

La Enseñanza de la genética: Una propuesta didáctica para la educación secundaria obligatoria desde una perspectiva constructivista

Francisco Javier Iñiguez Porras

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tdx.cat) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tdx.cat) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tdx.cat) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

TESIS DOCTORAL

LA ENSEÑANZA DE LA GENÉTICA: UNA
PROPUESTA DIDÁCTICA PARA LA EDUCACIÓN
SECUNDARIA OBLIGATORIA DESDE UNA
PERSPECTIVA CONSTRUCTIVISTA

Francisco Javier Íñiguez Porras

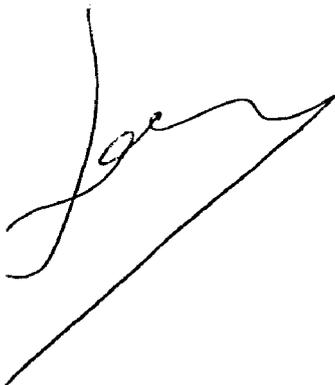
2005

Tesis doctoral presentada por FRANCISCO JAVIER ÍÑIGUEZ
PORRAS

Programa de Doctorat "Didàctica de les Ciències Experimentals i de
la Matemàtica". Bienni 1995-1997.

Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i de la
Matemàtica. Universitat de Barcelona

Director: Dr. MANUEL PUIGCERVER OLIVÁN



Vº Bº



Dr. Manuel Puigcerver Oliván

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar queremos agradecer mostrar nuestro agradecimiento a los estudiantes del Institut d'Ensenyament Secundari Lliçà que participaron en la implantación de nuestra propuesta didáctica, ya que sin ellos, esta investigación no su hubiera podido llevar a cabo.

También debemos agradecer a Roger Prat su participación como profesor en dos grupos de estudiantes que formaban parte de la investigación.

Las sugerencias y comentarios de nuestro Director, Dr. Manel Puigcerver han resultado muy valiosos, así como su colaboración en el tratamiento informático de los datos. Queremos agradecer su ánimo y apoyo constante, que ha sido un gran estímulo que nos ha permitido superar las dificultades.

Pero muy especialmente quiero agradecer a Asun los muchos momentos de los que le he privado, así como su apoyo y comprensión en los tramos más difíciles de la confección de esta memoria.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
1. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS.....	10
1.1. Marco conceptual de la didáctica de las ciencias.....	10
1.2. Bases del proceso de enseñanza-aprendizaje.....	13
1.2.1. Bases epistemológicas.....	13
a) Inductivismo y empirismo.....	14
b) Falsacionismo popperiano.....	15
c) Las revoluciones científicas de Kuhn.....	15
d) El convencionalismo evolucionista de Toulmin.....	16
e) El anarquismo epistemológico de Feyerabend.....	17
f) Los programas de investigación de Lakatos.....	18
1.2.2. Bases psicológicas.....	18
a) El asociacionismo conductual.....	19
b) La psicología de la Gestalt.....	19
c) El modelo de Gagné.....	20
d) La epistemología genética de Piaget.....	21
e) El modelo de Ausubel.....	22
f) Psicología del procesamiento de la información.....	24
g) Las aportaciones de Vygotsky.....	25
1.3. Modelos didácticos para la enseñanza de las ciencias.....	26
1.3.1. Enseñanza por transmisión.....	27
1.3.2. Enseñanza por descubrimiento.....	27
1.3.3. Enseñanza constructivista.....	28
a) Las concepciones de los alumnos.....	29
b) Características de las concepciones del alumnado.....	30
c) Origen de las concepciones del alumnado.....	32
d) Tratamiento e importancia didáctica de las concepciones.....	33
1.3.3.1. Modelos de enseñanza constructivista.....	34
a) El modelo del cambio conceptual.....	34

b) El modelo de enseñanza como investigación.....	36
c) El modelo de los ciclos de aprendizaje de Lawson.....	39
d) El modelo de la autorregulación de los aprendizajes.....	40
1.4. Nuestro modelo de enseñanza.....	41
2. LA DIDÁCTICA DE LA GENÉTICA.....	44
2.1. Consideraciones generales sobre la didáctica de la genética.....	45
2.2. Problemática de la docencia de la genética.....	50
2.2.1. Concepciones del alumnado sobre genética.....	50
2.2.2. Líneas de investigación en didáctica de la genética.....	57
3. PROBLEMÁTICA DEL MODELO TRADICIONAL DE ENSEÑANZA DE LA GENÉTICA.....	60
3.1. El currículo de Ciencias y la enseñanza de la Genética.....	62
3.1.1. Crítica del currículo oficial LOGSE (1992).....	62
3.1.2. Crítica del currículo oficial actual (2002).....	64
3.2. Análisis de los libros de texto.....	75
3.2.1. Método de análisis de los libros de texto.....	76
3.2.2. Resultados del análisis de los libros de texto.....	77
3.2.3. Conclusiones del análisis de los libros de texto.....	85
3.3. El modelo tradicional de enseñanza de la genética.....	86
3.3.1. Características del modelo tradicional de enseñanza de la genética.....	86
4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN. HIPÓTESIS Y PLAN DE TRABAJO.....	90
4.1. Objetivos de la investigación.....	91
1) Objetivos referidos al estudio de los esquemas conceptuales del alumnado.....	92
2) Objetivos referidos al modelo de enseñanza tradicional.....	92
3) Objetivos referidos al modelo de enseñanza constructivista.....	92
4) Objetivos referidos a los resultados de los modelos de enseñanza.....	93
4.2. Hipótesis de trabajo.....	93
4.3. Plan de trabajo para comprobar las hipótesis.....	96

