, como la que se plantea en el párrafo anterior, antes de comenzar a construir una representación del fenómeno de la herencia.

En esta unidad se presentan los siguientes conceptos estructurantes: **célula, núcleo**. En la tabla 4.7 se muestra la organización de los contenidos. En el tema relacionado con la teoría celular sería fundamental no sólo que se proponga a la célula como principio unificador de los seres vivos, como se ha destacado en este trabajo, es capital que se haga hincapié en que la célula es una estructura que está viva, por lo tanto es individual estructural y funcionalmente. Esta visión lleva directamente a la manera en la que se abordará el siguiente contenido. Como se observa en la tabla (4.7) en el tema 5 se pretende que los alumnos conceptualicen a la célula como la unidad de los seres vivos, para lo cual se valen del análisis de la estructura y función de los elementos que la conforman.

En esta unidad sería fundamental propiciar que los alumnos comenzarán a desarrollar un esquema de representación que sirviera de base para después entender que los sistemas vivos pueden explicarse a través de las relaciones entre diferentes niveles de organización: el molecular, el microscópico y el macroscópico.

Tabla 4.7. Contenidos temáticos de la unidad II, biología IV: *La célula: unidad estructural y funcional de los seres vivos.*

Tema	Contenido	Propósito
1, 2, 3	Introducción a la unidad	Comprender a la estructura y metabolismo como principios de unidad y diversidad en los seres vivos; niveles de organización en la materia; composición química de los seres vivos.
4	Teoría Celular	Entender origen y desarrollo de la teoría celular, destacando su importancia como principio unificador de los conocimientos biológicos de la época.
5	Estructura y funciones celulares	Entender a la célula como unidad de origen, estructura y función, para ello analizar la estructura y función de los elementos que la conforman.
6	Tipos celulares: células procariontes y eucariontes	Analizar las diferencias de organización entre ambas células, para entender la diversidad.
7	Metabolismo celular: respiración, fotosíntesis, etc.	Revisar los principales mecanismos metabólicos de las células como una característica de unidad.
8	Diferencias entre sistemas unicelulares y pluricelulares	Comprender como se lleva a cabo la integración de los diferentes niveles de organización en un individuo pluricelular.

IV.3.3 Contenidos del tema de genética

En la unidad denominada: *Procesos para la continuidad de la vida*, se abordan los temas relacionados con la genética (Apéndice I). Con esta unidad se pretende que los alumnos comprendan los procesos biológicos que permiten la permanencia y la continuidad de la vida, así como su importancia como característica de unidad y diversidad en los seres vivos.

En esta unidad se deberían establecer las relaciones entre los tres grandes tópicos que integran a la genética y que como se analizó (capítulo III) están desvinculados en los esquemas de los estudiantes. Por un lado debe generarse una representación de la naturaleza del material genético, es decir, los alumnos deben construir una representación de la estructura-función de este material (nivel molecular); por otro los estudiantes deben entender que este mismo material se transmite a través de los mecanismos de reproducción. El primer mecanismo es la reproducción celular, de célula a célula (nivel microscópico), y el segundo la reproducción sexual, de progenitores a hijos (nivel macroscópico). Probablemente este es el punto crucial, la genética resulta un cuerpo de conocimiento complicado porque explica el desarrollo genealógico (entre individuos, reproducción sexual) y el desarrollo ontológico (en un individuo, reproducción celular). Por lo tanto la introducción a la unidad debería contemplar esta visión de la genética.

A lo largo de esta unidad se pueden distinguir los siguientes conceptos estructurantes: **reproducción celular: mitosis y meiosis**, ciclo celular: **duplicación**, **reproducción sexual**, herencia molecular: **genes, cromosomas, información hereditaria**. En la tabla 4.8 se muestra la organización de los contenidos.

Tabla 4.8 Contenidos temáticos de la unidad III, biología IV: *Procesos para la continuidad de la vida*.

Tema	Contenidos	Propósitos
1	Introducción a la unidad	Ver a la reproducción y herencia como procesos de permanencia y continuidad de la vida.
2	Reproducción celular: ciclo celular, mitosis y meiosis	Estudiar a la división celular destacando su importancia en el proceso de continuidad de la vida y como un proceso característico de todas las células, tanto en individuos unicelulares como pluricelulares.

3	Reproducción individual: asexual, sexual, fecundación y desarrollo embrionario	Analizar la reproducción sexual y asexual para entender los procesos de continuidad y diversidad de la vida.
4	Desarrollo e importancia de la genética	Estudiar el desarrollo de la genética y analizar sus aportaciones para la construcción de nuevos conocimientos biológicos y la resolución de necesidades humanas.
5	Herencia mendeliana y teoría cromosómica: primera y segunda leyes de Mendel; y teoría cromosómica de la herencia	Estudiar el trabajo de Gregorio Mendel y la Teoría Cromosómica de la herencia de Morgan, para analizar sus aportaciones para la comprensión del proceso de la transmisión de los caracteres hereditarios.
6	Determinación del sexo. Herencia ligada al sexo: daltonismo y hemofilia. Alteraciones genéticas: aberraciones cromosómicas	Permitir que el estudiante adquiera una actitud responsable frente a la vida al analizar estos contenidos.
9	Herencia molecular: moléculas de la herencia, estructura y función del ADN y ARN; genes y cromosomas; cambios en el material genético	Comprender la importancia de las estructuras genéticas como entidades de almacenamiento, traducción y transmisión de la información hereditaria.
10	Concepto de continuidad: integración de los conocimientos de la unidad	Se pretende que los alumnos y el profesor retomen los conocimientos adquiridos durante la unidad para que los primeros construyan su concepto de continuidad y reconozcan los procesos biológicos que permiten la conservación de las especies a través del tiempo.

Es interesante ver como se retoma la perspectiva celular (tema 2) para iniciar el estudio de la genética. Las conclusiones a las que se ha llegado con este trabajo demuestran la importancia de vincular directamente esta representación con el fenómeno de la herencia. Sin embargo en el tema 2 (tabla 4.8) no se plantea introducir el concepto estructurante de **cromosoma**. El mapa de los conceptos que poseen los estudiantes (figura 4.2) muestra que éstos conciben los procesos de división celular como mecanismos de crecimiento (mitosis) o bien como mecanismo para generar células reproductoras (meiosis), es decir, no los conciben como mecanismos de transmisión de la información hereditaria. Por lo tanto sería fundamental que a este nivel se destaque la importancia del proceso en la transmisión de la misma dotación de cromosomas, es decir, mostrar a los alumnos que las células tienen **núcleos equipotenciales** (que es otro de los conceptos estructurantes definidos en el capítulo II).

Esta representación permitiría que los alumnos se dieran cuenta que todas las células generadas a través del proceso de **mitosis** son idénticas ya que poseen la misma información, los mismos cromosomas. Entonces se podría mostrar que los cromosomas en las células somáticas vienen en pares, cada uno de los cromosomas de un par es denominado **cromosoma homólogo**.

También se podría evidenciar que la **meiosis** sólo se lleva a cabo en los órganos reproductores. Así mismo se demostraría que las células que entran al proceso meiótico son **diploides**, es decir, células que tienen cromosomas agrupados en pares de cromosomas homólogos (es decir se han generado por mitosis). Esto ayudaría a los estudiantes a ver que la meiosis es un proceso de reproducción en el que se reduce el número cromosómico, es decir, produce células con sólo un representante de cada cromosoma homólogo, células **haploides**.

Lo que se propone es que al hablar sobre el proceso de reproducción celular se introduzcan los siguientes conceptos estructurantes: **reproducción celular, cromosoma, cromosomas homólogos, mitosis, células diploides, células somáticas, meiosis, células haploides, células germinales, núcleos equipotenciales**.

En el tema 3 (tabla 4.8) se aborda la reproducción individual: asexual y sexual. Con respecto a la reproducción sexual sería importante que antes de iniciar el tema que el profesor observara los modelos que construyeron los alumnos sobre el proceso de meiosis. La introducción del proceso de fertilización en este punto ayudará a los alumnos a entender de dónde viene cada uno de los cromosomas homólogos presentes en la células diploides. A partir de esta diferenciación se podría discutir la diferencia entre la reproducción celular y la sexual en relación con el mecanismo de transmisión de la información.

Si se retoma la idea de hacer un programa que tenga como eje los conceptos estructurantes, a partir del tema 4 se propone un camino distinto. Ya que la organización de los siguientes temas de la unidad III (tabla 4.8), si bien contienen algunos de los conceptos estructurantes que en este trabajo se han definido, el orden en el que se presentan no concuerda con el momento histórico en el fueron apareciendo. Esta situación podría favorecer que los alumnos construyeran una red conceptual alternativa a la científica sobre la naturaleza y transmisión del material genético (como la que se presentó en la figura 4.2).

Antes de iniciar con las leyes de Mendel y la Teoría Cromosómica de Morgan sería fundamental introducir los siguientes conceptos estructurantes: **cromosoma** (como portador de la información hereditaria, individual morfológicamente, con información distinta), **gen, alelo, alelo dominante, alelo recesivo, homocigoto, heterocigoto, genotipo, fenotipo, meiosis:**

entrecruzamiento, grupo de ligamiento, segregación mendeliana y no mendeliana (relacionando la segregación con el modelo de meiosis y la constitución del material genético). Ya que si bien la propuesta de Mendel no utilizó estos elementos conceptuales al ser expresada (como se observa en el capítulo II), la teoría cromosómica si los requiere. Lo que se observa en el programa es que a los alumnos no se les enseña la propuesta de Mendel en términos mendelianos, sino la propuesta de Mendel desde la perspectiva de la teoría cromosómica, es decir, con todos los conceptos que en ésta teoría se utilizan.

Como se observa en este capítulo los alumnos tienen enormes lagunas conceptuales (figura 4.2) como se discutió en el apartado de análisis de los conceptos estructurantes. Por consiguiente, es importante promover que los estudiantes antes de introducirse a la teoría cromosómica identifiquen los elementos conceptuales que pertenecen a este ecosistema de tal forma que puedan construir un esquema en el que las relaciones entre los conceptos coincidan con las que propone la ciencia (figura 4.1). Por lo tanto sería ideal que entre los temas 3 y 5 se introduzcan los conceptos estructurantes que se mencionan en el párrafo anterior. Así el currículo sería más coherente desde la perspectiva histórica y ayudaría a los alumnos a construir un esquema genético más cercano al que propone la ciencia.

IV.3.4 Propuesta educativa

La propuesta que en esta tesis se elabora está en función del orden temático de la unidad que trata sobre el fenómeno de la herencia. A través del análisis realizado a lo largo de este trabajo se ha identificado la existencia de una problemática real en el aprendizaje de la genética. Para entender las causas de este problema educativo se recurrió al análisis histórico de la disciplina con el fin de comprender las dificultades a las que se enfrentó la comunidad científica en la construcción de la genética. Se puso especial énfasis en aquellos conceptos que fueron esenciales para superar dichos obstáculos, y que han sido denominados como conceptos estructurantes. Estos conceptos estructurantes son unidades pertenecientes a una misma red conceptual y poseen un nicho definido. Tomando en consideración el análisis comparativo entre la construcción histórica de la genética y la construcción del conocimiento de esta disciplina en los alumnos (basado en las ideas

previas de los estudiantes), así como el análisis del programa de biología IV de la ENP se plantea una organización distinta de los contenidos de enseñanza en el tema de genética, que tenga como eje directivo los conceptos estructurantes ya mencionados.

El objetivo de esta propuesta es:

- ✓ Propiciar que los estudiantes construyan una red conceptual que explique el fenómeno hereditario semejante al que se propone desde la postura científica.

Para alcanzar este propósito se toma en consideración la problemática descrita en este trabajo al hacer el análisis de las ideas previas que poseen los estudiantes:

- ✓ *Los alumnos presentan un conocimiento fragmentado sobre el fenómeno de la herencia, porque no han logrado establecer las relaciones explicativas que existen entre los diferentes niveles de organización a través de los cuales se ha construido el conocimiento genético (macroscópico, microscópico y molecular).*

Así como las causas por las cuales este esquema está fragmentado, propuestas en el capítulo III y que se demostraron al hacer el análisis bilateral de los obstáculos epistemológicos y conceptos estructurantes:

- ✓ *Los alumnos no tienen una representación adecuada del concepto de célula. Es decir, no la conciben como la unidad estructural, funcional y de origen de los seres vivos.*
- ✓ *Los alumnos identifican el proceso de reproducción exclusivamente con la reproducción sexual. Para ellos la reproducción celular es tan sólo un fenómeno de división o bipartición de células. Por lo tanto el único mecanismo de transmisión de la información hereditaria es la reproducción sexual.*
- ✓ *Los alumnos han construido su esquema hereditario haciendo uso de un número limitado de conceptos. Esta situación evidentemente obstaculiza la construcción de un modelo hereditario apegado al científico.*

En la tabla 4.9 se presenta la propuesta de organización de los contenidos en la Unidad III del programa de biología IV de la ENP, dicha tabla (4.9) muestra los temas, los contenidos incluidos en éstos, así como los propósitos que se quieren alcanzar y los conceptos estructurantes que se irán introduciendo en cada uno de los contenidos.

Tabla 4.9 Propuesta de organización de los contenidos para el tema de genética en la Unidad III del programa de Biología IV de la ENP. Las innovaciones que se proponen en este programa están diferenciadas por el tipo de carácter que se usa (la propuesta usa el carácter Comic Sans MS).

Tema	Contenidos	Propósitos	Conceptos estructurantes
1	Introducción a la unidad.	*Reconocimiento de la diversidad en los seres vivos de diferentes especies y dentro de una misma especie. *Ver a la reproducción y herencia como procesos de permanencia y continuidad de la vida.	
2	Reproducción	*Importancia del fenómeno de la reproducción como mecanismo de transmisión del material hereditario.	
2	Transmisión de la información de progenitores a hijos: reproducción sexual	*Analizar la reproducción sexual para entender los procesos de continuidad y diversidad de la vida. *Hacer evidente que la fertilización es el proceso en el que los gametos (masculino y femenino) se fusionan y restablecen la diploidía. *Cada miembro del par cromosómico procede de cada uno de los progenitores. *Todas las células que se producen a partir del cigoto tienen exactamente la misma información genética.	*Cromosomas homólogos *Ploidía: células diploides y haploides.
2	Transmisión de la información de célula a célula: reproducción celular	*Estudiar a la reproducción celular destacando su importancia en el proceso de continuidad de la vida y como un proceso característico de todas las células.	*Reproducción celular *Mitosis *Células somáticas, células diploides

Tabla 4.9 Propuesta de organización de los contenidos para el tema de genética en la Unidad III del programa de Biología IV de la ENP. Las innovaciones que se proponen en este programa están diferenciadas por el tipo de carácter que se usa (la propuesta usa el carácter Comic Sans MS).

		<p>tanto en individuos unicelulares como pluricelulares.</p> <p>*Distinguir que todas las células eucariontes tienen cromosomas; en éstos se localiza la información hereditaria, por lo tanto todos los seres vivos eucariontes tienen células, cromosomas e información hereditaria.</p> <p>*La importancia de los diferentes mecanismos de reproducción es que mantienen constante el número de cromosoma característico de cada especie.</p> <p>*Evidenciar que los en los seres vivos multicelulares (principalmente plantas y animales) existen células somáticas y reproductoras.</p> <p>* Demostrar que la diferencia entre estas células depende del mecanismo de reproducción del que provienen, de tal forma que, las células somáticas se generan a partir de la mitosis, las células germinales a partir de la meiosis.</p> <p>*Las células que se generan a partir de la mitosis reciben la dotación cromosómica completa, son diploides, por lo tanto todas tienen información genética idéntica.</p> <p>*Las células germinales son haploides (media dotación cromosómica) y provienen de células diploides, es decir las células que entran a un proceso de meiosis son las diploides. Sólo se producen en los órganos reproductores.</p> <p>*Durante la fase de reproducción se observa que en las células diploides los cromosomas se encuentran agrupados en parejas de cromosomas homólogos.</p> <p>*Durante la meiosis se lleva acabo una reducción del número de cromosomas, de ahí que las células sean haploides, por lo tanto la información en cada una de las células germinales es distinta.</p>	<p>*Meiosis *Células germinales, células haploides *Duplicación *Cromosoma, cromosoma homólogo *Núcleos equipotenciales</p>
2	<p>Relación entre la reproducción celular y la sexual en cuanto a mecanismos de transmisión de la información hereditaria</p>	<p>*Que los alumnos se den cuenta que el material que se transmite en ambos tipos de reproducción es el mismo, lo que no implica que sea la misma información.</p> <p>*Hacer evidente las relaciones entre la reproducción sexual y la celular, con el fin de establecer una conexión entre ambos procesos y favorecer las construcción de un modelo hereditario integral.</p>	

3	Células, cromosomas, genes y herencia	<p>*Evidenciar que los cromosomas son individuales por su forma y por la información que contienen. Puede hacerse referencia al modelo de los cromosomas sexuales y a la hipótesis de Sutton y Boveri.</p> <p>*Esclarecer la relación entre gen- cromosoma. Los genes, estructuras portadoras de la información genética, son parte de los cromosomas.</p> <p>*Cada tipo cromosómico tiene determinados genes distintos a los de otros tipos cromosómicos.</p> <p>*Los genes pueden presentar variedades distintas, estas variedades de un mismo gen son los alelos.</p> <p>*Cada alelo de un gen se encuentra en uno de los cromosomas homólogos.</p> <p>*Los alelos dependiendo de su patrón de expresión pueden ser dominantes o recesivos.</p> <p>*Para un determinado gen los organismos pueden presentar alelos dominantes o recesivos.</p> <p>*El conjunto de genes de un individuo es denominado genotipo.</p> <p>*La expresión del genotipo esta influenciada por el medio ambiente y el resultado de esta influencia es el fenotipo, o características visibles de un organismo.</p>	<p>*Cromosomas sexuales</p> <p>*Gen</p> <p>*Alelo</p> <p>*Alelo dominante, alelo recesivo</p> <p>*Homocigoto, heterocigoto</p> <p>*Genotipo</p> <p>*Fenotipo</p>
---	---------------------------------------	--	--

Tabla 4.9 Propuesta de organización de los contenidos para el tema de genética en la Unidad III del programa de Biología IV de la ENP. Las innovaciones que se proponen en este programa están diferenciadas por el tipo de carácter que se usa (la propuesta usa el carácter Comic Sans MS).