4.3.1. Diseño de la investigación.....	96
4.3.2. Fases de la investigación.....	99
5. METODOLOGÍA.....	103
5.1. Metodología en didáctica de la genética.....	104
5.2. Instrumentos usados en la detección de concepciones de los alumnos.....	107
5.2.1. Instrumentos utilizados para la recogida de los datos.....	107
5.2.2. Instrumentos utilizados para el análisis de los datos.....	111
5.3. Metodología usada durante la investigación.....	112
5.3.1. Recogida de información.....	112
5.3.2. Tratamiento de los datos.....	113
5.3.3. Redes sistémicas.....	115
5.3.4. Modelos de aprendizaje.....	119
5.3.5. Índice de mejora.....	121
5.4. Justificación de la metodología utilizada durante la investigación.....	122
5.5. Una propuesta didáctica innovadora.....	126
5.5.1. Fundamentación de la propuesta.....	126
5.5.2. Objetivos didácticos.....	133
1) Objetivos de los contenidos conceptuales.....	133
2) Objetivos de los contenidos procedimentales.....	136
3) Objetivos de los contenidos actitudinales.....	137
5.5.3. Presentación de la propuesta didáctica.....	138
5.5.3.1. Contenidos de la secuencia didáctica.....	140
5.5.3.2. Evaluación de los procesos de aprendizaje de la secuencia didáctica.....	202
5.5.3.3. Temporalización de la secuencia didáctica.....	205
6. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	214
6.1. Análisis global del cuestionario.....	215
6.2. Localización y estructura de los cromosomas.....	228
6.3. Función de los cromosomas.....	261

6.4.	Localización de los genes.....	298
6.5.	Célula y herencia.....	334
7.	ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA. IMPLICACIONES DIDÁCTICAS.....	364
7.1.	Análisis de las agrupaciones control y experimental.....	365
7.2.	Valoración de la herramientas metodológicas empleadas...	368
7.3.	Modelo de enseñanza-aprendizaje constructivista y modelo tradicional.....	374
7.3.1.	Localización de los cromosomas.....	374
7.3.2.	Localización de los genes.....	380
7.3.3.	Función de los cromosomas.....	387
7.3.4.	Célula y herencia.....	393
7.3.5.	Análisis global.....	399
7.4.	Implicaciones para la enseñanza de la genética.....	402
8.	CONCLUSIONES.....	408
9.	BIBLIOGRAFIA.....	417
	ANEXO 1. Organismos fantásticos diseñados por el alumnado...	440
	ANEXO 2. Cuestionario de detección de concepciones.....	459
	ANEXO 3. Fotografías de los modelos utilizados.....	463

INTRODUCCIÓN

Durante el verano del año 2000 se hizo público el anuncio por parte del gobierno británico de la autorización para crear y manipular clones humanos con finalidades médicas. Queda ya muy lejos el nacimiento de la oveja clónica Dolly y el descubrimiento de la estructura de la molécula de ADN de Watson y Crick (1953) parece remontarse a un lejano pasado.

Los medios de comunicación se hacen eco rápidamente de los trabajos científicos relacionados con la manipulación del material genético que se publican en *Science*, *Nature* o revistas científicas más especializadas. Los legisladores han de hacer un esfuerzo para adaptarse a las nuevas posibilidades que la ciencia abre. Una nueva disciplina como es la bioética tiene que hacer reflexionar sobre el presente y el futuro de una sociedad donde la biotecnología y las aplicaciones de la manipulación genética ya no son ciencia-ficción.

Cada día son más frecuentes conversaciones sobre clonación, organismos transgénicos, terapia génica o genoma humano como si de conceptos sencillos se tratase y, en ocasiones, con algunos errores o interpretaciones inadecuadas.

En definitiva, la genética y sus aplicaciones en medicina, agricultura o ganadería son ámbitos de la ciencia en auge. Ahora bien, ¿qué grado de conocimiento real tiene la población sobre estos temas? ¿Sabemos de qué hablamos cuando nos referimos a terapia génica o cuando se discute sobre posibles efectos negativos de los alimentos elaborados a partir de organismos transgénicos? ¿Qué grado de conocimiento real tiene la población sobre la naturaleza y la ubicación del material hereditario? Es necesario conocer e interpretar correctamente conceptos como gen, cromosoma o célula, entre otros, para llegar a entender la complejidad y el significado de las aplicaciones de la genética y la biotecnología.

El estudio de la naturaleza del material hereditario y de los mecanismos de la herencia se inicia en el segundo ciclo de la Educación Secundaria Obligatoria. Es en este momento cuando el alumnado entra en contacto, desde el punto de vista académico, con los conceptos relacionados con la genética y cuando se trabajan en el aula los contenidos que permitan al alumnado conocer los mecanismos de la herencia. De esta forma, los estudiantes pueden llegar a entender los procesos implicados en las investigaciones y aplicaciones de la biotecnología, además de poder valorar sus implicaciones sociales, éticas, científicas y médicas.

La enseñanza de la genética es uno de los apartados de la biología más difícil de entender por el alumnado y de los que reúne más dificultad conceptual, tal y como sostienen Johnstone y Mahmoud (1980) y Smith (1988) y como nuestra propia experiencia docente confirma. Pero también es de los temas que motiva al alumnado en mayor medida y más fácilmente encuentran aplicación con la vida real.

A nuestro juicio dos son los problemas fundamentales con los que nos encontramos en la didáctica de la genética:

1) *Aquello que el alumno ya sabe cuando llega al aula.*

El alumno suele llegar al aula con ciertas ideas sobre la materia en estudio, que suelen encontrarse fragmentadas, sin estructura claramente delimitada, con frecuencia intuitivas y muchas veces erróneas (Posada, 2000). En el caso de la genética sucede lo mismo que en el resto de ámbitos de las ciencias.

Ahora bien, muchos alumnos no presentan concepciones alternativas sobre determinados aspectos, sencillamente no tienen ideas al respecto por carecer de requisitos conceptuales previos. También detectamos ideas que vienen influenciadas por las creencias populares o se basan en creencias o tradiciones (Solomon, 1988), como, por ejemplo, que la información hereditaria de los padres se reparte de manera diferente según sea el sexo de los hijos.

En el campo de la genética se dan las mismas circunstancias descritas pero hay que añadir la influencia de los medios de comunicación o incluso películas como *Jurassic Park* (1993) en potenciar determinadas concepciones o crear nuevas.

En este sentido, son numerosas las concepciones alternativas que se han descrito sobre la naturaleza del material hereditario, su localización y los mecanismos de transmisión, que pueden ser detectadas y utilizadas didácticamente por el profesorado (Kargbo et al., 1980; Longden, 1982; Collins y Stewart, 1989; Kindfield, 1991; Banet y Ayuso, 1995; Lewis y Wood-Robinson, 2000, entre muchos otros).