4	Teoría cromosómica de Morgan: mecanismo de la herencia mendeliana	<p>*Estudiar el trabajo de Gregorio Mendel y la Teoría Cromosómica de la herencia de Morgan, para analizar sus aportaciones para la comprensión del proceso de la transmisión de los caracteres hereditarios.</p> <p>*Hacer que los alumnos utilicen los conceptos estructurantes antes aprendidos para entender el trabajo de Morgan. Es decir, el establecimiento de las bases citológicas del mecanismo hereditario propuesto por Mendel.</p> <p>*A partir del análisis del trabajo de Morgan se pueden ir introduciendo los resultados cuantitativos que llevaron a Mendel a proponer sus dos leyes.</p>	<p>*Meiosis: entrecruzamiento, grupo de ligamiento</p> <p>*Segregación mendeliana y no mendeliana</p> <p>*Locus</p> <p>*Mapa genético</p>
5	Resolución de Problemas	*Hacer que los alumnos resuelvan problemas de genética y que interpreten los resultados a través de su esquema genético.	
6	Determinación del sexo. Herencia ligada al sexo: daltonismo y hemofilia. Alteraciones genéticas: aberraciones cromosómicas.	Permitir que el estudiante adquiera una actitud responsable frente a la vida al analizar estos contenidos.	
7	Herencia molecular: moléculas de la herencia, estructura y función del ADN y ARN; genes y cromosomas; cambios en el material genético.	Comprender la importancia de las estructuras genéticas como entidades de almacenamiento, traducción y transmisión de la información hereditaria.	
8	Concepto de continuidad: integración de los conocimientos de la unidad.	<p>*Analizar la importancia de la genética y sus aportaciones para la construcción de nuevos conocimientos biológicos y la resolución de necesidades humanas. Así como sus aplicaciones tecnológicas y sociales.</p> <p>*Se pretende que los alumnos y el profesor retomen los conocimientos adquiridos durante la unidad para que los primeros construyan su concepto de continuidad y reconozcan los procesos biológicos que permiten la conservación de las especies a través del tiempo.</p>	

Tabla 4.9 Propuesta de organización de los contenidos para el tema de genética en la Unidad III del programa de Biología IV de la ENP. Las innovaciones que se proponen en este programa están diferenciadas por el tipo de carácter que se usa (la propuesta usa el carácter Comic Sans MS).

Esta propuesta de organización de los contenidos pretende que los estudiantes construyan esquemas de representación del fenómeno hereditario de manera significativa y que no se propicie el aprendizaje memorístico. Es necesario decir que el aprendizaje significativo supone establecer relaciones entre el nuevo conocimiento y el que ya poseen los individuos. Es decir, aprender significativamente implica un proceso de construcción de conocimientos a partir de los conocimientos que ya poseen los individuos. Por lo tanto, es importante resaltar que antes de iniciar la unidad se deben considerar las representaciones que tienen los estudiantes sobre el tema. Así mismo debe considerarse que los alumnos necesitan que el conocimiento que se les presente este relacionado de alguna manera con su entorno cotidiano. Por lo tanto es primordial un tema introductorio (Tema 1, tabla 4.9). En este deben salir a relucir cuestionamientos naturales de los individuos, como por ejemplo: ¿por qué en una misma especie, como la humana, encontramos tal diversidad de características?, ¿por qué los hijos se parecen a los padres?, ¿por qué si provienen de los mismos progenitores los hijos son distintos?, etcétera. Las respuestas que los estudiantes den a estos cuestionamientos pueden evidenciar el conocimiento previo que tienen sobre el fenómeno de la herencia. Además pueden ayudar al profesor a mostrar que la ciencia ha construido un cuerpo de conocimientos que ha tratado de responder a estas preguntas.

Como se puede observar la propuesta sólo incluye la unidad que aborda el conocimiento genético. En esta unidad no se incluye el estudio de la célula. Como se ha planteado a lo largo de la tesis la representación de célula es fundamental para que los alumnos construyan una representación del fenómeno hereditario. Por lo tanto antes de iniciar la unidad es un requisito que los alumnos comprendan algunas características básicas de los seres vivos, como es la naturaleza celular de la vida (estudiado en la unidad II, tabla 4.7)

La diferencia con el programa de la ENP radica en el orden de los temas y en la reducción del número de contenidos. Las modificaciones del programa se observan en los temas 2, 3, 4 y 5. En estos temas, los contenidos están organizados tomando en cuenta el análisis hecho en este trabajo.

Para el tema 2 (tabla 4.9) se propone iniciar con la definición del proceso de reproducción. Como se vio a lo largo de este trabajo los alumnos lo conciben como el mecanismo de transmisión

de la información (características) de progenitores a hijos. Será fundamental que en este tema los alumnos se den cuenta que la reproducción es el mecanismo de transmisión del material hereditario; y que se da a dos niveles: entre individuos a través de la reproducción sexual (desarrollo genealógico), y en un mismo individuo a través de la reproducción celular (desarrollo ontológico). Esta introducción al tema de la reproducción deberá servir para que los alumnos comiencen a construir o reconstruir su ecosistema conceptual. Se pretende que comiencen a vislumbrar la relación explicativa que existe entre el nivel macroscópico de la herencia y el microscópico. Para que los estudiantes empiecen a tejer la red que se pretende construyan sirven los siguientes dos contenidos del tema (tabla 4.9): transmisión de la información de progenitores a hijos y de célula a célula. En estos contenidos se introducen los conceptos estructurantes: **cromosoma, cromosomas homólogos, mitosis, meiosis, ploidía, células somáticas, células germinales, duplicación, núcleos equipotenciales**. Es importante destacar los alumnos deben ir construyendo una red, por lo tanto es esencial no sólo introducir las innovaciones conceptuales sino también propiciar que los estudiantes vayan estableciendo las relaciones o los vínculos que existen entre todos estos conceptos estructurantes. Para concluir con este tema se propone que se haga explícita la relación que existe entre la reproducción celular, como un mecanismo de reproducción asexual, y la sexual en cuanto a que ambos son mecanismos de transmisión de la información hereditaria. Esto con el fin de favorecer la construcción de un modelo hereditario integral, en el que se haga evidente los diferentes niveles de organización a los que se da la explicación de la herencia, hasta este punto: el microscópico y el macroscópico.

El tema 3 (tabla 4.9) sirve para aumentar los pobladores conceptuales del ecosistema genético que van construyendo los alumnos. En este tema se pretende introducir los siguientes conceptos estructurantes: **cromosomas sexuales, gen, alelo, alelo dominante, alelo recesivo, homocigoto, heterocigoto, genotipo y fenotipo**. Al igual que en el tema anterior se debe propiciar que los estudiantes vayan entretejiendo una red, por lo que es indispensable que las innovaciones conceptuales tengan una función explicativa definida y que interactúen con los demás elementos. Este tema sirve para introducir el tercer nivel de organización a través del cual se explica el fenómeno de la herencia: el molecular.

Una vez que se ha logrado que los alumnos tengan una representación de los conceptos y las relaciones que sirven para explicar la herencia puede introducirse al siguiente tema (tema 4, tabla 4.9) relacionado con la teoría que explica el mecanismo hereditario, la Teoría Cromosómica de Morgan. Esta teoría, como se propuso, en el análisis histórico logró explicar el mecanismos de la herencia mendeliana. Para que los estudiantes puedan construir este modelo de interpretación deben introducirse los siguientes conceptos estructurantes: **entrecruzamiento, grupo de ligamiento, segregación mendeliana y no mendeliana, locus y mapa genético**. Este tema sirve síntesis, los alumnos deberán hacer uso de la red construida en los temas anteriores para integrar el modelo propuesto por Morgan.

El siguiente tema (Tema 5, tabla 4.9) está dedicado a la resolución de problemas. Éste tiene el propósito de hacer que los alumnos utilicen sus redes conceptuales para interpretar los resultados, situación que permitirá evidenciar si el objetivo pedagógico se ha logrado. Es decir, si se ha conseguido que los estudiantes construyan un modelo de representación o ecosistema conceptual semejante al que se propone desde la postura científica.

No se hace ninguna modificación a los temas 6, 7 y 8 porque se parte del supuesto de que los alumnos una vez que incluyeron los conceptos estructurantes a su modelo de la herencia pueden hacer uso de éstos para entender otros fenómenos relacionados al tema e integrarlos a su esquema de representación. Por ejemplo, los de determinación del sexo, herencia ligada al sexo, alteraciones genéticas, así como los de herencia molecular. Se plantea lo anterior ya que como se explicó en el capítulo II, el conocimiento genético que se ha generado después del establecimiento de la teoría de Morgan (1915) se ha construido comprometido con este paradigma. Es decir, los conceptos básicos a través de los cuales se ha explicado el fenómeno hereditario fueron determinados en ese momento histórico, las innovaciones conceptuales establecidas posteriormente se han integrado a este modelo de representación. Si se considera que existe una correspondencia, lo que no implica un paralelismo absoluto, entre la construcción del conocimiento científico y el conocimiento individual (Piaget, 1982; Wandersee, 1985; Gagliardi, 1988) se puede decir que, si los alumnos construyen una representación adecuada (desde el punto de vista

científico) de los conceptos estructurantes que integran al ecosistema del conocimiento genético podrán integrar a esta red nuevos pobladores conceptuales.

Un actor fundamental en la actividad educativa es el profesor. Como se plantea desde el enfoque constructivista el maestro debe propiciar que los alumnos construyan su conocimiento y guiarlos para que esta construcción sea semejante a la que se da desde la disciplina científica. Para que el objetivo pedagógico que se plantea en esta propuesta se alcance, es necesario que los profesores entiendan cuál es la problemática educativa relacionada con el aprendizaje de la genética, así como la razón por la cual se hicieron las modificaciones al programa. Es decir, el profesor debe entender el propósito de presentar los conceptos estructurantes bajo un cierto orden. Lo que implica que tenga conocimiento del análisis que respalda esta propuesta de organización de los contenidos.

Conclusiones

Esta tesis tenía como propósito utilizar el análisis histórico de la construcción de la genética para entender los esquemas conceptuales de los alumnos de bachillerato sobre este tema, con el fin de hacer una propuesta educativa. Una vez concluido el trabajo se puede afirmar que la historia resultó ser una herramienta útil para entender los esquemas alternativos que presentan los estudiantes sobre el conocimiento genético. Si se extrapola este método de análisis hacia otras disciplinas se puede sugerir que la utilización de la historia, en el análisis de las ideas previas y de los esquemas alternativos que albergan, puede ser de gran ayuda para entender cómo los estudiantes están construyendo su conocimiento y por qué muchas veces sus modelos difieren de los que propone la ciencia.

El análisis propuesto en este trabajo demuestra que los estudiantes presentan un modelo hereditario fragmentado, es decir, éste está dividido en tres dominios: el macroscópico, que está relacionado con la transmisión de la información de progenitores a descendientes; el microscópico, relacionado con la transmisión de la información de célula a célula; y finalmente el molecular, relacionado con la estructura y función de las partículas que se pueden denominar "hereditarias", a decir, el ADN, los genes, cromosomas, alelos, núcleo, etcétera. El trabajo de análisis comparativo, por un lado la construcción histórica de la genética y por el otro la construcción del conocimiento genético individual, ayudó a establecer las posibles causas por las cuales los alumnos han construido un modelo hereditario de este tipo.

El análisis de la historia permitió conocer los obstáculos que se presentaron a lo largo de la génesis de la disciplina, así mismo, sirvió de guía para conocer el origen y evolución de los conceptos que fueron fundamentales para superar dichos obstáculos y que son cardinales en la instauración de un modelo de interpretación de la naturaleza. Estos conceptos, denominados estructurantes, forman parte de un ecosistema conceptual; dentro de éste cada concepto presenta un nicho determinado y se relaciona con otros de manera específica para darle sentido a la teoría que explica el fenómeno de la herencia. La visualización de los obstáculos epistemológicos históricos sirvió de sustento para explicar los que presentan los alumnos. La comparación de la red de conceptos estructurantes desarrollada en la disciplina y la que presentan los estudiantes ayudó

a corroborar la existencia de una situación crítica en la enseñanza-aprendizaje de la genética; ya que como se discutió en la tesis, los alumnos presentan un ecosistema conceptual con un número limitado de conceptos y con nichos conceptuales inespecíficos, es decir, muchas veces diferentes conceptos tienen la misma función conceptual o bien la función que desempeñan en el esquema del alumno difiere de la que cumplen en los ecosistemas conceptuales científicos.

Este análisis comparativo fue fundamental para desarrollar una propuesta curricular que pretende promover que los alumnos construyan un modelo sobre el fenómeno de la herencia como el que propone la ciencia.

Si se diseñaran currículos científicos fundados en los "conceptos estructurantes" se reducirían los temas a enseñar, como se muestra en la propuesta elaborada en esta tesis. Así mismo, se favorecería la superación de los obstáculos epistemológicos y se propiciaría que los alumnos generaran las bases para continuar aprendiendo. Pero para afirmar este último supuesto, es fundamental que en un futuro se pongan a prueba este tipo de propuestas.

BIBLIOGRAFÍA

- Astolfi, J. P. & Peterfalvi, B. (1993). Obstacles et construction des situations didactiques en sciences experimentales. *Aster*, 16, pp.103-141. En Gómez Moline, M. R. (2000). *Análisis de algunos obstáculos en el aprendizaje de la química*. Tesis de doctorado no publicada, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España.
- Bachelard, G. (1948). *La formación del espíritu científico*. México D. F.: Siglo Veintiuno Editores, 13ª edición (2000), pp. 302.
- Banet, E. & Ayuso, E. (1995). Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y bachillerato: contenidos de enseñanza y conocimientos de los alumnos. *Enseñanza de la Ciencia*, 13(2), 137-153.
- Barahona, A. (1992). *El hombre de las moscas. Thomas H. Morgan*. México, D. F.: Pangea, pp107.
- Bateson, W. (1899). Hybridisation and cross-breeding as a method of scientific investigation. *Journal of the Royal Horticultural Society*, 24, 59-66. En <http://www.esp.org>
- Bensaude-Vincent, B. (1998). Lavoisier: una revolución científica. *Historia de las ciencias*. Madrid: Gráficas Rógar, S. A., pp. 411-435.
- Bridges, C. B. (1914). Direct proof through non-disjunction that the sex-linked genes of *Drosophila* are borne by the X-chromosome. *Science*, 15, 107-109. En <http://www.esp.org>
- Brown, C. R. (1990). Some misconceptions in meiosis shown by students responding to an advanced level practical examination question in biology. *Journal of Biological Education*, 24 (3), 182-186.
- Bugallo, R. A. (1995). La didáctica de la genética: revisión bibliográfica. *Enseñanza de la Ciencia*, 13(3), 379,385.
- Caballer, M. J. & Giménez, I. (1992). Las ideas de los alumnos y alumnas acerca de la estructura celular de los seres vivos. *Enseñanza de la Ciencia*, 10 (2), 172-180.
- Caballer, M. J. & Giménez, I. (1993). Las ideas del alumnado sobre el concepto de célula al finalizar la educación general básica. *Enseñanza de la Ciencia*, 11 (1), 63-68.

- Dreyfus, A & Jungwirth, E. (1988). The cell concept of 10th graders: curricular expectations and reality. *International Journal of Science Education*, 10 (2), 221-229.
- Dreyfus, A. & Jungwirth, E. (1989). The pupil and the living cell: a taxonomy of dysfunctional ideas about an abstract idea. *Journal of Biological Education*, 23 (1), 49-55.
- Drouin, J. M: (1998). Mendel: faceta del Jardín. *Historia de las ciencias*. Madrid: Gráficas Rógar, S. A., pp. 381-409.
- Duit, R. (1999). Conceptual change approaches in science education. En W. Schnotz, S. Vosniadou, M. Carretero (Ed.), *New perspectives on conceptual change* (pp. 263-282). Oxford: Elsevier Science lid.
- Duschl, R. (1994). Research on the history and philosophy of science. En D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 177-210). New York: Macmillan Publishing Company.
- Fillon, P. (1997). Les élèves dans un labyrinthe d'obstacles. *Aster*, 25, pp. 113-142. En Gómez Moline, M. R. (2000). *Análisis de algunos obstáculos en el aprendizaje de la química*. Tesis de doctorado no publicada, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España.
- Finley, F., Stewart, J. & Yaroch, W. (1982). Teacher's perception of important and difficult science content: The report of a survey. *Science Education*, 66, 531-538.
- Flores C., F. (2000, septiembre). *La enseñanza de la Ciencia: su investigación y sus enfoques*. Texto presentado en el congreso La Educación sus Tiempos y sus Espacios, Chiapas.
- Flores C., F., Tovar M., M. E., Gallegos C., L., Velazquez M., M. E., Valdés A., S, Saitz C., S, Alvarado Z., C., Villar C., M. (2001). *Representación e ideas previas acerca de la célula en los estudiantes de bachillerato (reporte de investigación)*. México, D.F.: Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM.
- Gagliardi, R. & Giordan, A. (1986). La historia de las ciencias: una herramienta para la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(3), 253-258.
- Gagliardi, R. (1988). Cómo utilizar la historia de la ciencia en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 291-296.

- Gómez Moline, M. R. (2000). *Análisis de algunos obstáculos en el aprendizaje de la química*. Tesis de doctorado no publicada, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España.
- Hernández González, M & Prieto, Pérez, J.L. (2000). Un currículo para el estudio de la historia de la ciencia en secundaria (La experiencia del seminario Orotova de historia de la ciencia). *Enseñanza de las Ciencias*, 18(1), 105-112.
- Hewson, M. (1985). The role of Intellectual environment in the origin of conceptions: an exploratory study, en West & Pines (Eds), *Cognitive structure and conceptual change*. Academic Press: EU, pp 153-161.
- Hobsbawm, E. (1971). *Las revoluciones burguesas*. Madrid: Ediciones Guadarrama, pp. 572.
- Hobsbawm, E. (1977). *La era del capitalismo (2)*. Madrid: Ediciones Guadarrama, pp. 230.
- Hodson, D. (1991). Philosophy of science and science education. En M. Matthews (Ed.), *History, philosophy and science teaching* (pp. 19-32). Toronto: OISE press.
- Jiménez, M.P. & Fernández, J. (1987). El desconocido artículo de Mendel y su empleo en el aula. *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (3), 239-246.
- Johnstone, A.H & Mahmoud, N. A. (1980). Isolating topics of high perceived difficulty in school biology. *Journal of Biological Education*, 14(2), 163-166.
- Kargbo, D. B., Hobbs, D. & Erickson, G. L. (1980). Children's beliefs about inherited characteristics. *Journal of Biological Education*, 14 (2), 137-146.
- Kindfield, A. C. (1994). Understanding a basic biological process: expert and novice models of meiosis. *Science Education*, 78(3), 255-283.
- Kindfield, A.C. (1991). Confusing chromosome number and structure: a common student error. *Journal of Biological Education*, 25(3), 193-200.
- Klopfner, L. (1969). The teaching of science and history of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 6, 87-95.
- Kuhn, T. (1962). *La estructura de las revoluciones científicas*. México, D. F.: FCE, 1ª ed (16ª. Impresión 2000), pp. 319.
- Lamarck, J. B. *Filosofía Zoológica*

- 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.
- Liberatore, C. A. M. & Sichafer, L. E. (1994). Relationships between students' meaningful learning orientation and their understanding of genetics topics. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(4), 393-418.
- Longden, B. (1982). Genetics- are there inherent learning difficulties? *Journal of biological Education*, 16(2), 135-140.
- Magner, L. (1994). *A history of the life sciences*. New York: Marcel Dekker Inc., 2nd. ed. pp 496.
- Matthews, M. (1994). *Science teaching. The role of history and philosophy of science*. Nueva York: Routledge, pp 287.
- Mazauric, C. (1984). La Revolución Francesa y el Imperio napoleónico. *Historia Universal Salvat: Europa y Norteamérica en el siglo XIX: dinámica política (1ª. Parte)*. Tomo 23, IHASA, Barcelona, Esp., pp 2817-2835.
- McClung, C. E. (1902). The accessory chromosome-sex determinant? *Biological Bulletin*, 3, 43-84.
En <http://www.esp.org>
- Mendel, G. (1865). *Mendel's paper in English. Experiments in Plant Hybridization*.
<http://www.netspace.org/MendelWeb/Mendel.plain.html>
- Morgan, T. (1927). *The Theory of the Gene*. New Haven, USA: Yale University Press, pp.352.
- Morgan, T. H. (1909). What are "factors" in mendelian explanations? *American Breeders Association Reports*, 5, 365-368. En <http://www.esp.org>
- Nersessian, N. J. (1991). Conceptual change in science and in science education. En M. R. Matthews (Ed), *History, philosophy and science teaching: selected readings*. Toronto, Ontario: OISE Press.
- Olby, R. (1993). *Mendel, Mendelism, and Genetics*. En <http://netscape.org/MendelWeb/Mendel.plain.html>
- Orel, V. (1996). *Gregor Mendel: the first geneticist*. Oxford: Oxford University Press.
- Pashley, M. (1994). A-level students: their problems with gene and allele. *Journal of Biological Education*, 28(2), 120-126.

- Pérez Ransanz, A. R. (2000). *Kuhn y el cambio científico*. México D. F.: FCE, pp. 274.
- Piaget, J & García, R. (1982). *Psicogénesis e historia de la ciencia*. México, D. F.: Siglo Veintiuno Editores, 9ª. ed. (2000), pp252.
- Piaget, J. (1969). *Biología y conocimiento*. México, D. F.: Siglo Veintiuno Editores, 13ª. ed (2000),pp338.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P.W., Gertzog, W. A. (1995). Acomodación de un concepto científico hacia una teoría del cambio conceptual. En R. Porlán, J. E. García, & P. Cañal (Ed), *Constructivismo y enseñanza de las ciencias* (pp.89-112). Sevilla: Díada Editorial S. L.
- Pozo, J. I., Gómez Crespo, M. A., Limón, M. & Sanz Serrano, A. (1991). *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: las ideas de los adolescentes sobre la química*. Madrid:C.I.D.E.
- Programa de estudios de la asignatura de: Biología IV y V*. México, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela Nacional Preparatoria, 1996.
- Radford, A. & Bird-Stewart, J. A. (1982). Teaching genetics in schools. *Journal of Biological Education*, 16(3), 177-180.
- Ridley, M. (2001). *Genoma*. México, D. F.: Taurus, pp 388.
- Ruiz Herrera, J. (2001). *El pensamiento biológico a través del microscopio*. México, D. F.: FCE , pp 198.
- Ruiz, R & Ayala, F. (1998) *El método en las ciencias. Epistemología y darwinismo*. México, D. F.: FCE, pp 216
- Russell, N. (1988). Teaching biology in a wider context: the history of the discipline as a method:1. *Journal of Biological Education*, 22 (1), 45-50.
- Sánchez Mora, M. C. (2000) *La enseñanza de la teoría de la evolución a partir de las concepciones alternativas de los estudiantes*. Tesis de doctorado no publicada, Universidad Nacional Autónoma de México: México D. F., México.
- Serres, M. (1998). Paris, 1800. *Historia de las ciencias*. Gráficas Rógar, S. A., Madrid, Esp., pp 381-409.
- Smith, M. U. & Sims, O. S. (1992). Cognitive development, genetics problem solving, and genetics instruction: a critical review. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (7), 701-713.

- Smith, M.U. (1991, septiembre/octubre). Teaching cell division: students difficulties and teaching recommendations. *Journal of College Science Teaching*, pp28-33.
- Stewart, J. (febrero, 1982). Difficulties experienced by high school students when learning basic mendelian genetics. *The American Biology Teacher*, 44 (2), 80-89.
- Stewart, J & Dale, M. (1989). High school students' understanding of chromosome/gene behavior during meiosis. *Science Education*, 73(4), 501-521.
- Stewart, J. & Kirk, J. V. (1990). Understanding and problem solving in classical genetics. *International Journal of Science Education*, 12 (5), 575-588.
- Strike, K & Posner, G. (1985). A conceptual change view of learning and understanding, en West & Pines (Eds), *Cognitive structure and conceptual change*. Academic Press: EU, pp 211-231.
- Sutton, W. S. (1902). On the Morphology of the chromosome group in *Brachystola magna*. *Biological Bulletin*, 4:24-39. En <http://www.esp.org>
- Von Glasersfeld, E. (1991) Cognition, construction of knowledge, and teaching. En M. Matthews (Ed.), *History, philosophy and science teaching* (pp. 117-132). Toronto: OISE press.
- Wandersee, J. (1985). Can the history of science help science educators anticipate students' misconceptions? *Journal of Research in Science Teaching*, 23(7), 581-597.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J. & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. En D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 177-210). New York: Macmillan Publishing Company.
- Wood-Robinson, C., Lewis, J. & Leach, J. (2000). Young people's understanding of the nature of genetic information in the cells of an organism. *Journal of Biological Education*, 35(1), 29-36.
- Wood-Robinson, C., Lewis, J., Leach, J. & Driver, R. (1998). Genética y formación científica: resultados de un proyecto de investigación y sus implicaciones sobre programa escolares y la enseñanza. *Enseñanza de la Ciencia*, 16(1), 43-61.
- Zentella, A. (marzo, 1996). El ciclo celular y la duplicación del material genético: la evolución de un concepto. *Boletín de Educación Bioquímica*. 15, 38-39.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL PREPARATORIA

I. DATOS DE IDENTIFICACIÓN

COLEGIO DE: BIOLOGÍA

PROGRAMA DE ESTUDIOS DE LA ASIGNATURA DE: BIOLOGÍA IV

CLAVE: 1502

AÑO ESCOLAR EN QUE SE IMPARTE: QUINTO

CATEGORÍA DE LA ASIGNATURA: OBLIGATORIA

CARÁCTER DE LA ASIGNATURA: TEÓRICO-PRÁCTICA

		PRÁCTICAS	TOTAL
No. de horas semanarias	03	01	"04"
No. de horas anuales estimadas	90	30	120
	12	02	14

2. PRESENTACIÓN

a) Ubicación de la materia en el plan de estudios.

El curso de Biología IV se ubica en el mapa curricular de la Escuela Nacional Preparatoria en el quinto año del bachillerato, es una asignatura obligatoria del núcleo Básico, de carácter teórico-práctico y pertenece al área de formación de las Ciencias Naturales.

b) Exposición de motivos y propósitos generales del curso.

Las innovaciones que presenta este programa en cuanto a contenidos son fundamentalmente en relación a dos aspectos: a) la secuencia de las unidades temáticas, que se inicia con el estudio de los procesos celulares, para ir analizando procesos cada vez más complejos hasta el análisis de los macroprocesos comunes a todos los seres vivos. Esta secuencia favorecerá que el alumno, progresivamente vaya relacionando e integrando, con las bases necesarias, la información adquirida para la construcción de su propio conocimiento y b) la actualización de los contenidos a la luz de los avances en la ciencia y a la concepción actual de la Biología como ciencia integral, vinculada con los aspectos sociales, históricos, políticos y económicos de nuestro país. Se hace además énfasis en la importancia de los aspectos ambientales y el desarrollo de actitudes responsables frente a dichos aspectos.

En cuanto a la orientación metodológica, se propone el planteamiento y reconocimiento de problemas relacionados con la vida cotidiana y la sociedad como puntos de partida para introducir e interesar al alumno en la resolución de los mismos, a partir de la aplicación de la metodología de investigación básica y favoreciendo la actividad en el aula a través de sesiones de análisis, discusión, reflexión, y elaboración de proyectos e informes, que lo liberará de cargas excesivas de trabajo y permitirá un mayor control de su aprendizaje.

Así, el alumno no sólo adquirirá los conocimientos necesarios, sino se familiarizará con los lenguajes, métodos y técnicas básicas de la Biología, lo que contribuirá a fomentar en él una cultura y actitud científica.

Entre los mecanismos para la realización de estos cambios, se cuenta con los Laboratorios de Creatividad y Avanzados de Ciencias Experimentales (LACE). Ellos representan un apoyo constante para la ejecución de actividades que fortalecen el perfil de los alumnos que desean ingresar a una carrera científica o simplemente aquellos interesados en modelar, extender o profundizar en algunos aspectos del programa. Asimismo, son espacios de formación y actualización para los profesores, dado que gradualmente buscarán la realización de proyectos multi e interdisciplinarios que permitan la extensión de algunos temas a las áreas de tecnología científica de mayor complejidad.

El uso de los laboratorios fomenta una enseñanza más activa, reflexiva e individualizada que favorece la identificación de vocaciones y coadyuva a profundizar en el aprendizaje teórico y metodológico de la asignatura.

El curso de Biología IV forma parte de las materias del núcleo básico del quinto año de bachillerato, para algunos significará quizá el último contacto con la asignatura, por lo que se plantea como un curso general, que más que profundizar sobre los temas, permitirá al alumno adquirir una cultura biológica que se traduzca en respeto hacia la vida a través del conocimiento. Con este curso se espera contribuir a que el alumno además de adquirir los conceptos biológicos fundamentales desarrolle habilidades, aptitudes y valores que completen esta etapa de su formación.

Propósitos:

1. El alumno reconocerá la importancia de la Biología para el desarrollo científico y social.
2. Durante el desarrollo del curso el alumno estudiará los conceptos y principios unificadores de la Biología que le permitirán la comprensión de la estructura y funcionamiento de los seres vivos, para con ello valorar la vida en todas sus formas y así fomentar en él una actitud responsable frente a la naturaleza y el ambiente.

3. El alumno se iniciará en la aplicación de la metodología de investigación básica, desarrollando actividades de búsqueda de información bibliográfica y experimental, de organización y análisis de la información obtenida, para aplicarla en el reconocimiento, planteamiento o resolución de problemas cotidianos y particulares de la disciplina.

4. Se buscará que el alumno a través del trabajo de laboratorio, se inicie en el manejo básico de equipo y de materiales de laboratorio y adquiera una disciplina de trabajo y responsabilidad en las tareas a realizar.

5. Se fomentará que el alumno aplique los conocimientos biológicos adquiridos en sus actividades cotidianas para mejorar su calidad de vida y la de los demás.

6. Se fomentará en el alumno su capacidad crítica para el análisis de la información que obtenga.

La estrategia de evaluación que mide estas características del perfil deberá considerar los siguientes aspectos:

a) La capacidad del alumno de aplicar lo que ha aprendido durante el curso, especialmente en lo relativo a procedimientos específicos para el análisis de problemas.

b) Que el alumno sea capaz de reconocer los aspectos biológicos que definen la unidad y diversidad de los seres vivos, las características y procesos fundamentales de la vida, así como la importancia de la Biología, su relación con otras ciencias, con los avances científicos, tecnológicos y su impacto en las actividades del hombre y el desarrollo de la sociedad.

c) Las habilidades del alumno para la búsqueda, organización y aplicación de la información que obtiene en el análisis de fenómenos biológicos.

d) La capacidad del alumno de aplicar las reglas básicas de la investigación en la resolución de problemas de la vida cotidiana o disciplinarios.

e) Que el alumno se reconozca como un ser vivo integrante de la naturaleza y busque aplicar los conocimientos biológicos en las actividades cotidianas para mejorar su calidad de vida.

f) El fomentar en el alumno la adquisición de valores que se traduzcan en la posibilidad de emitir juicios críticos y desarrollar actitudes serias y responsables frente a su vida, la naturaleza y la sociedad.

g) Contribuir al desarrollo de actitudes favorables y propositivas ante los problemas ambientales que ayuden al joven a actuar de manera sana y productiva.

h) Su capacidad de trabajar en equipo en las actividades dentro del aula como en las prácticas de laboratorio, la resolución de ejercicios y elaboración de ensayos, que impliquen el intercambio y la discusión de ideas.

i) El desarrollar el interés del alumno por la materia e inclusive por una carrera del área de las Ciencias Biológicas y de la Salud que se refleje en un incremento de la matrícula de los alumnos en el área II del sexto año del bachillerato y en estas licenciaturas.

j) Incrementar la participación del alumno en concursos de la disciplina que fomenten su iniciativa, su creatividad y su capacidad de comunicación con su entorno social.

Las innovaciones cognoscitivas y metodológicas de este programa tendrán que evaluarse a través de un sistema diagnóstico de seguimiento, por ejemplo el desempeño de los alumnos en los cursos posteriores, que permita en función de los resultados, reestructurar y enriquecer los programas para irse aproximando a una enseñanza cada vez más constructiva, pero principalmente, en cuanto a los productos que impacten el perfil del egresado en relación con su habilidad de plantearse problemas, el dominio del lenguaje teórico y técnico de la investigación biológica básica y el diseño de proyectos susceptibles de realización.

c) Características del curso o enfoque disciplinario.

La enseñanza de la biología en el bachillerato se organiza de la siguiente manera: en Biología IV se pretende que el alumno adquiera las bases principales de la Biología, tenga una cultura general sobre los fenómenos biológicos y fomente el desarrollo de una actitud responsable frente a la naturaleza. Este

153

curso además sirve como antecedente a la asignatura de Biología V (propedéutica 6 del área II y optativa del área I) y Temas Selectos de Biología (optativa del área II), que cursan los alumnos orientados principalmente a alguna carrera del área de Ciencias biológicas y de la salud. En Biología V, se buscará que el alumno integre y relacione los conocimientos adquiridos, en el análisis de los procesos biológicos fundamentales en diversos niveles de organización y desde una perspectiva evolutiva. Todo ello a partir del planteamiento de problemas que favorezcan el desarrollo de una actitud de investigación, que le permita tener una visión integral de la disciplina. En Temas Selectos de biología se abordará el estudio de aspectos modernos y especializados de la Biología que favorezcan la integración de lo aprendido en otros cursos de Biología, así como adquirir otras bases teóricas, pero principalmente metodológicas, necesarias para su ingreso a la licenciatura.

El Plan de enseñanza de la Biología en la Escuela Nacional Preparatoria implica la necesidad de un manejo constante de los conocimientos que el alumno va adquiriendo en cada unidad y en cada curso, para reforzarios, ampliarlos e integrarlos al estudio de temas de mayor complejidad o especializados, de tal forma que se favorezca la interacción del alumno con el objeto de estudio y esto se traduzca en un manejo real de lo que va aprendiendo, para así avanzar en el proceso de construcción de sus propios conceptos; algo similar a una espiral del conocimiento.

Biología IV tiene un carácter teórico-práctico, por lo que se proponen tres horas semanales teóricas y una práctica* y será el profesor quien elija, de acuerdo a su plan de cátedra y al programa de prácticas que elabore el colegio, la distribución del tiempo para cubrir los propósitos del programa.