2) *El modelo tradicional de enseñanza de la genética*

El modelo de enseñanza de la genética basado en un proceso de transmisión de conocimientos elaborados es el más utilizado por el profesorado de educación secundaria (Porlan, 1995). Diez años más tarde, esta afirmación conserva toda su validez.

Los libros de texto publicados por las editoriales se ciñen a un currículum oficial con poco margen para proponer estrategias didácticas alternativas. El contenido del material didáctico que editan está pensado para su utilización en el aula a partir de un modelo transmisivo.

Este modelo no permite que el alumnado sea consciente de sus ideas, ni que el profesorado conozca qué concepciones tiene el alumnado sobre los mecanismos de la herencia y la naturaleza del material hereditario. Por tanto, no se elaboran estrategias didácticas encaminadas a la substitución de dichas ideas por otras aceptadas como más correctas científicamente.

Esta interpretación de la forma de enseñar genética tampoco permite que el alumnado pueda interrelacionar con sus compañeros ni con el profesor, siendo éste un mero transmisor de conceptos y el estudiante un receptor pasivo de información (Porlan et al., 2000).

Un modelo de enseñanza-aprendizaje de la genética de este estilo tendrá dificultades para provocar un cambio conceptual en el alumnado y conseguir un aprendizaje significativo en el alumnado.

Por estas razones, la enseñanza de la genética en la Educación Secundaria Obligatoria necesita un replanteamiento didáctico que tenga en cuenta las concepciones de los alumnos y abandone el modelo de transmisión de conocimientos ya elaborados como estrategia en el aula. El alumnado ha de ser consciente de las concepciones que tiene sobre los mecanismos de la herencia y de la naturaleza del material hereditario y ha de ser protagonista en el proceso de enseñanza-aprendizaje, recibiendo en el aula estrategias didácticas que le permitan construir conocimientos.

Teniendo en cuenta la gran importancia que tiene en la sociedad actual la biotecnología y las aplicaciones de la genética en la vida cotidiana, el alumnado ha de recibir una enseñanza de la genética que le permita aplicar sus conocimientos en la interpretación y valoración de los avances de dicha ciencia. Los estudiantes tienen que formar parte de una población científicamente culta capaz de desarrollar un espíritu crítico sobre la manipulación del material hereditario y sus implicaciones en la vida cotidiana.

La situación que proponen Wood-Robinson et al. (1998) es un ejemplo de la necesidad de que la población esté formada en los procesos de la genética y sus aplicaciones, para poder tomar una decisión que les puede afectar personalmente: Se trata de una pareja que está esperando un hijo y han obtenido resultados positivos en una prueba como portadores de fibrosis quística. Se les ofrece un rastreo prenatal para tener más información sobre el estado de su feto. Entender el significado real de este caso implica cuatro dimensiones, según los autores:

- a) Ciertos conocimientos de genética básica.
- b) Apremiar fiabilidad y riesgos de la forma de rastreo prenatal.
- c) Comprensión del significado del nacimiento de un hijo con fibrosis quística.
- d) Previsión del futuro desarrollo de la terapia génica.

Precisamente el equipo de Collin Wood-Robinson, Lewis y Leach, de la Universidad de Leeds en el Reino Unido, llevan años trabajando en la problemática de la enseñanza de la genética. Partiendo del estudio de las concepciones del alumnado y del desarrollo de propuestas didácticas para el estudio de la genética en el Reino Unido (Engel Clough y Wood-Robinson, 1985; Wood-Robinson, 1994; Ramagoro y Wood-Robinson, 1995; Wood-Robinson et al., 1998; Lewis y Wood-Robinson, 2000; Lewis et al., 2000) este equipo ha diseñado un programa completo para el estudio de los mecanismos de la herencia dentro del Learning in Science Research Group de la Universidad de Leeds.

En España nos encontramos con el equipo de Enrique Banet de la Universidad de Murcia que también ha estudiado en profundidad las concepciones del alumnado sobre la naturaleza del material hereditario, los mecanismos de la herencia y la resolución de problemas (Banet y Ayuso, 1995; Ayuso et al. 1996). Estos autores también han propuesto orientaciones para el estudio de la genética (Banet y Ayuso, 2000; Ayuso y Banet, 2002), destacando la tesis doctoral de Ayuso (Ayuso, 2000), que propone y evalúa una secuencia didáctica de genética en la Educación Secundaria Obligatoria.

Otro equipo de investigadores que se ha centrado especialmente en la comprensión de la meiosis y la resolución de problemas es el liderado por Jim Stewart y Michael Dale de la Universidad de Wisconsin-Madison en Estados Unidos (Stewart , 1982; Stewart, 1983; Stewart y Dale, 1989; Stewart et al., 1990; Stewart y Dale, 1991).

La mayor parte de las publicaciones en didáctica de la genética (en revistas como *Science Education*, *Journal of Biological Education*, *The American Biology Teacher*, *Alambique*,...) se centran en la detección de concepciones alternativas del alumnado y la descripción de las dificultades de los estudiantes en la comprensión de los conceptos y procesos implicados en la herencia. Sin embargo, apenas hay trabajos en los que se muestren propuestas didácticas concretas basadas en los principios del constructivismo como alternativa a un modelo educativo de transmisión. Sí encontramos en las investigaciones publicadas sugerencias didácticas, aspectos que deben reforzarse durante la acción docente o modos de afrontar determinados conceptos o procesos. La investigación que presentamos en esta memoria se centra precisamente en proponer una alternativa de corte constructivista a la enseñanza tradicional de la genética.

Nuestra investigación se ha iniciado comprobando si nuestro alumnado posee las mismas concepciones alternativas que han recogido otros investigadores y que se encuentran publicadas.

Si bien hemos querido reflejar los esquemas conceptuales previos de nuestros estudiantes sobre la herencia, no hemos hecho un relato exhaustivo de las ideas del alumnado sobre la naturaleza de material hereditario, su localización, los mecanismos de transmisión de la información genética y otros procesos implicados en la comprensión de la genética. Una primera razón es que hay gran número de trabajos publicados que se han dedicado a analizar las concepciones del alumnado. La segunda razón es que considerábamos de mayor interés diseñar, llevar al aula y evaluar una secuencia didáctica basada en los principios del constructivismo, aspecto que no está suficientemente recogido en las líneas de investigación didáctica de la biología.