Este curso plantea la necesidad de incrementar la actividad del alumno en el proceso de enseñanza-aprendizaje, de tal forma que progresivamente se dé al alumno una responsabilidad mayor para el autoaprendizaje, a través de una metodología de trabajo conjunto profesor-alumno, que permita a este último desarrollar habilidades para la lectura, la indagación, el análisis y la extracción de ideas centrales de un texto, la presentación de trabajos, la organización y la proyección de sus actividades de estudio. Por otro lado, los profesores del colegio de Biología deberán reflexionar y distinguir con precisión los aspectos informativos del programa para dar espacio más amplio al tratamiento de los aspectos formativos.

Los ejes coordinadores del curso serán: las características del trabajo científico en el aspecto metodológico y en el cognoscitivo, la unidad de patrones y la diversidad de los seres vivos en relación con los niveles de organización. Se buscará que a través del curso, el alumno comprenda la importancia de las ciencias biológicas como generadoras de conocimientos y su vinculación con otras ciencias y con la sociedad.

Se pretende que el alumno a partir del reconocimiento de problemas biológicos aplique la metodología de investigación básica para su estudio y con ello contribuir a desarrollar en él una actitud científica, analítica y crítica.

Además se buscará que el alumno vaya integrando la información que adquiere para que sea capaz de entender los conceptos, los principios y las generalizaciones más importantes de la Biología, que le permitirán la comprensión de la naturaleza de los seres vivos y su funcionamiento. Todo esto a partir de observaciones, experimentos y razonamientos que le lleven a tener una visión integral de la disciplina y a desarrollar una actitud responsable frente a la Naturaleza.

El curso plantea un proceso de enseñanza-aprendizaje progresivamente centrado en el alumno. Una enseñanza basada en el planteamiento, en el reconocimiento y en algunos casos la solución de problemas particulares de la disciplina o vinculados con su vida cotidiana, necesidades de la comunidad o del país, que se apoye en actividades del alumno, con guía del profesor, como la búsqueda, la utilización y el procesamiento de la información obtenida mediante la investigación, para con ello ir construyendo su propio aprendizaje.

La organización del contenido de Biología IV se hizo tomando en cuenta la estructura propia de la Biología, y se estudiarán los conceptos y los principios integradores de la Biología: unidad, diversidad, continuidad, respuesta y regulación, cambio e interacción con el medio, aspectos que caracterizan a los seres vivos.

En la legislación universitaria, artículo 15 del Reglamento general de estudios técnicos y profesionales, no se incluye la figura de asignaturas teórico-prácticas, por lo cual en estos programas se mantiene la clasificación en horas teóricas y horas prácticas; no obstante, la materia se orienta a un tratamiento teórico-experimental, que da unidad al aprendizaje teórico a partir de la experiencia.

154

Las unidades son:

Primera: La Biología como ciencia

Segunda: La célula: unidad estructural y funcional de los seres vivos

Tercera: Procesos para la continuidad de la vida

Cuarta: Evolución de los seres vivos

Quinta: Historia evolutiva de la diversidad biológica

Sexta: Los seres vivos y su ambiente

En la primera unidad: *La Biología como ciencia*, el alumno estudiará la importancia de las ciencias biológicas como generadoras de conocimientos, sus metodologías de estudio, su relación con otras ciencias y su papel en el desarrollo de la sociedad.

Se revisará la relación de la Biología con la tecnología y se analizarán las características de los seres vivos. Con esta base, los alumnos podrán emplear los elementos de la metodología de investigación como eje para el desarrollo de conocimientos de las demás unidades.

En la segunda unidad: *La célula: unidad estructural y funcional de los seres vivos*, se revisarán la estructura y las funciones celulares como principio unificador de los seres vivos y se analizarán los tipos de células para explicar la complejidad y por ende la diversidad. Se revisará la Teoría Celular destacando su importancia como principio integrador de los conocimientos biológicos.

En la tercera unidad: *Procesos para la continuidad de la vida*, el alumno conocerá los procesos reproductores y hereditarios que permiten la continuidad de la vida, mantienen la unidad y proporcionan diversidad a los seres vivos.

En la cuarta unidad: *Evolución de los seres vivos*, se analizará de manera general la teoría evolutiva y los mecanismos evolutivos y sus evidencias destacando la importancia de los procesos que explican la diversidad de formas de vida, desde su aparición hasta su extinción y la situación actual.

En la quinta unidad: *Historia evolutiva de la diversidad biológica*, se retoma lo analizado en las unidades anteriores y se revisa la diversidad biológica con un criterio evolutivo, desde la aparición de las primeras formas de vida, hasta la invasión del medio terrestre, destacando la complejidad estructural y funcional como resultado de la adaptación al medio y señalando la importancia de cada grupo para la sociedad.

La sexta unidad: *Los seres vivos y su ambiente*, integrará la información obtenida a lo largo del curso para explicar los mecanismos biológicos que permiten las interacciones de los organismos con su medio, destacando el papel de los componentes del ecosistema en el funcionamiento coordinado de los mismos, y en el estudio de los recursos naturales y algunos problemas ambientales. Todo esto enfocado a fomentar en los alumnos actitudes responsables frente a la Naturaleza.

En virtud del carácter indicativo del programa, los tiempos propuestos en el mismo para el tratamiento de cada unidad consideran que un porcentaje del tiempo, proporcional a la extensión de temas de cada una, se destine a la integración y síntesis de los contenidos y evaluación del aprendizaje. Asimismo los tiempos que se asignan a cada tema se proponen para el tratamiento general y se sugieren 2 o 3 actividades de aprendizaje por tema, entre las que el profesor podrá seleccionar aquellas que considere más adecuadas en función de las características del grupo, recursos, tiempo, etc.

Por ejemplo, se sugiere que cada unidad se inicie con la identificación y el planteamiento de problemas que servirán de base para el abordaje de los contenidos, de tal forma que a través de la unidad el alumno integre los conocimientos y proponga soluciones al problema planteado. También, se sugiere la realización de una investigación bibliográfica, experimental o de campo y prácticas de laboratorio durante el transcurso de la unidad. Con lo anterior se pretende contribuir al desarrollo de: habilidades para la organización y realización de actividades prácticas y de su capacidad de observación, análisis y síntesis.

La bibliografía propuesta en el programa se ha diferenciado en básica y complementaria e incluye algunos textos que se emplean en las diversas licenciaturas del área, por ello será trabajo del profesor el guiar a los alumnos en la consulta de dichos materiales e inclusive la selección de los mismos para adecuado a las necesidades del programa.

155

c) Principales relaciones con materias antecedentes, paralelas y consecuentes.

El curso de Biología IV tiene como antecedentes de la disciplina, los cursos de Biología de nivel medio básico (secundaria) y como materias consecuentes los cursos de Biología V y Temas Selectos de Biología del sexto año del bachillerato.

Del primer año de bachillerato, las materias que sirven de apoyo a este curso son: Geografía, que aporta elementos fundamentales y necesarios para el estudio de la distribución de los seres vivos; Lógica que proporciona los elementos para conceptualizar los aspectos de la ciencia y sus métodos de estudio e Historia universal que permite ubicar los antecedentes históricos del pensamiento científico, su evolución y la generación de conceptos basados en las principales teorías. Física III que aborda el estudio de conceptos como: calor, energía y temperatura, fundamentales para la comprensión de los procesos de la vida y Matemáticas que brinda las bases para el razonamiento y la interpretación.

Mantiene además, relación con las siguientes asignaturas del quinto año: Química III y Educación para la Salud, que proporcionan al alumno conocimientos que le sirven para entender la composición, estructura y el funcionamiento de los seres vivos a través de un enfoque científico. Asimismo, Matemáticas, Historia y Ética que permitirán desarrollar su capacidad de reflexión y razonamiento, Etimologías Grecolatinas del Español que favorece en el alumno la comprensión del lenguaje común y el lenguaje especializado.

Como asignaturas consecuentes están: Biología V, curso en el que se profundiza en el estudio de los procesos biológicos; Química IV, curso en el que se analiza la química en relación con la vida y Física IV, curso en el que se estudian aspectos como ósmosis, propiedades eléctricas de la materia, capilaridad y tensión superficial, que permiten comprender mejor los procesos vitales.

Además sirve de base a las asignaturas optativas del área II: Temas Selectos de Biología, Temas Selectos de Morfología y Fisiología y Físico-Química.

e) Estructuración listada del programa.

Primera Unidad: La Biología como ciencia.

En esta unidad se revisa el carácter científico de la Biología, su relación con la tecnología y la sociedad, la interacción de las ciencias biológicas entre sí y con otras ciencias, las metodologías de investigación en Biología, las reglas de seguridad en el laboratorio de Biología y las características de los seres vivos.

Segunda Unidad: La célula: unidad estructural y funcional de los seres vivos.

En esta unidad se estudian los niveles de organización de la materia, la composición química de los seres vivos, la teoría celular, la estructura y funciones celulares, los tipos celulares, el metabolismo celular y las diferencias entre sistemas unicelulares y pluricelulares.

Tercera Unidad: Procesos para la continuidad de la vida.

Se estudiará la reproducción celular, la reproducción individual, el desarrollo e importancia de la genética, la herencia mendeliana y la teoría cromosómica, la determinación del sexo, la herencia ligada al sexo, las alteraciones genéticas y la herencia molecular.

Cuarta Unidad: Evolución de los seres vivos

En esta unidad se estudiarán las evidencias de la evolución, los antecedentes y el desarrollo de la teoría de la evolución.

Quinta Unidad: Historia evolutiva de la diversidad biológica.

Se estudiará la diversidad biológica, las teorías sobre el origen del universo y el origen de la vida y la aparición de los procariontes, protistas, fungi, plantas y animales.

Sexta Unidad: Los seres vivos y su ambiente.

se analizará la Ecología y su objeto de estudio, la ecología de poblaciones y comunidades, los ecosistemas, los recursos naturales, los ecosistemas mexicanos y los principales problemas ambientales.

156

3. CONTENIDO DEL PROGRAMA

a) Primera Unidad: La Biología como ciencia.

b) Propósitos:

Que el alumno comprenda el carácter científico de la Biología, sus métodos de investigación, su relación con otras ciencias y sus aportaciones; así como su importancia en la resolución de problemas científicos y sociales.

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS (actividades de aprendizaje)
5	El carácter científico de la Biología: a. Construcción del conocimiento. b. Características de la ciencia. c. Historia y desarrollo de la Biología.	<p>En esta unidad se revisarán las características de la Biología, sus métodos y su relación con la sociedad, el avance científico y tecnológico.</p> <p>Se revisarán las definiciones de ciencia y las formas de construcción del conocimiento científico. Se analizará el origen y la evolución de la Biología en relación con las necesidades humanas a lo largo de la historia de la humanidad, lo que permitirá comprender el surgimiento del conjunto de ciencias biológicas y analizar el estado actual de la Biología.</p>	<p>En una actividad grupal se reconocerán y elegirán problemas relacionados con el tema de la unidad que permitirán abordar los contenidos.</p> <p>Los alumnos investigarán diferentes definiciones de ciencia y las características del conocimiento científico. Con esta base y en una discusión grupal se analizará el caso particular de las ciencias biológicas como generadoras de conocimiento.</p> <p>A partir de una investigación sobre la historia de la Biología, los alumnos detectarán los problemas que han impulsado el desarrollo de esta ciencia y la manera en que ha aportado conocimientos importantes para su solución.</p> <p>En grupo se reconocerán y discutirán problemas actuales en los cuales los conocimientos biológicos pueden contribuir a su solución y se discutirán los compromisos y las responsabilidades.</p>
	Relación de la Biología con la tecnología y la sociedad.	Se estudiará el vínculo Biología-Tecnología-Sociedad para comprender la relación entre ellas y discutir las perspectivas y necesidades en el futuro con relación a estos tres	Los alumnos revisarán los periódicos para reconocer noticias relacionadas con la Biología y retornando lo realizado en actividades anteriores señalar en discusiones

157

• HORAS •

CONTENIDO

DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO

ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS

BIBLIOGRAFÍA

(actividades de aprendizaje)

aspectos, en particular para el desarrollo de por equipo y después en grupo, la relación existente entre el desarrollo de la Biología, las necesidades sociales y el avance tecnológico.

existente entre el desarrollo de la Biología, las necesidades sociales y el avance tecnológico.

Interacción de las ciencias biológicas entre sí y con otras ciencias.

Reconocer el carácter intra e interdisciplinario A partir del planteamiento de problemas de la Biología, a partir de estudiar la concretos, se analizará la participación de las interacción de las ciencias biológicas entre diferentes ciencias en su estudio y solución. ellas y con otras ciencias.

16, 28.

Metodologías de investigación en Biología:

a) Metodología general:

- planteamiento de problemas
- búsqueda de información y estructuración del marco teórico.
- planteamiento de hipótesis.
- análisis, síntesis y confrontación,

b) Diferentes métodos en Biología:

- observacional.
- comparativo
- experimental.

c) Diseño e informe de una investigación.

Una vez detectado el carácter científico de la Biología y su organización actual en diferentes ciencias biológicas, se revisarán las fichas bibliográficas y hemerográficas sobre características de la metodología de investigación, destacando los aspectos comunes y las diferencias entre las ciencias observacionales y experimentales, dependiendo del objeto de estudio y los objetivos de cada ciencia. Se analizará la importancia del diseño o protocolo e informe de investigación en cualquier trabajo científico.

Se revisarán de manera general la infraestructura, función y medidas de seguridad de un laboratorio de Biología, para que el alumno desarrolle una actitud segura en las actividades prácticas que realice el resto del curso.

Se sugiere alguna práctica sobre aplicación del método experimental.

Se sugieren prácticas de laboratorio sobre infraestructura, función y medidas de seguridad de un laboratorio de Biología, partes, uso y manejo del microscopio, así como revisar diferentes tipos de microscopios, destacando la importancia de este avance tecnológico en los estudios biológicos.

2, 5, 7, 8, 9, 11, 14, 15, 18, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28.

3, 4, 6, 12, 13.

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFÍA"
3	Características de los seres vivos: • Principios unificadores: • autoperpetuación: unidad, diversidad, continuidad y cambio. • interacción de los organismos con el medio. • biopócrisis: regulación y respuesta.	El alumno con la información obtenida hasta el momento reconocerá a los seres vivos como el objeto de estudio de las ciencias biológicas. Por ello es importante revisar los principios unificadores que permiten caracterizar a los seres vivos, y reconocer los principales problemas a que se enfrentan las diferentes ciencias biológicas en el estudio de la vida. Todo ello servirá como introducción a las unidades posteriores.	Con la guía del profesor, y en un discusión grupal, se analizarán las diferencias entre objetos y organismos vivos, con el fin de concluir con la identificación de los principios biológicos que caracterizan a los seres vivos. Plantear algunos de los principales problemas que enfrenta la biología en el estudio de los seres vivos, con el fin de que sean respondidas a lo largo del curso. Se sugiere complementar estas actividades con proyección y análisis de videos, visitas a museos, a centros de investigación y conferencias de profesores e investigadores.	
Total de horas:				
17				

c) Bibliografía:

Básica.

1. Alonso, T. E., *Biología para bachillerato*. Un enfoque integrador. México, McGraw-Hill, 1991.
2. Baker, J. y Allen, G., *Biología e investigación científica*. Massachusets, FEI, 1970.
3. Bojalil, L. F. y Aznavurian, A., *Introducción a la Biología*. México, Trillas, 1990.
4. Curtis, H., *Biología*. México, Médica Panamericana, 1985.
5. CNEB. *Biología, interacción de experimemos e ideas*. México, Limusa, 1974.
6. *Fried, R., *Biología*. México, McGraw-Hili, 1990.
7. Gómez, R. J., *El método experimental*. México, Harla, 1983.
8. *Gutiérrez-Saenz, R., *Introducción al método científico*. México, Esfinge, 1992.
9. Marco, B. et al., *La enseñanza de las ciencias experimentales*. Madrid, Narcea, 1987.
10. *Padilla, H., *Elpensamiento científico*. México, Trillas, 1990.
11. Riveros, H. G. y Rosas, L., *El método científico, aplicado a las ciencias experimentales*. México, Trillas, 1987.
12. Sherman, J. y Sherman, V., *Biología*. México, McGraw-Hill, 1987.
13. Viilee, C., *Biología*. México, Interamericana, 1992.

* Se recomienda la consulta de estos libros con la finalidad de lograr unidad de información.

Complementaria.

14. Andión, G. M., Beller, T. W. y Dietrich, A., *Guía de investigación científica*. México, Cultura Popular, UAM-Xoch., 1986.
15. Barcenas, A. y Artis, M., *Introducción al método científico en Biología*. México, Cia. Editorial continental, 1982.
16. Bernal, J., *La Ciencia en la Historia*. México, UNAM, 1959.
17. Chalmers, A. F., *¿Que es esa cosa llamada ciencia?*. México, Siglo XXI, 1991.
18. Colegio de Biología de la ENP., *Material de apoyo para el examen extraordinario colegiado*. México, UNAM, 1983.
19. De Kruif, P., *Los cazadores de microbios*. México, Epoca, 1987.
20. Fortes, B. M. y Gómez, W. C. (Eds.), *Retos y Perspectivas de la Ciencia en México*. México, Academia de la Investigación Científica, 1995.
21. Mercado, H. S., *¿Como hacer una tesis?*. México, Limusa, 1993.
22. De Gortari, E., *El método de las ciencias*. México, Grijalbo, 1979.
23. Del Río, M., *Cosas de la Ciencia*. México, FCE, SEP; CONACyT, 1987. Col. La ciencia desde México 21.
24. Márquez, M. J., *Probabilidad y estadística para ciencias químico biológicas*. México, McGraw-Hill, 1990.
25. Méndez, Y. et al., *El protocolo de la investigación*. México, Trillas, 1990.
26. Olea, F. P., *Manual de técnicas de investigación documental para la enseñanza media*. México, Esfinge, 1981.
27. Rosas, L. y H. Riveros, *Iniciación al método científico experimental*. México, Trillas, 1993.
28. Tamayo y Tamayo, M., *Metodología formal de la investigación científica*. México, Limusa, 1988.
29. Walker, M., *Elpensamiento científico*. México, Grijalbo, 1968.

Se sugiere consultar las siguientes revistas.

CIENCIA. Revista de la Academia de la Investigación Científica.

CIENCIA Y DESARROLLO. Revista del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

ICyT. Información Científica y Tecnológica, revista del CONACyT.

MUNDO CIENTÍFICO. Versión en castellano de LA RECHERCHE.

SCIENTIFIC AMERICAN. Versión en castellano.

REVISTA "CIENCIAS" de la Facultad de Ciencias, UNAM.

160

a) **Segunda Unidad:** La célula: unidad estructural y funcional de los seres vivos.

b) Propósitos:

Que el alumno comprenda que la estructura y los procesos metabólicos celulares son la base de la unidad y diversidad de los seres vivos.

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFÍA
5	Introducción a la unidad: • Estructura y metabolismo celulares como principios de unidad y diversidad de los seres vivos.	Una vez mencionados en la unidad anterior los principios unificadores de los seres vivos, en esta unidad se revisarán la estructura y el metabolismo celulares con el fin de que los alumnos comprendan por que estos dos aspectos son la base de unidad y de diversidad de la vida.	A partir de una técnica grupal, observación de ejemplares de laboratorio, proyección audiovisual, etc. el grupo orientado por el profesor, planteará un problema que se resolverá a través de la unidad. Por ejemplo: a) similitudes y diferencias entre individuos unicelulares y pluricelulares b) ¿Por qué la energía es necesaria para la vida? c) ¿Qué relación existe entre la forma y la función de las neuronas?	5, 8, 12, 21, 24.
	Niveles de organización de la materia.	Se estudiará como se integran e intercalan los diferentes niveles de organización de la materia. El análisis de cada nivel se retornará en las diferentes unidades de acuerdo con sus necesidades de estudio.	Los alumnos formarán equipos de trabajo y cada equipo diseñará modelos y explicará cada uno de los diferentes niveles de organización. Se sugieren prácticas de laboratorio como: observación de cortes histológicos, partes de la flor, corte transversal de hoja y tallo.	5, 8, 12, 14.
	La composición química de los seres vivos: elementos. compuestos. moléculas orgánicas.	Se revisará la composición química de los sistemas vivos y se analizará el papel de las biomoléculas en la estructura, el funcionamiento y el mantenimiento de la vida.	Se elaborará un cuadro comparativo relativo a las funciones de las biomoléculas a partir de las investigaciones previas realizadas por los alumnos. En equipos, elegirán un problema relacionado con ellos o su comunidad en el que evalúen la importancia de las i	1, 2, 4, 5, 6, 7, 12, 16, 19, 20.

19.1

HORAS

CONTENIDO

DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO

ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS
(actividades de aprendizaje)

BIBLIOGRAFÍA

- 162
- 8 Teoría Celular:
•origen y desarrollo de la Teoría celular.

Se estudiará la teoría celular para que el alumno conozca el desarrollo del conocimiento sobre el origen de la célula; destacando su importancia como principio unificador de los conocimientos biológicos de la época. Retornando lo estudiado en la unidad anterior, analizar su contribución al desarrollo científico, relación entre las ciencias y con el avance tecnológico.

biomoléculas, aplicando la metodología de investigación para su solución. Se sugieren: desnutrición, dietas, obesidad diabetes, proceso de cicatrización crecimiento de uñas y cabello, aspectos agrícolas, industriales etc. Se sugiere la realización de prácticas de laboratorio para identificación de compuestos orgánicos.

Se sugiere iniciar este tema con una 2, 5, 10, 13, 14, práctica de laboratorio de observaciones 27.

de distintos tipos celulares, por ejemplo eucariontes y procariontes, vegetales y animales, observación de tejidos, para que sirva de introducción al análisis de la teoría celular

A través de lecturas y discusión grupal, se analizará el origen y desarrollo de la teoría celular, destacando su importancia como aspecto unificador de los conocimientos biológicos.

de estudiar la estructura y funcionamiento celular para abordar y comprender mejor dichos problemas.

Por medio de consulta bibliográfica y con ayuda del profesor, los alumnos comprenderán la estructura y la función de las partes de la célula.

Apoyar estas actividades con prácticas de laboratorio sobre: transporte a través de la membrana, diferentes tipos de células observación de tejidos, etc.

163

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFÍA
	<p>Estructura y función celulares:</p> <ul style="list-style-type: none"> cubierta celular membrana celular. sistemas membranosos internos. sistemas no membranosos. citoesqueleto. núcleo. 	<p>Tomando como base los postulados de la Teoría celular, se estudiará a la célula como la unidad de origen, estructura y funcionamiento de los seres vivos. Para ello se analizará la estructura y la función de los elementos que la conforman pero con un enfoque integral, en el que no se revisen como estructuras aisladas, sino integradas como un sistema de funcionamiento autónomo, capaz de autorregularse.</p>	<p>A partir de algún problema concreto, por ejemplo: regeneración celular en heridas, diferentes tipos de células de la sangre y su función, importancia de células fotosintéticas y su estructura, forma y función de células sexuales, neuronas, etc., los alumnos entenderán la necesidad de estudiar la estructura y funcionamiento celular para abordar y comprender mejor dichos problemas.</p> <p>Por medio de consulta bibliográfica y con ayuda del profesor, los alumnos comprenderán la estructura y la función de las partes de la célula.</p> <p>Apoyar estas actividades con las prácticas de laboratorio sobre: transporte a través de la membrana, diferentes tipos de células, observación de tejidos, etc.</p>	<p>1, 2, 3, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 19, 22, 25, 30, 31.</p>
	<p>Tipos celulares:</p> <ul style="list-style-type: none"> • células procariontes. • células eucariontes. 	<p>Una vez revisada la estructura fundamental de una célula, se estudiarán y analizarán las diferencias de organización entre una célula procarionte y una eucarionte, mencionando ejemplos de cada una de ellas. Se hablará de la diversidad de formas teniendo como base una u otra y se mencionarán los organismos uni y pluricelulares.</p>	<p>A partir de la observación en el laboratorio de células procariontes y eucariontes o a través de la proyección de transparencias y videos, los alumnos con ayuda del profesor, analizarán las diferencias entre estos tipos celulares y como resultado elaborarán un cuadro comparativo. Además, analizarán la diversidad de formas vivas que tienen como base estos dos tipos celulares.</p>	<p>1, 2, 6, 14, 17.</p>
	<p>Metabolismo celular:</p> <ul style="list-style-type: none"> • respiración (aerobia y anaerobia). • fotosíntesis. • quimiosíntesis. • tipos de nutrición. 	<p>Se revisarán los principales mecanismos metabólicos a través de los cuales los organismos captan, transforman y utilizan la materia y energía como una característica de unidad. No se revisarán los procesos en</p>	<p>Se plantearán problemas sobre el papel de la energía en el funcionamiento de los sistemas vivos, para que sirva de punto de partida para analizar los principales procesos asociados con esta característica de los seres</p>	<p>1, 2, 4, 7, 9, 11, 15, 17, 20, 23, 26, 28, 29, 33.</p>

HORAS

CONTENIDO

DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO

ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS
(actividades de aprendizaje)

BIBLIOGRAFÍA

detalle, sino se dará más énfasis a destacar su importancia como procesos de la vida y su interrelación. Analizar como estos procesos se llevan a cabo en organismos unicelulares y pluricelulares, vinculados con los diferentes tipos de nutrición, en donde la presencia de tejidos y órganos especializados representa una ventaja adaptativa, lo que ha llevado a desarrollar distintas formas metabólicas y por tanto, diversidad.

vivos. Los alumnos investigarán los principales procesos que emplean los seres vivos para la obtención, transformación y utilización de la materia y la energía, y discutirán en grupo su papel en el mantenimiento de la vida.

Para integrar el profesor elaborará junto con los alumnos mapas conceptuales que relacionen los procesos metabólicos y la estructura celular.

Se recomienda una investigación sobre factores necesarios y productos de la fotosíntesis, respiración y quimiosíntesis en un proyecto multidisciplinario con los colegios de Química y Física en los Laboratorios de Creatividad y LACE.

- Diferencias entre sistemas unicelulares y pluricelulares:
- estructura
 - metabolismo.
 - respuesta y regulación.

Con base en la información adquirida a través de esta unidad, se estudiarán y analizarán las diferencias entre un sistema unicelular y uno pluricelular, con el fin de que el alumno comprenda como se lleva a cabo la integración en los diferentes niveles de organización en un individuo pluricelular.

Retornando el problema inicial, el grupo se divide en equipos y cada uno elige un individuo unicelular y uno pluricelular, para estudiar sus similitudes y diferencias en términos de su estructura, metabolismo, respuesta y regulación. Para que con ello los alumnos integren la información obtenida y concluyan como estos aspectos les dan unidad y diversidad a los seres vivos, resolviendo de esta manera el problema planteado.

Se sugiere complementar estas actividades con prácticas de laboratorio, proyecciones audiovisuales, visitas a museos, a centros de investigación, conferencias, elaboración de periódicos

164

HORAS

CONTENIDO

DESCRIPCION DEL CONTENIDO

ESTRATEGIAS DIDACTICAS

(actividades de aprendizaje)

BIBLIOGRAFIA

Total de
horas:
20

murales y exposiciones. En todos
casos el profesor deberá trabajar con el
grupo en sesiones de análisis y discusión
de la información.

c) Bibliografía:

Básica.

1. Alberts, B. et al., *Biología molecular de la célula*. Barcelona, Omega, 1994.
2. Avers, Ch., *Biología Cehdar*. México, Interamericana, 1986.
3. Ayala, F. J. y Kinger, S. A., *Genética moderna*. México, Fondo educativo interamericano, 1990.
4. Bohinsky, Rl C., *Bioquímica*. México, Addison-Wiley Iberoamérica, 1991.
5. *Curtis, H., *Biología*. Buenos Aires, Médica Panamericana, 1985.
6. Damell, J., Lodish, H. y Baltimore, D., *Biología celulary molecular*. Barcelona, Omega, 1993.
7. Díaz Zagoya, J. C., *Bioquímica*. México, Interamericana-McGraw.Hill, 1995.
8. *Fried, G., *Biología*. México, McGraw-Hill, 1990.
9. Lehninger, A. H., Nelson, D. L. y Con, M. M. *Principios de Bioquímica*. Barcelona, Omega, 1994.
10. Margulis, L., *El origen de la célula*. Barcelona, Reverté, 1993.
11. Mertz, E. T., *Bioquímica*. México, Publicaciones Cultural, 1992.
12. Kimball, J., *Biología*. México, Fondo Educativo Interamericano, 1986.
13. Nelson, E. G., *Principios de Biología*. México, Enfoque humano. Limusa, 1991.
14. Ondarza, R., *Biología moderna*. México, Trillas, 1983.
15. *Oram, R., Hummer, P. y Smoot, R., *Sistemas vivientes*. México, Continental, 1983.
16. *Otro, J., Towle, A., *Biología moderna*. México, Nueva Editorial Interamericana, 1983.
17. Savín, C., *Procesos cehdares*. México, Trillas, 1987.
18. Sherman, I. y Sherman, V., *Biología. Perspectiva lhumana*. México, McGraw-Hill, 1987.
19. Vuillee, C., *Biología*. México, Interamericana, 1992.
20. Voet, D. y Voet, J., *Bioquímica*. Barcelona, Omega, 1992.

* Se recomienda la consulta de estos libros con la finalidad de lograr unidad de información.

Complementaria.

21. Baker, J. y Allen, G., *Biología e investigación científica*. México, Fondo Educativo Interamericano, 1970
22. Bojorquez, L., *La vida cehlar*. México, Anuies, 1973.
23. Castañeda, M., *Antología de la Biología molecular*. México, UNAM, 1985.
24. CNEB., *Biología*, interacción de experimentos e ideas. México, Limusa, 19974
25. Del Castillo, L., *Elfenómeno mágico de la ósmosis*. Col. La ciencia desde México, 16, México, FCE, SEP, CONACyT, 1986.

59165

26. Gold, M., *Procesos energéticos para la vida*. Fotosíntesis. México, Trillas, ANUIES, 1985.
27. Gunter, H., *La nueva historia de Adán y Eva*. Barcelona, Círculo de lectores, 1979.
28. Palazón, A., *Materia y vida Bioenergética*. México, ENP, UNAM, 1994.
29. Palazón, A., *Energía y vida. Bioenergética*. México, ENP, UNAM, 1994.
30. Peña, A., *¿Comofunciona una célula?*. Fisiología celular. México, FCE, SEP, CONACyT, 1995. Col. La ciencia desde México. No.12~
31. Peña, A., *Las membranas de la célula*. México, FCE, SEP, CONACyT, 1986. Col. La ciencia desde México No. 18.
32. Téllez, L. J., *Biología aplicada*. México, McGraw-Hill, 1990.
33. Zarza, E., *Introducción a la bioquímica*. México, Trillas, 1990.

Se sugiere consultar las siguientes revistas.

CIENCIA. Revista de la Academia de la Investigación Científica.

CIENCIA Y DESARROLLO. Revista del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

ICyT. Información Científica y Tecnológica, revista del CONACyT.

MUNDO CIENTÍFICO. Versión en castellano de LA RECHERCHE.

SCIENTIFIC AMERICAN. Versión en castellano.

REVISTA "CIENCIAS" de la Facultad de Ciencias, UNAM.

b) Propósitos:

El alumno comprenderá los procesos biológicos que permiten la continuidad de la vida y su importancia como característica de unidad y diversidad en los seres vivos, lo que le permitirá entender su propio desarrollo y el de las demás formas de vida.

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCION DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFIA
	Introducción a la unidad: • reproducción y herencia como principios de unidad y diversidad.	A lo largo de la unidad se estudiarán los procesos reproductores y hereditarios que permiten la permanencia y continuidad de la vida y por lo tanto, su autopropagación.	Se sugiere que en una actividad grupal se plantee algún problema relacionado con el contenido de la unidad que permita abordarla; por ejemplo: a) ¿Por qué los hijos de madres expuestas a la bomba atómica sufrieron alteraciones orgánicas? b) ¿Cómo se lleva a cabo la reproducción de células sexuales? c) ¿Cómo se realiza la regeneración de brazos en la estrella de mar? d) ¿Cómo se reproducen las células sexuales?.	2,4,15,16,18, 19,20
	Reproducción: Celular. • ciclo Celular. • mitosis. • meiosis.	Se estudiará la división celular destacando su importancia en el proceso de continuidad de la vida y como un proceso característico de todas las células, tanto en individuos unicelulares como pluricelulares. Para lo cual se mencionarán de manera sencilla la mitosis y la meiosis, inicialmente como procesos de división celular y posteriormente se estudiarán como procesos integrados a la reproducción asexual y sexual respectivamente. Se destacarán sus diferencias básicas y su importancia.	Que los alumnos a partir de observaciones microscópicas o la proyección de transparencias y videos sobre reproducción celular, analicen en grupo con guía del profesor, las características e importancia de estos procesos.	2,4,6,9,18, 20.
	Individual. • asexual. • sexual. • fecundación y desarrollo embrionario.	Una vez revisado el proceso de división celular, se analizarán la reproducción asexual (modalidades) y sexual, con el fin de que los alumnos reconozcan la importancia de estos procesos en la continuidad y en la diversidad de la vida. Se revisará el proceso de la fecundación y de manera general el desarrollo embrionario (hasta gástrula), como	Los alumnos realizarán una investigación bibliográfica sobre las diferencias entre la reproducción sexual y asexual. Con el apoyo de prácticas de laboratorio o proyección audiovisual, analizarán en clase, con guía del profesor, estos procesos para que al final elaboren un ensayo sobre la importancia de cada una de ellas para la continuidad de la vida.	3, 5, 12, 15, 23.

491167

HORAS

CONTENIDO

DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO

ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS
(actividades de aprendizaje)

BIBLIOGRAFÍA

		eventos subsecuentes de la reproducción sexual, destacando su importancia en organismos superiores.	Se estudiará el desarrollo embrionario de diferentes organismos y se analizarán problemas del desarrollo embrionario desde un punto de vista bioético para que los alumnos desarrollen una actitud responsable. Ejemplo: malformaciones congénitas, aborto, consumo de drogas durante la gestación.	
9	Desarrollo e importancia de la genética.	Se estudiará el desarrollo de la genética y se analizarán sus aportaciones para la construcción de nuevos conocimientos biológicos y la resolución de necesidades humanas. Por ejemplo usos de la ingeniería genética.	Los alumnos revisarán el origen y desarrollo histórico de la genética y reconocerán, con orientación del profesor, algunos de los problemas científicos y sociales en los que la genética ha aportado conocimientos para su solución. La información se discutirá en grupo, destacando su importancia. A partir del análisis de investigaciones en el campo de la ingeniería genética se analizará en grupo su importancia y aplicación en la resolución de las necesidades humanas.	1, 6, 7, 8, 10, 11, 16, 17, 19, 21, 22, 24, 25.
	Herencia mendeliana y teoría cromosómica: • primera y segunda leyes de Mendel. • teoría cromosómica de la Herencia.	Se estudiará el trabajo de Gregorio Mendel y la Teoría cromosómica de la herencia de Morgan, analizando sus aportaciones para la comprensión del proceso de la transmisión de los caracteres hereditarios; así como investigaciones que contribuyeron a la integración y la generación de nuevos conocimientos biológicos.	Los alumnos plantearán algunos problemas de la herencia inherentes a ellos o a su entorno, sobre las leyes mendelianas, determinación del sexo y herencia ligada al sexo. Para que a partir de éstos, comprendan la importancia de su estudio para entender su propio desarrollo.	2, 5, 7, 12, 16, 17, 20, 23, 27.