En un segundo momento hemos diseñado una secuencia didáctica que recoge las propuestas de los investigadores en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la genética. Esta propuesta didáctica se basa en los principios del constructivismo y pretende ser una alternativa plausible a un modelo de enseñanza basado en la transmisión de conocimientos ya elaborados.

Para poder evaluar la eficacia de nuestra propuesta, la hemos aplicado a una serie de grupos de alumnos escogidos al azar. Los resultados de estos estudiantes se ha comparado con los obtenidos por otros alumnos que han recibido los mismos contenidos curriculares pero bajo un modelo tradicional de enseñanza-aprendizaje de la genética.

La comparación de los resultados de ambos grupos se ha llevado a cabo en tres momentos: antes de iniciar la instrucción, justo después de la finalización de la acción docente y nueve meses después del final del período de instrucción.

De esta manera, hemos podido comparar los dos grupos de alumnos en el mismo momento cronológico y además cada uno de los modelos por separado a lo largo del tiempo.

En definitiva, nuestro trabajo se centra especialmente en la evaluación de la eficacia de una nueva propuesta didáctica a lo largo del tiempo y en demostrar su eficiencia frente a un modelo convencional de enseñanza de la genética. Para ello, es imprescindible conocer cómo cambian las concepciones del alumnado por la acción docente, por lo que hemos estudiado de manera exhaustiva su proceso de transformación y en menor medida su descripción. Tal y como hemos comentado anteriormente, hay menos aportaciones investigadoras del primer aspecto que del segundo, por lo que nos ha parecido de sumo interés prestarle más atención a este aspecto

En la presente memoria detallamos los antecedentes teóricos en los que se enmarca la investigación, se describen los problemas a investigar y se muestra el plan de trabajo elaborado para verificar las hipótesis que formulamos.

En el Capítulo 1, *Consideraciones generales sobre la Didáctica de las Ciencias*, hacemos una breve referencia a las bases epistemológicas y psicológicas del proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias. A continuación describimos los principales modelos didácticos existentes para la enseñanza de las ciencias, haciendo especial hincapié en el modelo de enseñanza constructivista. Este planteamiento teórico nos sirve para enmarcar teóricamente la propuesta didáctica que hemos diseñado y evaluado y que es descrita en los capítulos sucesivos.

En el Capítulo 2, *La Didáctica de la Genética*, se expone la situación actual de la Didáctica de la Genética y la controversia sobre su proceso de aprendizaje. Diversos investigadores coinciden en considerar la genética como uno de los aspectos de la biología que presenta más dificultad para el alumnado y de los que plantean situaciones didácticamente más complejas. A continuación describimos las concepciones del alumnado sobre la genética, a partir del estudio de la bibliografía existente al respecto. Finalmente mostramos las líneas de investigación existentes en Didáctica de la Genética.

En el Capítulo 3, *Problemática del modelo tradicional de enseñanza de la genética*, describimos los problemas que presenta en la actualidad la

enseñanza de la genética. El primero de ellos es el marco legal en el que se inscribe, ya que el currículum oficial señala qué contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales han de ser desarrollados en la Educación Secundaria Obligatoria. Sin embargo, los objetivos que se plantean de manera oficial por la Administración, en ocasiones no tienen en cuenta las orientaciones didácticas que se proponen desde el ámbito de la investigación e innovación educativa en general y de la genética en particular. Finalmente, hemos llevado a cabo una descripción crítica de los objetivos que son prescriptivos para la enseñanza de los mecanismos de la herencia.

Otro de los problemas que, a nuestro juicio existen en la enseñanza de la genética, es la existencia de libros de texto que se basan en un tipo de enseñanza en el que el material editorial es el referente más importante por el profesorado y el alumnado. Hemos realizado un estudio de algunos de los libros más utilizados en Catalunya, en el que se ha estudiado la secuenciación de los contenidos, la orientación de las actividades de aprendizaje y el grado de inclusión de las recomendaciones que los expertos en didáctica de las ciencias y de la genética proponen.

Finalmente, describimos las características del modelo tradicional de enseñanza de los mecanismos de transmisión de la herencia, basado en el papel del profesorado como el de un transmisor de conceptos ya elaborados.

La suma de estos elementos hace que los alumnos que han finalizado la enseñanza de la genética no consigan un verdadero aprendizaje significativo ni una modificación importante en sus concepciones sobre los procesos de la herencia biológica y la estructura del material hereditario. Esto se constituye como un importante problema didáctico que pretendemos investigar, además de proponer estrategias para su superación.

En el Capítulo 4, *Objetivos de la investigación. Hipótesis y plan de trabajo*, se describen los objetivos de nuestra investigación y se formulan las hipótesis que nos planteamos. Para alcanzar dichos objetivos y comprobar la veracidad de las hipótesis hemos diseñado un plan de trabajo en el que se incluyen las diferentes fases de la investigación (pretest antes de la implantación de la docencia, postest justo al acabar la secuencia, y recordatorio, nueve meses después) y los grupos de alumnos sobre los que se aplicarán dos modelos didácticos distintos, el transmisivo o *Control* y el constructivista o *Experimental*.

El Capítulo 5, *Metodología*, se detallan los diferentes instrumentos utilizados para la obtención y tratamiento de los datos. Después de comentar la validez de las diferentes herramientas utilizadas para la detección de concepciones del alumnado, se describe de qué manera se ha llevado a cabo la prospección de las ideas del alumnado. A continuación, hemos llevado a cabo una descripción de las técnicas utilizadas para mostrar los esquemas conceptuales del alumnado y su evolución en las diferentes fases de la investigación, tanto de las ya utilizadas en otras investigaciones, como de las que nosotros hemos diseñado y aplicado.

Por último, describimos la secuencia didáctica que hemos elaborado, aplicado en el aula y evaluado. Esta propuesta ha sido fundamentada teóricamente y muestra los objetivos conceptuales, procedimentales y actitudinales que se trabajarán en el aula. Hemos realizado una descripción de la secuencia didáctica, detallando en cada una de las lecciones las actividades de enseñanza-aprendizaje y justificando su idoneidad y recomendaciones para su aplicación en el aula.