1168

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFÍA
	<p>Determinación del sexo.</p> <p>Herencia ligada al sexo: • Daltonismo, Hemofilia.</p> <p>Alteraciones genéticas: • aberraciones cromosómicas.</p>	<p>Se analizará como se lleva a cabo la determinación del sexo.</p> <p>Se estudiará el proceso por el cual se transmiten algunos caracteres a través de los cromosomas sexuales, citándose ejemplos de ellos.</p> <p>Se estudiarán los diferentes tipos de alteraciones genéticas para conocer sus consecuencias.</p> <p>Todo esto permitirá que los alumnos adquieran una actitud responsable frente a la vida.</p>	<p>Se propone realizar ejercicios sobre problemas de cruza genética de uno y dos caracteres, y prácticas de laboratorio.</p> <p>Por ejemplo: dimorfismo sexual, elaboración de cariogramas, cruza de <i>Drosophila</i> para comparar frecuencias de genes dominantes y recesivos, etc.</p> <p>Que los alumnos organizados en equipos, investiguen las principales alteraciones genéticas, sus causas y efectos y lo presenten ante el grupo a manera de carteles o audiovisuales. A partir de estas presentaciones hacer mesas redondas o foros para analizar estos problemas y fomentar con ello el desarrollo de actitudes de respeto hacia la vida.</p>	<p>3, 12, 14, 15, 26.</p>
7	<p>Herencia Molecular:</p> <p>Moléculas de la herencia: estructura y función del ADN y ARN.</p> <p>• genes y cromosomas.</p> <p>• cambios en el material genético.</p>	<p>Se estudiará a los ácidos nucleicos, genes y cromosomas, para que los alumnos comprendan su importancia como entidades almacenadoras, traductoras, transmisoras de información hereditaria y reguladoras de los procesos fundamentales de las células.</p> <p>Se estudiarán los cambios en la información genética y se analizarán sus ventajas y desventajas. (mutaciones)</p>	<p>Los alumnos investigarán la estructura del ADN y ARN, elaborarán modelos y explicarán su función e importancia. Se sugiere la elaboración de un cuadro comparativo entre ambas moléculas.</p> <p>Se sugieren observaciones microscópicas de cromosomas, por ejemplo de <i>Drosophila</i>, la elaboración de modelos de los diferentes tipos de cromosomas y proyecciones audiovisuales que sirvan de punto de partida para analizar con los alumnos la estructura, funcionamiento e importancia de estas unidades de la herencia.</p> <p>Los alumnos investigarán los tipos de mutaciones que hay y analizarán, con guía del profesor, algunos problemas</p>	<p>12, 4, 7, 8, 11, 12, 13, 17, 21.</p>

691

HORAS

CONTENIDO

DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO

ESTRATEGIAS DIDACTICAS

(actividades de aprendizaje)

BIBLIOGRAFIA

concretos, por ejemplo: su relación con la evolución, la resistencia de microorganismos a los antibióticos, la relación entre las radiaciones y la aparición de mutaciones, etc. y los discutirán en grupo resaltando la importancia de las investigaciones en este campo.

Se sugiere la extensión del tema de reproducción sexual y asexual a proyectos de investigación multidisciplinarios con los colegios de Anatomía, y Psicología en los Laboratorios de Creatividad y LACE.

Concepto de continuidad:
• integración de los conocimientos de la unidad.

Se retomará lo estudiado en la unidad para que los alumnos construyan su concepto de continuidad y reconozcan los procesos biológicos que permiten la conservación de las especies a través del tiempo. Se retomará el problema inicial y se analizará como los contenidos de la unidad aportaron elementos para su estudio y solución.

En una sesión grupal se plantearán posibles soluciones al problema identificado al principio de la unidad. En una discusión grupal, con guía del profesor, los alumnos llegarán a construir su concepto de continuidad y su importancia.

Total de horas:
24

c) Bibliografía:

Básica.

1. Balbas, P. y F. Bolivar., *Ingeniería genética*• En Peña, A (compilador). La Biología Contemporánea. México, UNAM., 1983. (pp. 117-132).
2. *Curtis, H., *Biología*. Buenos Aires, Médica Panamericana, 1985.
3. *Fried, G., *Biología*. México, McGraw-Hill, 1990.
4. Kimball, J., *Biología*. México, Fondo Educativo Interamericano, 1986.
5. *Ondarza, R., *Biología moderna*• México, Trillas, 1983.
6. Orto, J., Towle, A., *Biología moderna*. México, Nueva Editorial Interamericana, 1983.
7. Puertas, M. J., *Genética*• México, Interamericana-McGraw-Hill, 1992.
8. Salamanca, F., *Citogenética humana*. México, Médica Panamericana, 1990.
9. Savin, C., *Procesos celulares*. México, Trillas, 1987.
10. Solari, A. J., *Introducción a la Genética general y médica*. México, Interamericana-McGraw-Hill, 1995.

- II. Stansfield, W., *Genética*. México, McGraw-Hill, 1992.
- i2. Sherman, I. Sherman, V., *Biología. Perspectiva humana*. México, McGraw-Hill, 1987.
13. Strickberger, M. W., *Genética*. Barcelona, Omega, 1988.
14. Suzuki, D. T., Griffith, F. y Miller, J. H., *Genética*. México, Interamericana- McGraw-Hill, 1995.
15. *Vilsee, C., *Biología*. México, Interamericana, 1992.
16. Villalobos, R., *Genética*. México, Trillas, 1988.

* Se recomienda la consulta de estos libros con la finalidad de lograr unidad de información.

Complementaria.

17. Ayala, F. J. y Kiger, S. A., *Genética moderna*. México, Fondo Educativo Interamericano, 1994.
18. Baker, J. y Allen, G., *Biología e investigación científica*. México, Fondo Educativo Interamericano, 1970.
19. Barahona, A. y Piñero, D., *Genética: La continuidad de la vida*. México, FCE, SEP, CONACyT, 1994. Col. La ciencia desde México. No.125.
20. CNEB., *Biología*, interacción de experimentos e ideas. México, Limusa, 1974.
21. Gardner, E. J., *Principios de Genética*. México, Limusa, Wiley, 1975.
22. Gunter, H., *La nueva historia de Adán y Eva*. Barcelona, Círculo de Lectores, 1979.
23. Nelson, E. G., *Principios de Biología: enfoque humano*. México, Limusa, 1991.
24. Pie, C. M., *El mensaje hereditario*. Una introducción a la Genética. México, Trillas, 1988.
25. Piña, E., Pena, A., Chagoya, V. y Martuscelli, J., *Temas Bioquímicos de actualidad*. México, UNAM, 1979.
26. Weisz, P., *La ciencia de la Biología*. Barcelona, Omega, 1969.
27. Wilkie, D., *Herencia citoplásmica*. España, Aihambra, 1970.

Se sugiere consultar las siguientes revistas.

CIENCIA. Revista de la Academia de la Investigación Científica,

CIENCIA Y DESARROLLO. Revista del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

ICyT. Información Científica y Tecnológica, revista del CONACyT.

MUNDO CIENTÍFICO. Versión castellana de LA RECHERCHE.

SCIENTIFIC AMERICAN. Versión castellana.

REVISTA "CIENCIAS" de la Facultad de Ciencias, UNAM.

a) Cuarta Unidad: Evolución de los seres vivos.

b) Propósitos:

Que el alumno comprenda la evolución y su relación con la diversidad biológica, para contribuir con ello a desarrollar en él una actitud responsable frente a las formas de vida actuales.

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCION DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDACTICAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFIA
	Introducción a la unidad: • la evolución y su papel en la diversidad biológica.	En esta unidad se estudiará a la evolución como mecanismo característico de la vida y principal responsable de la diversidad biológica.	Se sugiere que el grupo, orientado por el profesor, plantee un problema que se resuelva a través de la unidad. Por ejemplo: a) ¿Cómo se explica la sucesión de especies que describe la Paleontología? b) ¿Cómo se explican las adaptaciones al vuelo de las aves? c) ¿Cuáles son las pruebas de la evolución? d) ¿Qué relación existe entre los diferentes tipos ambientales y la diversidad de formas de vida? e) ¿Qué adaptaciones presentan las plantas y animales del desierto?	1,6,7,8,11
	Evidencias de la evolución: • fósiles. • filogenia. • ciencias que aportan pruebas para la evolución: paleontología, anatomía, embriología y genética con paradas. • distribución geográfica de las especies. • adaptación.	Se estudiarán algunas de las evidencias que permiten la comprobación del proceso evolutivo, incluyendo el análisis de las aportaciones de las diferentes ciencias.	Se proponen prácticas de laboratorio como por ejemplo de: la observación de fósiles, la elaboración de modelos, cultivos de bacterias sometidos a antibióticos o la observación de ejemplares de diferentes grupos relacionados filogenéticamente, para que sirva de punto de partida para el análisis en grupo, con guía del profesor, de la importancia de estas y otras evidencias de la evolución. Se sugiere el estudio de mapas de distribución geográfica de alguna especie en diferentes épocas geológicas para que los alumnos interpreten esta evidencia y la relacionen con los procesos evolutivos. La	1,4,6, 13, 14, 16.

172

Antecedentes y desarrollo de la Teoría de la Evolución:

- Lamarck.
- Darwin.

Síntesis moderna.

Una vez que se han estudiado las evidencias de la evolución, se analizará de manera sencilla la síntesis moderna, para lo cual se estudiarán sus antecedentes en los trabajos de Lamarck y Darwin y su desarrollo a partir de los avances en el conocimiento científico. Se buscará que los alumnos comprendan los aspectos que permiten explicar la evolución y su relación con la diversidad biológica, sin analizarlos al detalle:

- a) variación entre especies
- b) genotipos que sobreviven más que otros
- c) cambios en la abundancia de los diferentes grupos

De este modo se busca que el alumno entienda que la evolución existe y que es un proceso biológico fundamental, complejo, cuya explicación aún está en discusión.

El hombre y la evolución.

Se analizará el lugar del hombre en la naturaleza, en el proceso evolutivo y su responsabilidad frente a las formas de vida actuales resultantes de dicho proceso.

elaboración de esquemas que permitan analizar los cambios morfológicos y atómicos como evidencia de la evolución de alguna especie, etc.

Estas actividades se pueden complementar con visitas guiadas a museos, proyección y análisis de material audiovisual y conferencias que apoyen los temas.

A partir del análisis de lecturas propuestas, los alumnos discutirán los trabajos de Lamarck y Darwin y el desarrollo que ha tenido la teoría de la evolución hasta la actualidad. Para ello se considerarán el momento histórico y el grado de conocimientos de cada una.

En una discusión grupal, el profesor guiará a los alumnos en el análisis de algún problema concreto relacionado con la evolución y en relación con la diversidad biológica; por ejemplo: la invasión del medio terrestre, las adaptaciones a cambios ambientales drásticos, la generación de nuevas especies, etc y lo relacionará con los mecanismos evolutivos. Los alumnos elaborarán un ensayo con sus conclusiones.

En una mesa redonda o a través de un debate se analizará el impacto de las actividades del hombre en la naturaleza a partir de su aparición sobre la tierra y se plantearán las responsabilidades y compromisos frente a las diferentes formas de vida.

1, 2, 3, 4, 5, 6,
7, 9, 10, 12, 13,
14, 15, 16, 17,
18, 19, 20.

173

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFIA"
<p>Total de horas: 15</p>	<p>Integración de los conocimientos de la unidad: • Concepto de Evolución.</p>	<p>Se retomará el problema inicial y se revisará la manera en que el estudio de los contenidos de la unidad aportaron elementos para su abordaje y en algunos casos su solución. Se analizará lo estudiado en la unidad con el fin de que el alumno comprenda que a lo largo de ella ha ido construyendo su concepto de evolución y lo identifique como un principio unificador de los seres vivos y su relación con la diversidad biológica.</p>	<p>En una sesión grupal se discutirán las evidencias y estrategias evolutivas planteadas a lo largo de la unidad y se sacarán conclusiones que permitan integrar los conocimientos adquiridos. Se discutirán en grupo los diferentes conceptos de evolución que los alumnos han construido y se hará una relación con el resto de temas analizados hasta el momento, para ello se sugiere la elaboración de mapas conceptuales.</p>	

c) Bibliografía:

Básica.

1. *Curtis, H., *Biología*. México, Panamericana, 1993.
 2. Dobzhansky, T, Ayala, F. et al., *Evolución*, Barcelona, Omega, 1993.
 3. *Fried, G., *Biología*. México, McGraw-Hill, 1990.
 4. Kimball, J., *Biología*. México, Fondo Educativo Interamericano, 1986.
 5. Lazcano, A., *El origen de la vida*. México, Evolución química y Evolución biológica. Trillas, 1988.
 6. Ondarza, R., *Biología moderna*. México, Trillas, 1990.
 7. Ondarza, R., *Ecología (el hombre y su ambiente)*. México, Trillas, 1993.
 8. Oram, R., Hummer, P. y Smoot, R., *Sistemas vivientes*. México, Continental, 1983.
 9. Ruiz, R., *Positivismo y evolución: La introducción del Darwinismo en México*. México, UNAM, 1987.
 10. Savage, J., *Evolución*. México, CECSA, 1973.
 11. Sherman, Y. y Sherman, V., *Biología perspectiva humana*. México, McGraw-Hill, 1994.
 12. *Templado, J., *Historia de las teorías evolucionistas*. México, Alhambra, 1974.
 13. Toledo, V. y Garcia, A., *Evolución*. México, ANUIES, 1973.
 14. Vilee, C., Solomon, E., Berg, L. y Martin, D., *Biología*. México, Nueva Editorial Interamericana, 1996.
- * Se recomienda la consulta de estos libros con la finalidad de lograr unidad de información

Complementaria.

15. Alonso, E., *Diversidad y Evolución biológicas*. México, ENP-UNAM, 1994. Serie actividades de aprendizaje 4.
16. Maldá, J. M., *Las huellas de la vida*. México, Consejo Nacional de Fomento Educativo, 1986.
17. Mayr, E., *Algunas ideas sobre la historia de la síntesis evolutiva*. México, UNAM, 1987. Facultad de Ciencias.
18. Piñero, D., *De las bacterias al hombre." la evolución* México, FCE, SEP, CONACyT, 1987. Col: La ciencia desde México. No. 25.

19. Sarukhan, J., *Las musas de Darwin*. Col. México, FCE, SEP, CONACyT, 1988. La Ciencia desde México.
20. Schussheim, V., *El viajero incomparable*. México, Pangea, CONACyT, 1986.

Se sugiere consultar las siguientes revistas.

CIENCIA. Revista de la Academia de la Investigación Científica.

CIENCIA Y DESARROLLO. Revista del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

ICyT. Información Científica y Tecnológica, revista del CONACyT.

MUNDO CIENTÍFICO. Versión castellana de LA RECHERCHE.

SCIENTIFIC AMERICAN. Versión castellana.

REVISTA "CIENCIAS" de la Facultad de Ciencias, UNAM.

REVISTA DE LA SOCIEDAD MEXICANA DE HISTORIA NATURAL.

11175

a) **Quinta Unidad:** Historia evolutiva de la diversidad biológica.

b) **Propósitos:**

El alumno estudiará el origen y la evolución de la diversidad biológica, reconociendo los principales grupos de seres vivos, para ubicarse a si mismo en la escala evolutiva y con ello fomentar el desarrollo de una actitud responsable frente a la naturaleza.

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFIA
20	Introducción a la unidad: Origen y evolución de la diversidad biológica* Qué es la diversidad biológica: • taxonomía. • criterios de clasificación.	Se estudiará la diversidad biológica, con el fin de que los alumnos entiendan a lo largo de la unidad, los procesos evolutivos que favorecieron la generación de formas de vida distintas* Se analizará que es la diversidad biológica, que la define y la forma en que se estudia, para que esto sirva de base para toda la unidad* Se hablará de la Taxonomía como una disciplina necesaria en el estudio de la diversidad biológica, de los criterios de clasificación y su importancia en la investigación biológica de todos los tiempos. Una vez que el alumno comprende qué es la diversidad, se revisarán los orígenes del universo y de la vida como puntos de partida para hablar de los diferentes grupos taxonómicos y su aparición en el planeta como resultado de un proceso evolutivo* Para ello los mecanismos y las evidencias evolutivas revisados en la unidad anterior permitirán ir reconstruyendo las etapas y condiciones de aparición de cada uno. En el estudio de estos temas se buscará hacer una narración cronológica de la aparición de los principales phyla destacando, cuando proceda, sus adaptaciones	A través de observación de ejemplares, diapositivas o videos de organismos, plantear problemas de diversidad biológica que sean abordados a lo largo de la unidad* Los alumnos investigarán qué es la Taxonomía y sus orígenes y en una discusión grupal se concluirá cuál es su importancia en las investigaciones biológicas y las perspectivas a futuro* En el laboratorio se pueden realizar prácticas de clasificación de ejemplares biológicos empleando diversas claves* Para la revisión del origen del universo y de la vida se propone que los alumnos investiguen, incluso visiten museos o analicen proyecciones y después en clase se revisen las condiciones y aspectos más importantes de estos dos temas. Los alumnos llevarán libros a la clase y elaborarán líneas de tiempo o cuadros descriptivos de los diferentes phyla, narrando su aparición, sus adaptaciones y características distintivas. Asímismo los procesos biológicos que les permitieron la radiación adaptativa, por ejemplo la invasión de los diferentes medios* Se destacará la importancia para	1, 4, 6, 11, 14, 24. 1, 2, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 14, 20, 21, 24, 26, 28. 10, 15, 16, 19, 22, 23, 24, 25, 27. 2, 3, 4, 5, 8, 11, 13, 17, 18.
	Teorías sobre el origen del Universo y el origen de la vida: • protovirus y virus. • protocélulas.			
	Procariontes y los orígenes de la diversidad metabólica.			
	Protistas y el origen de los eucariontes.			
	Plantas y la colonización de la tierra.			
	Fungi.			