En el Capítulo 6, *Análisis y discusión de los resultados*, se analiza la evolución de las concepciones del alumnado a lo largo de las tres fases de la investigación (pretest, postest y recordatorio) en los dos grupos de alumnos que recibieron metodologías didácticas diferentes (Control y Experimental). Por tanto, también hemos comparado cómo han cambiado las ideas del alumnado en función del tratamiento didáctico al que fuera sometido.

Los análisis se han llevado a cabo con la metodología cuantitativa y cualitativa que se describe en el capítulo V y nos ha permitido determinar el grado de eficiencia de un modelo de enseñanza frente a otro.

En el capítulo 7, *Análisis del impacto de la secuencia didáctica*, alcanzamos una visión más general sobre la eficiencia de un determinado modelo didáctico y de los aspectos en los que la aplicación de una secuencia constructivista puede provocar un cambio conceptual en el alumnado y alcanzar aprendizaje significativo. Como consecuencia de ello, aparecen unas implicaciones para la enseñanza de los mecanismos de la herencia y se proponen orientaciones para tener en cuenta en la acción docente de la enseñanza-aprendizaje de la genética.

Por último, en el capítulo de *Conclusiones*, se muestra en qué medida las hipótesis de trabajo formuladas en el capítulo 4 han sido aceptadas tras la interpretación de los resultados obtenidos.

Aspiramos a que nuestro trabajo pueda aportar sugerencias para afrontar los procesos de enseñanza-aprendizaje de la genética con más éxito del que los profesores de biología obtenemos con frecuencia.

Para finalizar, queremos hacer un comentario sobre una investigación similar llevada a cabo por Ayuso (2000) en forma de tesis doctoral. En nuestra opinión es un muy buen referente en la innovación educativa sobre la genética, ya que hace una descripción muy exhaustiva de las ideas alternativas del alumnado y describe sus esquemas conceptuales antes y después de la instrucción con gran claridad. También propone una secuencia didáctica que aplica en el aula y que evalúa con un postest y un test de retención. Todo ello hace de esta tesis doctoral un necesario referente de nuestra investigación.

No obstante, existen algunas notables diferencias con respecto a nuestra investigación que queremos destacar:

- 1) Los datos del postest corresponden a las ideas del alumnado recogidas en un cuestionario diferente al inicial, teniendo los alumnos la posibilidad de haber estudiado el tema.

En nuestro caso el cuestionario es el mismo en las tres fases de la investigación y los alumnos no han estudiado previamente los conceptos desarrollados durante la secuencia didáctica.

- 2) El test de retención se aplicó tres meses después de la finalización de la secuencia didáctica, pero dentro del mismo curso escolar.

El test de retención que nosotros aplicamos se hizo nueve meses después, en el curso siguiente y, aunque se ha producido pérdida de alumnado, se puede valorar más sólidamente la retención y la erosión del recuerdo.

- 3) La secuencia didáctica está muy bien fundamentada y descrita y aplicada a dos grupos de 25 alumnos, pero no ha habido grupos control para poder validar los resultados.

Nosotros hemos establecido dos tipos de agrupación de alumnos a los que hemos sometido a dos tratamientos didácticos diferentes, el *Experimental* o modelo constructivista y el *Control* o modelo transmisivo.

- 4) Los análisis de los resultados demuestran una gran atención prestada a los aspectos cualitativos y en menor medida a elementos cuantitativos.

Nosotros hemos tenido muy en cuenta los aspectos cuantitativos, verificando siempre estadísticamente los resultados, pero considerando también un análisis cualitativo de las concepciones del alumnado.

En cualquier caso, tal y como puede deducirse de las conclusiones a las que hemos llegado, nuestra investigación viene a confirmar algunas de las conclusiones de Ayuso y complementa otros aspectos recogidos en dicha investigación.

CAPÍTULO 1

CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS

1.1. MARCO CONCEPTUAL DE LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS

Podemos considerar que el objeto de la Didáctica de las Ciencias es el estudio de los procesos de construcción de conocimientos científicos en un entorno en el que participan alumnos, profesores y la ciencia. Pero de forma más sencilla puede definirse como la ciencia de enseñar ciencias (Izquierdo, 2000). Por tanto, debe describir y explicar los problemas más significativos de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, fundamentalmente para proporcionar conocimientos que permitan mejorar dichos procesos y tratar de resolver los problemas que puedan surgir en el desarrollo de los mismos (Gutiérrez et al., 1990).

Ahora bien, la Didáctica de las Ciencias no ha de ocuparse únicamente de la descripción y explicación de los sistemas de enseñanza y aprendizaje, sino que ha de proponer y experimentar modelos que ofrezcan alternativas prácticas, fundamentadas y coherentes. (Astolfi, 1994; Porlán, 1998).

La Didáctica de las Ciencias es, pues, una disciplina dinámica, ya que está estrechamente vinculada a la investigación educativa, aportando ideas para la práctica educativa y por otra parte captando los problemas detectados al utilizar las ideas que sugirió.

Existe un consenso a la hora de afirmar que los primeros inicios de lo que después se llamaría Didáctica de las Ciencias tuvo su origen a finales de los años 50 del siglo XX en los países anglosajones impulsando un movimiento de reforma del currículum, cuya finalidad era dar un nuevo impulso a la enseñanza de las ciencias (Fernández Uría, 1979; Gutiérrez, 1987a, Aliberas, 1989). Se intentó introducir a los programas, además de los hechos científicos conocidos, los procedimientos científicos que permiten llegar a ese conocimiento.

Posteriormente se introdujeron marcos teóricos más amplios, proporcionados especialmente por la psicología y que se ponían a prueba en el campo del aprendizaje, dando lugar a una nueva ciencia: la Didáctica de las Ciencias. Esta nueva disciplina exige el abandono del empirismo en el que se encontraba la enseñanza de las ciencias y el acoger un cuerpo teórico desarrollado en gran medida por los propios profesionales de la enseñanza de las ciencias (Aliberas, 1989).

Después de la implantación de una serie de reformas en la mayoría de países se llegó a una crisis de la enseñanza de las ciencias a finales de los 70 del pasado siglo. Dichas reformas no son capaces de acercar la ciencia a la sociedad, el profesorado continúa ejerciendo la docencia con un método empírico-inductivista y los alumnos continúan presentando graves errores conceptuales. No obstante, se produce una apertura en la década siguiente, cuando se empieza a considerar la necesidad de una mayor apertura disciplinar y epistemológica de la Didáctica de las Ciencias (Gutiérrez, 1987a).

Aliberas (1989) distingue dos corrientes metodológicas en Didáctica de las Ciencias:

- 1) Corrientes tradicionales. Presentan dos tipos de enfoque:
 - a) Un enfoque tradicional propiamente dicho que es básicamente empírico y no puede considerarse que posea un verdadero cuerpo teórico.
 - b) Un enfoque científico que se fundamenta en teorías extraídas de otros campos, como la psicología, con la intención de poder aplicar una metodología científica. Se basa en la realización de muchas investigaciones y dando a las prácticas una gran importancia en el proceso de enseñanza, cayendo en el empirismo. Del estudio de los conceptos a partir de varias experiencias concretas surgirá una suma de resultados que darán al alumnado una visión global de la realidad.
- 2) Corrientes humanistas. A partir del replanteamiento de los principios filosóficos de las corrientes tradicionales se plantean tres tendencias:
 - a) Tendencias políticas: Se considera que se deben cambiar las metas de la educación y desde ella ayudar a cambiar la sociedad.
 - b) Tendencias metodológicas: Consisten en saber qué pasa y qué valores hay presentes en el aula para poder cambiar desde dentro el proceso de enseñanza-aprendizaje.
 - c) Tendencias epistemológicas: Se considera fundamental tener en cuenta las ideas del alumnado, de manera que él debe contrastar sus concepciones con las nuevas ideas. La idea científica no debe imponerse de manera dogmática, ya que sería siempre superficial.

En la actualidad, la Didáctica de las Ciencias constituye un campo específico de investigación con diversas líneas de actuación (Gil et al., 2000), destacando bajo nuestro punto de vista las siguientes:

1) Concepciones alternativas.

Tal vez sea el campo de estudio que ha generado más cantidad de trabajos, publicados en forma de artículo (véase, por ejemplo, la revista *Enseñanza de las Ciencias*, o la monografía de Pfundt y Duit,(1994)) o en forma de tesis doctorales (Cañal, 1990; Jiménez Aleixandre, 1990, Pérez de Eulate, 1992, Núñez, 1994, entre otras). Puede considerarse este ámbito de investigación como uno de los principales en ayudar al auge de la didáctica de las ciencias ya que aún en la actualidad sigue proporcionando estudios.

2) Resolución de problemas.

Es otro de los aspectos importantes en las líneas de investigación de didáctica de las ciencias que también queda recogida ampliamente en la bibliografía, aunque nosotros destacaríamos el resumen realizado por Perales (2000). En el ámbito específico de la genética, éste es uno de los ámbitos que genera más

dificultades y que se manifiesta como didácticamente más interesante (ver capítulo 2).

3) Prácticas de laboratorio.

Es necesario un replanteamiento de la concepción que, en general, tiene el profesorado sobre las prácticas de laboratorio. Se han desarrollado trabajos para promover una metodología que propicie el planteamiento de pequeñas investigaciones y acerque más a la ciencia al alumnado, en lo que Hodson (1994) llama "hacer ciencia".

Otras líneas de investigación existentes y no menos interesantes son las relaciones ciencia-tecnología-sociedad, el estudio de los diseños curriculares, la evaluación y la formación del profesorado

1.2. BASES DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

El proceso de enseñanza-aprendizaje se sustenta en bases epistemológicas, bases psicológicas y las bases pedagógicas que suponen los modelos didácticos de enseñanza-aprendizaje.

1.2.1. Bases epistemológicas

La enseñanza de las ciencias debe ofrecer a los estudiantes una visión de la naturaleza de la ciencia y de los procesos a través de los cuales se construyen los nuevos conocimientos acordes con los planteamientos que en ese momento predominan entre los filósofos de la ciencia. En los inicios de la Didáctica de las Ciencias se transmitía la visión de que el conocimiento científico se construye a través de las contribuciones personales sin tener en cuenta posibles obstáculos, que la ciencia dispone de un método científico infalible y daban una idea equivocada del científico como "sabio" y de la ciencia como un conjunto de verdades inamovibles.

Posteriormente, la Didáctica de las Ciencias aceptó los planteamientos de los principales filósofos de la Ciencia (Kuhn, 1975; Toulmin, 1977; Lakatos, 1983; Feyerabend, 1983, entre otros), que consideran la naturaleza de la ciencia y la evolución del conocimiento científico desde supuestos como el carácter cambiante de la ciencia, la naturaleza constructiva del conocimiento a partir de las teorías vigentes y el carácter colectivo del progreso científico. Por tanto, la evolución de la Didáctica de las Ciencias hace un camino paralelo al de los nuevos modelos de Ciencia, que reciben las aportaciones de otras disciplinas como la historia de la ciencia, la sociología de la ciencia o la psicología cognitiva, pasando de considerar que la ciencia es un conjunto organizado y validado de conocimientos que explican cómo es el mundo en que vivimos, a considerar que la ciencia es un tipo de actividad humana y por tanto compleja y difícil de describir (Izquierdo, 2000).

Las actuales propuestas rechazan el modelo de ciencia racional identificado con la lógica y se refieren más bien a un tipo de racionalidad ligada a un proceso tentativo, constructivo y humano de las ciencias y el pensamiento científico (Newton-Smith, 1987; Chalmers, 1992).

Esta nueva visión de las ciencias llamado “modelo contextual” o “pragmático” (Koulaidis y Ogborn, 1989) ha servido como fundamento para el desarrollo de numerosas propuestas didácticas basadas en principios constructivistas.