176

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCION DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFÍA
	Invertebrados y el origen de la diversidad animal hasta los cordados.	morfológicas y funcionales como resultado de su radiación adaptativa y estableciéndose de manera sencilla los vínculos filogenéticos entre ellos. Deberá realizarse una breve descripción de cada reino y los principales phyla que lo integran, destacando sus principales características, ejemplos más conocidos y la importancia de cada uno desde el punto de vista científico, médico, industrial, agrícola, etc. Esto permitirá a los alumnos reconocer la diversidad biológica actual como el resultado de un proceso evolutivo complejo y valorar su presencia.	el hombre de cada uno de los grupos. Se sugieren actividades de apoyo como la elaboración de modelos, láminas, la observación de ejemplares en el laboratorio, la proyección de películas e investigación documental por parte de los alumnos para que realicen observaciones y comparaciones que ayuden en la elaboración de cuadros comparativos y líneas de tiempo.	
	Ubicación del hombre en la escala evolutiva.		En mesas redondas discutir y analizar la ubicación del hombre en la escala evolutiva y las consecuencias de sus actos. Proponer soluciones.	
Total de horas: 20				

157

c) Bibliografía:

Básica.

1. *Alexander, P. et al., *Biología*. México, Prentice-Hall, 1992.
 2. Barnes, R. D., *Zoología de los invertebrados*. México, Interamericana, 1985.
 3. Bock, Th. D. y Madigan, M.T., *Microbiología*. México, Prentice-Hall Hispanoamericana, 1993.
 4. Bojalil, L. y Aznavurian, A., *Introducción a la Biología*. México, Trillas, 1990.
 5. Cronquist, A., *Botánica básica*. México, CECSA, 1985.
 6. Curtis, H. y Barnes, N.S., *Biología*. México, Panamericana, 1993.
 7. Curtis, H., *Biología*. México, Panamericana, 1993.
 8. Fernández, A. A., *Los invertebrados*. México, Trillas, Serie: El universo de la Biología.
 9. Kimball, J., *Biología*. México, Fondo Educativo Interamericano, 1986.
 10. Lazcano, A. A., *El origen de la vida*. Evolución química, Evolución biológica. México, Trillas, 1988.
 11. *Margulis, L. y Schuartz, K., *Cinco reinos*. Barcelona, Labor, 1985.
 12. Oram, R., Hummer, P. y Smoot, R., *Sistemas vivientes*. México, Continental, 1983.
 13. *Overmire, T. G., *Biología*. México, Limusa Noriega, 1992.
 14. Weisz, P. B. y Keogh, R. N., *La ciencia de la Biología*. España, Ediciones Omega, 1987.
- * Se recomienda la consulta de estos libros con la finalidad de lograr unidad de información.

Complementaria.

15. Aranda, A., *En la frontera de la vida: los virus*. México, FCE, SEP, CONACyT, 1988. Colección: La ciencia desde México. No. 71.
16. Asimov, I., *Las fuentes de la vida*. México, Limusa, 1988.
17. Cifuentes, L. J. L., Torres-García, P., y Frías, M., *El océano y sus recursos*. México, FCE-SEP-CONACyT, 1986. Colección la ciencia desde México. Varios números: 2,12,17,24,46,63.
18. Leakey, R. E., *Orígenes del hombre*. México, CONACyT, 1982.
19. Lurié, D. y Wagensberg, J., *Termodinámica en la Evolución Biológica*. Marzo de 1979. Investigación y Ciencia, No.30.
20. Llorente, J., *La búsqueda del método natural*. México, FCE-SEP-CONACyT, 1990. Colección: La Ciencia desde México. No. 95.
21. Maldá, J. M., *Las huellas de la vida*. México, Consejo Nacional de Fomento Educativo, 1986.
22. Oparin, A., *El origen de la vida*. México, Grijalbo, 1968.
23. Orgei, L. E., *Los orígenes de la vida*. España, Alianza Universidad, 1975.
24. Piñero, D., *De las bacterias al hombre: evolución*. México, FCE-SEP-CONACyT, 1987. Colección: la ciencia desde México. No. 25.
25. Savage, J., *Evolución*. México, CECSA, 1973.
26. Schusseim, V. y Salas, E., *El guardián de los herbarios del rey" Jean Baptise Lamarck*. México, Gatopardo Editores, 1985.
27. Toledo, V. y García, A., *Evolución*. México, ANUIES, 1973.
28. Valdes, J. y Flores, H., *El ordenador del mundo*. Carl Linné. México, Pangea Editores, CONACyT, 1988.

Se sugiere consultar las siguientes revistas.

CIENCIA. Revista de la Academia de la Investigación Científica.

CIENCIA Y DESARROLLO. Revista del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

ICyT. Información Científica y Tecnológica Revista del CONACyT.

MUNDO CIENTÍFICO. Versión Castellano de LA RECHERCHE.

SCIENTIFIC AMERICAN. Versión castellano.

NATURALEZA.

REVISTA "CIENCIAS" de la Facultad de Ciencias, UNAM.

REVISTA DE LA SOCIEDAD MEXICANA DE HISTORIA NATURAL.

a) Sexta Unidad: Los seres vivos y su ambiente.

b) Propósitos:

Que el alumno, a partir del estudio y conocimiento de las relaciones de los organismos con su ambiente, sea capaz de reconocerse como parte del ecosistema y con ello se contribuya a desarrollar actitudes favorables y positivas frente a la conservación de la naturaleza y los problemas ambientales.

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFÍA
12	Introducción a la unidad: relación de los seres vivos con su ambiente,	En esta unidad se estudiará como los seres vivos no existen en el vacío, sino que se encuentran interactuando continuamente entre sí y con su ambiente; esto es esencial para entender la vida en todos sus niveles de organización.	El grupo orientado por el profesor planteará problemas que se podrán resolver a través de la unidad. Por ejemplo: a) ¿Cómo influye la temperatura en la distribución de organismos sobre la tierra?; b) ¿Por qué México tiene una gran riqueza de ecosistemas? c) ¿Cuáles son los principales problemas ambientales de nuestra comunidad? ¿Cuáles los de nuestro país y nuestro planeta?	1, 2, 6, 7, 11, 15, 17, 34.
	La Ecología y su objeto de estudio.	Se estudiará el objeto de estudio de la Ecología, y se analizará desde su surgimiento hasta su concepción actual como una actividad interdisciplinaria.	Los alumnos realizarán una investigación bibliográfica sobre la historia de la Ecología y la analizarán en clase. Identificarán artículos de revistas y periódicos los principales problemas de índole ecológico de nuestro país y discutirán con guía del profesor propuestas de solución.	1, 4, 9, 11, 12, 17, 23, 26, 28, 30, 33.
	Ecología de Poblaciones, comunidades y ecosistemas: • índices ecológicos (biomasa, densidad, etc.). • relaciones interpopulacionales: depredación, competencia, comensalismo, mutualismo, parasitismo, amensalismo.	Se estudiará de manera general los principales aspectos que caracterizan un estudio de ecología de poblaciones y comunidades, indicando los parámetros que pueden ser tomados en cuenta para valorar el estado en que se encuentra una población o una comunidad. Se estudiarán las relaciones que pueden	Para el estudio de poblaciones, comunidades y ecosistemas se sugiere una salida al campo o prácticas de laboratorio en donde los alumnos tengan que caracterizar estructural y funcionalmente un ecosistema. Por ejemplo: estudio de acuarios y terrarios. Que evalúen la importancia de sus elementos y las interrelaciones entre ellos, así como las	4, 6, 9, 16, 17, 20, 22, 24, 25, 27, 29, 31, 32.

179

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDACTICAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFÍA
	<ul style="list-style-type: none"> • relaciones intrapoblacionales. • estructura de un ecosistema: factores abióticos. Factores bióticos. • ecosistemas terrestres y acuáticos. • energía en los ecosistemas: niveles tróficos, cadenas, pirámides, tramas alimenticias: Ciclos biogeoquímicos: Agua, C, N, PyO. 	<p>darse en una comunidad y la importancia de éstas en su mantenimiento.</p> <p>Se estudiará de manera general la estructura y funcionamiento de un ecosistema, así como los tipos de ecosistemas que existen, con el fin de que los alumnos tengan una cultura ecológica básica, que les permitirá desarrollar actitudes respetuosas y responsables frente a la naturaleza y en consecuencia evitar el deterioro ambiental.</p>	<p>consecuencias de una alteración. Que mencionen los principales problemas que pueden presentarse y propongan soluciones.</p> <p>Se sugiere complementar las actividades con proyecciones audiovisuales, visitas a Jardín Botánico, museos, conferencias con profesores e investigadores, debates sobre diversos temas.</p>	1, 7, 8, 10, 11, 18, 19.
12	<p>Recursos Naturales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recursos naturales renovables y no renovables 	<p>Se revisará la definición de recursos naturales y su clasificación, haciendo especial mención de los recursos naturales de nuestro país, sus problemas de uso y manejo y se plantearán propuestas de solución.</p>	<p>Los alumnos investigarán los principales recursos naturales de nuestro país y se clasificarán en clase. Se revisarán los problemas asociados con su conocimiento, uso y manejo adecuado y los alumnos deberán elaborar folletos informativos o campañas de información para que el resto de los alumnos del plantel conozcan estos aspectos.</p>	3, 8, 13, 20, 35.
	Ecosistemas mexicanos.	<p>Se revisarán los principales ecosistemas de nuestro país, su localización, principales componentes, importancia y problemas asociados.</p>	<p>El grupo se divide en equipos y cada equipo elige un ecosistema de nuestro país. Prepara su exposición y lo presenta frente al grupo, destacando su importancia, problemas asociados y propuestas de solución.</p>	3, 8, 14, 20, 21, 25, 26.
	<p>Problemas ambientales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • nivel local y regional (contaminación de agua, aire, desechos sólidos y residuos peligrosos), 	<p>Se revisarán algunos de los problemas ecológicos a nivel mundial, en nuestro país y ciudad, con el fin de que los alumnos estén conscientes de éstos y asuman una actitud responsable frente a ellos.</p>	<p>Los alumnos a través de una investigación, detectarán los principales problemas ambientales a nivel mundial, en nuestro país y ciudad. Con esta información se realizará un análisis grupal y se propondrán acciones para su solución.</p>	5, 6, 11, 24, 26.

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFÍA
	<ul style="list-style-type: none"> • nivel país. (sobreexplotación de recursos y extinción de especies). • nivel mundial. (cambio climático global). 		<p>Se propone la realización de debates en mesas redondas para que los alumnos discutan diferentes temas ambientales. Por ejemplo el efecto de las actividades humanas en el ambiente, las consecuencias de la inversión térmica, el cambio climático global, etc. Esto se puede apoyar con la exposición de carteles sobre los principales problemas ambientales que incluyan propuestas de solución.</p> <p>Apoyar estas actividades con el análisis de videos, visitas guiadas a museos, reservas ecológicas, Jardín botánico, conferencias con especialistas, etc. Los alumnos después de estas actividades entregarán al profesor un reporte con sus conclusiones.</p> <p>Se sugiere una investigación sobre contaminación de agua, aire, suelo y alimentos en un proyecto multidisciplinario con los colegios de Química, Anatomía y Geografía en los Laboratorios de Creatividad y LACE.</p>	
Total de horas:	Integración de los conocimientos de la unidad	Se retomará el problema inicial y se revisará la manera en que el estudio de los contenidos de la unidad aportaron elementos para su abordaje y en algunos casos solución,	En una sesión grupal se plantearán! los iposibles soluciones para el problema planteado al inicio de la unidad y se sacarán conclusiones que permitan integrar los conocimientos adquiridos.	
24				

c) Bibliografía:

Básica*

1. *Alexander, P. et al., *Biología*. México, Prentice-Hall, 1992.
2. Arana, F., *Ecología para principiantes*. México, Trillas, 1982.

3. Bassols, B. A., *Recursos Naturales de México*. México, Nuestro Tiempo, 1991.
 4. Begon, M. H. y Townsend, J. *Ecología, individuos, poblaciones y comunidades*. Barcelona, Omega, 1988.
 5. Bolaños, F., *El impacto biológico. Problema ambiental contemporáneo*. México, UNAM, 1990. Instituto de Biología.
 6. *Curtis, H. y Barnes, N. S., *Biología*. México, Panamericana, 1993.
 7. Curtis, H., *Biología*. Panamericana, 5a. México, 1993.
 8. Gómez-Pompa, A., *Los recursos bióticos de México*. México, Alhambra, 1985.
 9. González, J., Fernández, A. A., y Segura, P. L., *Ecología I*. México, Trillas, ANUIES, 1982.
 10. Kimball, J., *Biología*. México, Fondo Educativo Interamericano, 1986.
 11. *Miller, G. T., *Ecología y Medio Ambiente*. México, Interamérica, 1994.
 12. Odum, E. P., *Ecología: vínculo entre las ciencias naturales y sociales*. México, Compañía Editorial Continental, 1971.
 13. Ondarza, R., *Biología moderna*. México, Trillas, 1990.
 14. Ondarza, R., *El impacto del hombre sobre la tierra*. México, Trillas, 1993.
 15. Oram, R., Hummer, P. y Smoot, R. *Sistemas vivientes*. México, Continental, 1983.
 16. *Overmire, T. G., *Biología*. México, Limusa Noriega, 1992.
 17. *Vázquez, T. G., *Ecología y formación ambiental*. México, McGraw-Hill, 1993.
 18. Weisz, P. B. y Keogh, R. N., *La ciencia de la Biología*. España, Ediciones Omega, 1987
 19. Wallace, R., King, J. L., y G. P., Sanders. *Conducta y Ecología*. México, Trillas, 1992. Serie: Las ciencias de la vida 4.
- * Se recomienda la consulta de estos libros con la finalidad de lograr unidad de información

Complementaria.

20. Cifuentes, L. J. L., Torres-García, P., y Frias, M., *El océano y sus recursos*. México, FCE-SEP-CONACYT, 1986. Colección la ciencia desde México. Varios números: 2,12,17,24,46,63.
21. Ezcurra, E., *De las chinampas a la megápolis. El medio ambiente en la cuenca de México*. México, FCE-SEP-CONACYT, 1989. Colección: La ciencia desde México. No. 91.
22. Equihua, Z. M. y Benítez, B. G., *Dinámica de las comunidades ecológicas*. México, Trillas, Serie: El Universo de la Biología, 1990.
23. Fragois, L. G., *Relación entre los seres vivos y su ambiente*. México, Trillas, Serie: El Universo de la Biología,
24. Gio-Argáez, R., Hernández, R. I. y Sáinz-Hernández, E. (Compiladores), *Ecología Urbana*. México, SMHN, 1989. Volumen especial.
25. Gio-Argáez, R., Hernández, R. I. y Sáinz-Hernández, E. (Compiladores), *Diversidad biológica en México*. México, SMHN. 1993. Volumen XLIV (Especial).
26. Gordillo, H. D., *Ecología y contaminación ambiental*. México, Interamericana, 1995.
27. Gould, S., *El pulgar del panda*. Barcelona, Orbis, 1986.
28. Gunter, H., *La nueva historia de Adán y Eva*. Barcelona, Círculo de Lectores, 1979.
29. Harper, B. y Townsend, J., *Ecología, individuos, poblaciones y comunidades*. Barcelona, Omega, 1988.
30. Kormondy, E. J., *Conceptos de Ecología*. México, Alianza Editorial, 1976.
31. Quadri, G., *Acciones para mejorar el medio ambiente*. México, Fundación Manantial, 1993.
32. Soberón, J., *Ecología depoblaciones*. México, FCE-SEP-CONACYT, 1989. Colección: La ciencia desde México. No. 82.
33. Soberón, J., *Una panorámica de la Ecología en México*. México, PRONATURA, 1991. Serie de cuadernos de conservación. No. 1.

34. *La Naturaleza en acción: Introducción a la Ecología*. México, CONACYT, 1982.
35. Yañez-Arancibia, A., *Ecología de la zona costera*. México, AGT Editor, 1986.

Se sugiere consultar las siguientes revistas.

CIENCIA. Revista de la Academia de la Investigación Científica.

CIENCIA Y DESARROLLO. Revista del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

ICyT. Información Científica y Tecnológica Revista del CONACyT.

MUNDO CIENTÍFICO. Versión en castellano de LA RECHERCHE.

SCIENTIFIC AMERICAN. Versión en castellano.

NATURALEZA.

REVISTA "CIENCIAS" de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

REVISTA INTERNACIONAL DE CONTAMINACION AMBIENTAL.