A lo largo de la historia han existido diferentes formas de entender los mecanismos que usa la ciencia para generar conocimientos. Un mención a los principales métodos puede sernos de utilidad para entender la situación actual de la Didáctica de las Ciencias y para comprender cómo una comunidad científica llega al conocimiento, siendo conscientes de sus propias limitaciones y sus verdaderas posibilidades.

a) Inductivismo y empirismo

Para los filósofos de la Edad Antigua (Aristóteles, Pitágoras o Parménides), el conocimiento se basaba en la observación de la naturaleza, que proporciona experiencias sensibles a partir de las cuales se pueden establecer, mediante un proceso de inducción, los principios generales que dan lugar a la explicación de los hechos y fenómenos del mundo. A partir de aquí, mediante silogismos, se pueden realizar los procesos deductivos que darán lugar al conocimiento científico. Sin embargo, si observamos que un fenómeno se repite n veces, esto no implica que se vaya a repetir $n+1$ veces más. Chalmers (1992) explica la anécdota atribuida a Bertrand Russell sobre el “pavo inductivista”. Un pavo descubrió que en la granja le daban comida a las 9 de la mañana. Después de ver repetida la operación a la misma hora, sacó la conclusión de que “*Siempre como a las 9 de la mañana*” hasta que un día de Navidad a las 9 de la mañana le cortaron el cuello en lugar de darle la comida. Un número de observaciones verdaderas llevó al pavo a una conclusión falsa.

Según este planteamiento, el investigador no interfiere en el plan de la naturaleza y la ciencia proporciona una imagen exacta de la realidad. Esta visión se mantuvo hasta la Edad Media, cuando algunos filósofos como Roger Bacon defendían la necesidad de someter a la experimentación las teorías científicas.

La revolución científica del siglo XVII, protagonizada especialmente por Galileo, Kepler y Newton, supuso un punto de partida importante en el desarrollo del empirismo y del llamado método experimental.

A pesar de las diferencias entre inductivismo y empirismo, existe el elemento común de que la ciencia comienza con la observación. Las teorías científicas o las leyes se basan en una serie de enunciados acerca del estado del mundo hechos por un observador libre de prejuicios mediante la utilización de sus sentidos. Sin embargo, en sentido estricto esto no es cierto ya que cualquier

observación está precedida de una base teórica en la que se apoya y fundamenta.

b) Falsacionismo popperiano

Popper fue uno de los mayores críticos del inductivismo y el falsacionismo que proponía supuso un cambio de perspectiva radical (Popper, 1976). Para Popper las teorías son el punto de partida para la reflexión filosófica sobre la ciencia, así como para su contrastación negativa con la experiencia por la vía de la refutación. La actividad del científico ha de ser crítica, tratando de refutar las teorías vigentes en cada momento y de contribuir al progreso científico mediante la integración y mejora del conocimiento anterior (Echeverría, 1999).

Por tanto, la única demostración posible sobre una teoría es la de demostrar que es falsa. Si encontramos pruebas en contra, podremos estar seguros que una teoría es falsa, pero por muchas pruebas a favor que se recojan, nunca se podrá probar que es correcta. Según Popper el razonamiento científico es una interacción constante entre hipótesis y hechos, entre lo que podría ser y lo que es (Hodson, 1982).

Aunque el falsacionismo supone un progreso con respecto al inductivismo, es un concepto de ciencia que no ha sido asumido por las instituciones educativas ya que ni se enseña la provisionalidad del saber, ni se utilizan argumentos refutadores, puesto que cuando se elaboran hipótesis el objetivo es la demostración segura de teorías (Aliberas, 1989).

La teoría del falsacionismo sirvió como punto de partida para establecer un nuevo modo de entender el desarrollo científico. La ciencia trata de resolver una serie de problemas relacionados con diferentes aspectos del mundo; los científicos proponen hipótesis, leyes o teorías refutables al problema que son criticadas y refutadas. Algunas son eliminadas y otras sobreviven, éstas deben ser sometidas a nuevas críticas y pruebas más rigurosas. En consecuencia el progreso científico tendría un carácter más dinámico, al trasladar el centro de atención, no a la teoría, sino al debate de confrontación entre diversas teorías (Chalmers, 2000).

Popper también ha encontrado críticas. Por una parte deja sin resolver el problema de la observación, ya que cuando nos situamos en el marco de una teoría difícilmente nos plantearemos pruebas para rechazarla. En segundo lugar, se ha criticado el papel director de la lógica en el proceso de descubrimiento científico. Finalmente, buscar la refutación de las teorías no parece adecuarse a lo que persigue un científico en su trabajo.

c) Las revoluciones científicas de Kuhn

Cuando Thomas S. Kuhn publicó en 1962 el libro *The Structure of Scientific Revolutions* (Kuhn, 1962), supuso un cambio radical en los planteamientos basados en la lógica de los filósofos de la ciencia de la época. Puede decirse que la principal aportación de Kuhn ha sido aplicar la historia de la ciencia y

principios de sociología a la epistemología para explicar cuál es la naturaleza del conocimiento científico y cómo tiene lugar el progreso de la ciencia.

Afirma que en cada momento los especialistas de una ciencia comparten una serie de teorías, metodologías, normas y problemas científicos que constituyen lo que él llamó paradigma. Este modelo o patrón aceptado por los científicos de una época ha llegado a estar vigente tras imponerse a otros paradigmas rivales. Un paradigma permite ver una parte de la realidad aunque presenta suficientes puntos oscuros como para estimular el trabajo de aclararlos.

Un paradigma estaría constituido por los supuestos teóricos generales, las leyes y técnicas que es necesario aplicar para su desarrollo. Por tanto, los científicos adquieren el lenguaje, la metodología y el modo de considerar los fenómenos del paradigma, hasta llegar a formar una comunidad científica perfectamente definida. Esto daría lugar a una etapa definida por Kuhn como *ciencia normal*, en la que el científico no es crítico ni intenta refutar teorías vigentes.

Un paradigma nos permite encajar y comprender un conjunto de hechos pero los que no caen dentro de su campo de visión pasan desapercibidos e incluso se puede llegar a negar la existencia. Un caso sería el de las manchas solares, conocidas desde antes de la invención del telescopio, pero ignoradas a causa de su incompatibilidad con el paradigma astronómico medieval (Aliberas, 1989).

Cuando aparecen anomalías y se acumulan un buen número de ellas se espera que el paradigma pueda explicarlas, pero si no se consigue se produce una división entre la comunidad científica y entra en crisis, hasta el punto de que cuestiones ya resueltas pueden volverse a poner en duda. Esta crisis se agrava cuando aparece un paradigma rival con nuevas hipótesis y teorías, con un modo diferente de articular las anomalías que afectan al paradigma vigente.