4. BIBLIOGRAFÍA GENERAL

Básica:

- Aiberts, B., *Biología molecular de la célula*. Barcelona, Omega, 1994.
- Alexander, P., *Biología*. México, Prentice-Hall, 1992.
- Alonso, T. E., *Biología para bachillerato*. Un enfoque integrador. México, McGraw-Hill, 1991.
- Arana, F., *Ecología para principiantes*. México, Trillas, 1982.
- Avers, Ch., *Biología Celular*. México, Interamericana, 1986.
- Ayala, F. J. y Kinger, S. A., *Genética moderna*. México, Fondo educativo interamericano, 1990.
- Baker, J. y Allen, G., *Biología e investigación científica*. Massachusetts, FEI, 1970.
- Baibas, P. y F., Bolívar. *Ingeniería genética*. En Peña, A (compilador). La Biología Contemporánea. México, UNAM, 1983. (pp. 117-132).
- Barnes, R. D., *Zoología de los invertebrados*. México, Interamericana, 1985.
- Bassols, B. A., *Recursos Naturales de México*. México, Nuestro Tiempo, 1991.
- Begon, M. H. y Townsend, J., *Ecología, individuos, poblaciones y comunidades*. Barcelona, Omega, 1988.
- Bock, Th. D. y Madigan, M. T., *Microbiología*. México, Prentice-Hall Hispanoamericana, 1993.
- Bohinsky, R. C., *Bioquímica*. México, Addison-Wiley Iberoamérica, 1991.
- Bojalil, L. y Aznavurian, A., *Introducción a la Biología*. México, Trillas, 1990.
- Bolaños, F., *El impacto biológico. Problema ambiental contemporáneo*. México, UNAM, 1990. Instituto de Biología.
- CNEB., *Biología, interacción de experimentos e ideas*. México, Limusa, 1974.
- Cronquist, A., *Botánica básica*. México, CECSA, 1985.
- Curtis, H., *Biología*. México, Médica Panamericana, 1985.
- Curtis, H., y Barnes, N.S. *Biología*. México, Panamericana, 1993.
- Darnell, J., Lodish, H. y Baltimore, D., *Biología celular y molecular*. Barcelona, Omega, 1993.
- Díaz Zagoya, J. C., *Bioquímica*. México, Interamericana-McGraw-Hill, 1995.
- Dobzhansky, T., Ayala, F. et al., *Evolución*. Barcelona, Omega, 1993.
- Fernández, A. A., *Los invertebrados*. México, Trillas, Serie: El universo de la Biología.
- Fried, G., *Biología*. México, McGraw-Hill, 1990.
- Gómez, R. J., *El método experimental*. México, Harla, 1983.
- Gómez-Pompa, A., *Los recursos bióticos de México*. México, Alhambra, 1985.
- González, J., Fernández, A. A., y Segura, P.L., *Ecología I*. México, Trillas, ANUIES, 1982.
- Gutiérrez-Saenz, R., *Introducción al método científico*. México, Esfinge, 1992.
- Kimball, J., *Biología*. México, Fondo Educativo Interamericano, 1986.
- Lazcano, A., *El origen de la vida*. México, Evolución química y Evolución biológica. Trillas, 1988.
- Lehninger, A. H., Nelson, D. L. y Con, M. M., *Principios de Bioquímica*. Barcelona, Omega, 1994.
- Marco, B. et al., *La enseñanza de las ciencias experimentales*. Madrid, Narcea, 1987.
- Margulis, L., *El origen de la célula*. Barcelona, Reverté, 1993.
- Margulis, L. y Schuartz, K., *Cinco reinos*. Barcelona, Labor, 1985.

- 185
- Mertz, E. T., *Bioquímica*. México, Publicaciones Cultural, 1992.
Miller, G. T., *Ecología y Medio Ambiente*. México, Interamérica, 1994.
Nelson, E. G., *Principios de Biología*. México, Enfoque humano. Limusa, 1991.
Odum, E. P., *Ecología. " vinculo entre las ciencias naturales y sociales*. México, Compañía Editorial Continental, 1971.
Ondarza, R., *Biología moderna*, México, Trillas, 1990.
Ondarza, R., *Ecología (el hombre y su ambiente)*. México, Trillas, 1993.
Ondarza, R., *El impacto del hombre sobre la tierra*. México, Trillas, 1993.
Oram, R., Hummer, P. y Smoot, R., *Sistemas vivos*. México, Ed. Continental, 1983.
Otto, J., Towle, A., *Biología moderna*. México, Nueva Editorial Interamericana, 1983.
Overmire, T. G., *Biología*. México, Limusa Noriega, 1992.
Padilla, H., *Elpensamiento científico*. México, Trillas, 1990.
Puertas, M. J., *Genética*. México, Interamericana-McGraw-Hill, 1992.
Riveros, H. G. y Rosas, L., *El método científico, aplicado a las ciencias experimentales*. México, Trillas, 1987.
Ruiz, R., *Positivismo y evolución: La introducción del Darwinismo en México*. México, UNAM, 1987.
Salamanca, F., *Citogenética humana*. México, Médica Panamericana, 1990.
Savage, J., *Evolución*. México, CECSA, 1973.
Savín, C., *Procesos celulares*. México, Trillas, 1987.
Sherman, Y. y Sherman, V., *Biología perspectiva humana*. México, McGraw-Hill, 1994.
Solari, A. J., *Introducción a la Genética general y médica*. México, Interamericana-McGraw-Hill, 1995.
Stansfield, W., *Genética*. México, McGraw-Hill, 1992.
Strickberger, M. W., *Genética*. Barcelona, Omega, 1988.
Suzuki, D.T. Griffith, F. y Miller, J. H., *Genética*. México, Interamericana- McGraw-Hill, 1995.
Templado, J., *Historia de las teorías evolucionistas*. México, Alhambra, 1974.
Toledo, V. y García, A., *Evolución*. México, ANUIES, 1973.
Vázquez, T.G. *Ecología y formación ambiental*. México, McGraw-Hill, 1993.
Villalobos, R., *Genética*. México, Trillas, 1988.
Vilsee, C., *Biología*. México, Interamericana, 1992.
Vilsee, C., Solomon, E., Berg, C. y Martín, D. *Biología*. México, Nueva Editorial Interamericana, 1996.
Wallace, R., King, J.L., y G. P., Sanders. *Conducta y Ecología*. México, Trillas, 1992. Serie: Las ciencias de la vida 4.
Weisz, P. B. y Keogh, R. N., *La ciencia de la Biología*. España, Ediciones Omega, 1987.

Complementaria:

- Alonso, E., *Diversidad y Evolución biológicas*. México, ENP-UNAM, 1994. Serie actividades de aprendizaje 4.
Andión, G. M., Beller, T. W. y Dietrich, A., *Guía de investigación científica*. México, Cultura Popular, UAM-Xoch., 1986.
Aranda, A., *En la frontera de la vida: los virus*. México, FCE, SEP, CONACyT, 1988. Colección: La ciencia desde México. No. 71.
Asimov, I., *Las fuentes de la vida*. México, Limusa, 1988.

- 186
- Ayala, F. J. y Kiger, S. A., *Genética moderna*. México, Fondo Educativo Interamericano, 1994.
- Baker, J. y Allen, G., *Biología e investigación científica*. México, Fondo Educativo Interamericano, 1970.
- Barahona, A. y Piñero, D., *Genética. La continuidad de la vida*. México, FCE, SEP, CONACyT, 1994. Col. La ciencia desde México. No.125.
- Barceñas, A. y Artís, M., *Introducción al método científico en Biología*. México, Cia. Editorial continental, 1982.
- Bernal, J., *La Ciencia en la Historia*. México, UNAM, 1959.
- Bojorquez, L., *La vida celular*. México, Anuies, 1973.
- Castañeda, M., *Antología de la Biología molecular*. México, UNAM, 1985.
- Cifuentes, L. J. L., Torres-García, P., y Frías, M., *El océano y sus recursos*. México, FCE-SEP CONACyT, 1986. Colección la ciencia desde México. Varios números: 2,12,17,24,46,63.
- CNEB., *Biología, interacción de experimentos e ideas*. México, Limusa, 1974.
- Colegio de Biología de la ENP., *Material de apoyo para el examen extraordinario colegiado*. México, UNAM, 1983.
- Chalmers, A. F., *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*. México, Siglo XXI, 1991.
- De Gortari, E., *El método de las ciencias*. México, Grijalbo, 1979.
- De Kruijff, P., *Los cazadores de microbios*. México, Epoca, 1987.
- Del Castillo, L., *El fenómeno mágico de la ósmosis*. México, FCE, SEP, CONACyT, 1986. Col. La ciencia desde México, 16.
- Del Río, M., *Cosas de la Ciencia*. Col. La ciencia desde México 21, México, FCE, SEP; CONACyT, 1987.
- Equihua, Z. M. y Benitez, B. G., *Dinámica de las comunidades ecológicas*. México, Trillas, 1990. Serie: El Universo de la Biología.
- Ezcurra, E., *De las chinampas a la megápolis. El medio ambiente en la cuenca de México*. Colección: La ciencia desde México. No. 91. México, FCE-SEP-CONACyT, 1989.
- Fortes, B. M. y Gómez, W. C. (Eds.), *Retos y Perspectivas de la Ciencia en México*. México, Academia de la Investigación Científica.
- Fragoís, L. G., *Relación entre los seres vivos y su ambiente*. México, Trillas, Serie: El Universo de la Biología.
- Gardner, E. J., *Principios de Genética*. México, Limusa, Wiley, 1975.
- Gío-Argáez, R., Hernández, R. I. y Sáinz-Hernández, E. (Compiladores), *Ecología Urbana*. México, SMHN, 1989. Volumen especial.
- Gío-Argáez, R., Hernández, R. I. y Sáinz-Hernández, E. (Compiladores), *Diversidad biológica en México*. México, SMHN, 1993. Volumen XLIV (Especial).
- Gold, M., *Procesos energéticos para la vida*. Fotosíntesis. México, Trillas, ANUIES, 1985.
- Gordillo, H. D., *Ecología y contaminación ambiental*. México, Interamericana, 1995.
- Gouid, S., *El pulgar del panda*. Barcelona, Orbis, 1986.
- Gunter, H., *La nueva historia de Adán y Eva*. Barcelona, Círculo de Lectores, 1979.
- Harper, B. y Townsend, J., *Ecología, individuos, poblaciones y comunidades*. Barcelona, Omega, 1988.
- Kormondy, E. J., *Conceptos de Ecología*. México, Alianza Editorial, 1976.
- La Naturaleza en acción: Introducción a la Ecología*. México, CONACyT, 1982.
- Leakey, R. E., *Orígenes del hombre*. México, CONACyT, 1982.
- Lurié, D. y Wagensberg, J., *Termodinámica en la Evolución Biológica*. Marzo de 1979. Investigación y Ciencia, No.30.
- Llorente, J., *La búsqueda del método natural*. Colección: México, FCE-SEP-CONACyT, 1990. La Ciencia desde México. No. 95.
- Maldá, J. M., *Las huellas de la vida*. México, Consejo Nacional de Fomento Educativo, 1986.

- 187
- Marquez, M. J., *Probabilidad y estadística para ciencias químico biológicas*. México, McGraw-Hill, 1990.
- Mayr, E., *Algunas ideas sobre la historia de la sh-tesis evolutiva*. México, UNAM, 1987. Facultad de Ciencias.
- Méndez, Y. et al., *El protocolo de la investigación*. México, Trillas, 1990.
- Mercado, H. S., *¿Cómo hacer una tesis?*. México, Limusa, 1993.
- Nelson, E. G., *Principios de Biología: enfoque humano*. México, Limusa, 1991.
- Olea, F. P., *Manual de técnicas de investigación documental para la enseñanza media*. México, Esfinge, 1981.
- Oparin, A., *El origen de la vida*. México, Grijalbo, 1968.
- Orgel, L. E., *Los orígenes de la vida*. España, Alianza Universidad, 1975.
- Palazón, A., *Energía y vida. Bioenergética*. México, ENP, UNAM, 1994.
- Palazón, A., *Materia y vida. Bioenergética*. México, ENP, UNAM, 1994.
- Peña, A., *¿Cómo funciona una célula?*. Fisiología celular. México, FCE, SEP, CONACyT, 1995. Colección La ciencia desde México. No. 122.
- Peña, A., *Las membranas de la célula*. Col. La ciencia desde México No. 18, México, FCE, SEP, CONACyT, 1986.
- Pie, C. M., *El mensaje hereditario*. Una introducción a la Genética. México, Trillas, 1988.
- Piña, E., Pena, A., Chagoya, V. y Martuscelli, J., *Temas Bioquímicos de actualidad*. México, UNAM, 1979.
- Piñero, D., *De las bacterias al hombre: evolución*. México, FCE-SEP-CONACYT, 1987. Colección: La ciencia desde México. No. 25.
- Quadri, G., *Acciones para mejorar el medio ambiente*. México, Fundación Manantial, 1993.
- Rosas, L. y H., Riveros. *Iniciación al método científico experimental*. México, Trillas, 1993.
- Sarukhan, J., *Las musas de Darwin*. México, FCE, SEP, CONACyT, 1988. Colección La Ciencia desde México.
- Savage, J., *Evolución*. México, CECSA, 1973.
- Schusseim, V. y Salas, E., *El guardián de los herbarios del rey: Jean Baptise Lamarck*. México, Gatopardo Editores, 1985.
- Schussheim, V., *El viajero incomparable*. México, Pangea, CONACyT, 1986.
- Soberón, J., *Unap panorámica de la Ecología en México*. México, PRONATURA, 1991. Serie de cuadernos de conservación. No. 1.
- Soberón, J., *Ecología de poblaciones*. México, FCE-SEP-CONACYT, 1989. Colección: La ciencia desde México. No. 82.
- Tamayo y Tamayo, M., *Metodología formal de la investigación científica*. México, Limusa, 1988.
- Téllez, L. J., *Biología aplicada*. México, McGraw-Hill, 1990.
- Toledo, V. y García, A., *Evolución*. México, Anúes, 1973.
- Valdes, J. y Flores, H., *El ordenador del mundo*. Carl Linné, México, Pangea Editores, CONACyT, 1988.
- Walker, M., *El pensamiento científico*. México, Grijalbo, 1968.
- Weisz, P., *La ciencia de la Biología*. Barcelona, Omega, 1969.
- Wilkie, D., *Herencia citoplásmica*. España, Alhambra, 1970.
- Yañez-Arancibia, A., *Ecología de la zona costera*. México, AGT Editor, 1986.
- Zarza, E., *Introducción a la bioquímica*. México, Trillas, 1990.

Se sugiere consultar las siguientes revistas:

CIENCIA. Revista de la Academia de la Investigación Científica.

CIENCIA Y DESARROLLO. Revista del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

ICyT. Información Científica y Tecnológica Revista del CONACyT.

MUNDO CIENTÍFICO Versión en castellano de LA RECHERCHE.
SCIENTIFIC AMERICAN. Versión en castellano.
NATURALEZA.
REVISTA "CIENCIAS" de la Facultad de Ciencias de la UNAM.
REVISTA INTERNACIONAL DE CONTAMINACION AMBIENTAL.
REVISTA DE LA SOCIEDAD MEXICANA DE HISTORIA NATURAL.

5. PROPUESTA GENERAL DE ACREDITACIÓN

La evaluación deberá ser permanente y servir como indicador importante que nos permitirá orientar mejor el proceso enseñanza-aprendizaje.

La evaluación de cada unidad se hará considerando los propósitos de la misma, el contenido temático y las estrategias didácticas empleadas. De manera general se sugieren las siguientes formas de evaluación.

a) Actividades o factores.

El alumno demostrará su capacidad de búsqueda, procesamiento, análisis e interpretación de la información adquirida mediante la aplicación de dichos conocimientos a la resolución de problemas concretos. Estas actividades se sugiere sean evaluadas en forma individual y por equipo durante el desarrollo de toda la unidad y como ejercicio permanente de planeación del curso.

Sugerencia de actividades a evaluar:

- a) exámenes teórico-prácticos.
- b) trabajo de laboratorio (incluyendo asistencia, participación, diseño experimental, informe de la actividad).
- c) trabajo de investigación (bibliográfico o experimental).
- d) tareas y ejercicios en clase.

b) Carácter de la actividad.

- a) exámenes teórico-prácticos: individual.
- b) trabajo de laboratorio: individual y en equipo.
- c) trabajo de investigación: en equipo.
- d) tareas y ejercicios en clase: individual, en equipo o grupal.

c) Periodicidad.

- a) exámenes teórico-prácticos: cada vez que el profesor y alumnos consideren conveniente en función de la factibilidad de integración de la información que se esté manejando y de acuerdo con los períodos establecidos por el H. Consejo Técnico de la ENP.
- b) trabajo de laboratorio: cada vez que haya una actividad de apoyo.
- c) trabajo de investigación: permanentemente durante la unidad: desde su planeación y ejecución hasta su reporte.
- d) tareas y ejercicios en clase: permanentemente durante la unidad.

d) Porcentaje sobre la calificación sugerido.

- a) exámenes teórico-prácticos: 30 %
- b) trabajo de laboratorio: 30 %
- c) trabajo de investigación: 20 %
- d) tareas y ejercicios en clase: 20 %

6. PERFIL DEL ALUMNO EGRESADO DE LA ASIGNATURA

La asignatura de Biología IV, contribuye a la construcción del perfil general del egresado de la siguiente manera, que el alumno:

- reconozca los aspectos biológicos que definen la unidad y diversidad de los seres vivos, así como las características y procesos fundamentales de la vida, para que explique los principales fenómenos biológicos.
- muestre una cultura ambiental que se traduzca en actitudes responsables y respetuosas frente a la naturaleza y el ambiente.
- aplique las reglas de la investigación básica en la solución de problemas a partir de la indagación, la observación y la inferencia.
- traduzca sus conocimientos biológicos en prácticas cotidianas para el mejoramiento de su calidad de vida y de los demás.

7. PERFIL DEL DOCENTE

Características profesionales y académicas que deben reunir los profesores de la asignatura.

El curso deberá ser impartido por profesores que tengan como mínimo el título de licenciatura en la carrera de Biología. Es además necesario que estos profesores cumplan con los requisitos que marcan el Estatuto del Personal Académico de la UNAM y lo establecido por el Sistema de Desarrollo del Personal Académico de la Escuela Nacional Preparatoria (SIDEPA). Asimismo que se incorporen de manera permanente a los programas de formación y de actualización tanto disciplinaria como pedagógica que la Escuela Nacional Preparatoria y otras dependencias ponen a su disposición o mediante otros programas paralelos. Es además deseable que estos profesionistas enriquezcan su práctica docente con actividades de intercambio académico como es su participación en los seminarios de enseñanza que están contemplados en el Plan de Desarrollo Académico Institucional de la ENP u otros foros de este tipo. En la medida de lo posible, es recomendable que se incorporen en actividades de investigación de la disciplina o educativa, pues esto enriquecerá el trabajo del profesor quien a su vez podrá hacer importantes aportaciones al trabajo colegiado.