Se trata de un paradigma incompatible con el anterior, que se va imponiendo conforme de todas las teorías opositoras va consolidándose una que logra mejores resultados en la lucha con la concepción vigente, constituyéndose como nuevo paradigma y entrando en una nueva fase de ciencia normal.

Este proceso de cambio ha sido denominado por Kuhn como *revolución científica*, en comparación con las revoluciones políticas.

d) El convencionalismo evolucionista de Toulmin

En la obra de Stephen Toulmin *La comprensión humana: I. El uso colectivo y la evolución de las especies* (1977), niega que los cambios científicos se realicen de la manera que propone Kuhn. Toulmin considera que los conceptos científicos, continuamente contrastados con la realidad, sufren un proceso de evolución darwiniana en la que se imponen los mejor adaptados a las exigencias cambiantes de la realidad en cada momento (Aliberas, 1989).

Los conceptos, teorías, métodos, etc. vigentes en una sociedad en un momento determinado no forman ninguna estructura coherente sino una población cambiante de elementos relativamente independientes. Al igual que los individuos de una población se agrupan en especies, esta población conceptual se agrupa en disciplinas que están sometidas a un proceso continuo de evolución histórica fundamentada en la innovación y en la selección. De la misma manera que el mecanismo biológico favorece organismos mejor adaptados a las exigencias del ecosistema, el mecanismo racional de selección escoge aquellas variantes conceptuales mejor adaptadas a las condiciones de la ecología conceptual de la disciplina. Es decir, se inclina por los conceptos y procedimientos que parecen más capaces de alcanzar los objetivos intelectuales de la disciplina, produciéndose un cambio conceptual.

Según el grado de consolidación de una disciplina, Toulmin diferencia *disciplinas compactas o maduras*, como la física, las *disciplinas difusas* (se acercan al ideal de modo aproximado) y las *disciplinas posibles* (están iniciando el proceso que las llevará a establecerse como tales).

El cambio conceptual se produce, según Toulmin de forma racional con razones intelectuales y sociales que Kuhn no tenía en cuenta. No está de acuerdo con la teoría de Kuhn, argumentando que en periodos de ciencia normal también se producen cambios conceptuales, y también recuerda que las revoluciones científicas se producen muy raramente, modificándose algunos aspectos pero no el conjunto de la disciplina.

e) Anarquismo epistemológico de Feyerabend

Feyerabend considera que una teoría o un paradigma excluye de su visión del mundo los hechos que no explica por lo que hay que procurar la proliferación de teorías contradictorias con las teorías aceptadas incluso con los hechos que no encajan, si lo que se pretende es obtener un nuevo conocimiento (Feyerabend, 1983).

Considera que ninguna de las metodologías propuestas hasta ahora han demostrado tener éxito y por tanto hay que abandonar la idea de un método fijo e invariable. Feyerabend es partidario del pluralismo metodológico hasta el punto de proponer que cualquier metodología puede ser válida y que el científico ha de ser heterodoxo y atrevido. Considera que el contacto entre ideas es beneficioso y necesario para la ciencia y los científicos no han de encerrarse en su concepción sino que han de estar dispuestos a admitir el diálogo con otros puntos de vista.

Propone que la ciencia ha de ser consciente de sus limitaciones: no ha de querer ser el único tipo legítimo de conocimiento ni constituirse en definitivo y ha de reconocer la necesidad de complementarse con otros enfoques.

La proliferación de teorías que propone el anarquismo epistemológico para estimular la creación y la necesidad de diálogo constante contra el dogmatismo supone un alejamiento de los planteamientos de quienes imaginan el método científico como un camino único e imprescindible hacia el saber.

f) Programas de investigación de Lakatos

Lakatos recogió aspectos falsacionistas de Popper y tuvo en cuenta algunos de los planteamientos de Kuhn. En su obra *La metodología de los programas de investigación científica* (1983) propone que las teorías han de ser evaluadas en la historia en función del *programa de investigación* en que se insertan. Para él, los programas de investigación son aquellas estructuras que sirven de guía a la futura investigación, tanto de forma positiva como de forma negativa (Lakatos, 1983).

Un programa de investigación consta de cuatro elementos: núcleo firme, cinturón protector, heurística negativa y heurística positiva. A partir de aquí, Lakatos fundamenta su teoría sobre cómo tiene lugar el cambio científico y el progreso de la ciencia.

En un programa de investigación hay un núcleo central que contiene las ideas y fundamentos teóricos de la disciplina. Alrededor de ese núcleo hay un cinturón protector que absorbe las críticas a la teoría y dando explicación a los posibles problemas que se planteen, mientras que el núcleo central permanece inalterado. Este fenómeno de intocabilidad del núcleo central rodeado del cinturón protector se llama heurística negativa. Las directrices que determinan el trabajo futuro que permitirá ir ampliando y consolidando el núcleo central es la heurística positiva.

Un programa de investigación puede ser considerado progresista o degenerador según consigan o no conducir al descubrimiento de fenómenos nuevos. Lakatos considera que un buen programa de investigación debe poseer un grado de coherencia que permita elaborar un programa de investigación de futuro y además debe conducir de vez en cuando al descubrimiento de nuevos fenómenos.

La teoría de los programas de investigación de Lakatos realiza dos aportaciones importantes a la filosofía de la ciencia. Por una parte propone que ante dos teorías o programas rivales será mejor aquella que suponga un mayor progreso para la ciencia y por otro lado los programas de investigación deben ser evaluados en función de las novedades que presenta y de su potencial predictivo en comparación con la teoría o programa rival.

1.2.2. Bases psicológicas

Dentro de todo proceso de enseñanza-aprendizaje resulta de un interés evidente la descripción de cómo se produce el aprendizaje de los alumnos. La psicología del aprendizaje a lo largo del siglo XX ha estado dominada por dos grandes paradigmas: el conductismo y las teorías cognitivas (Pozo, 1989), donde se encontrarían las propuestas de Gagné, Piaget, Ausubel y Vygotski entre otros.

a) El asociacionismo conductual

En esta teoría el aprendizaje se define como un cambio en la conducta manifiesta del individuo y se considera que lo que se aprende es siempre una asociación entre un estímulo y una respuesta expresada en términos de conducta observable. Los principales representantes de esta teoría son Pavlov, Thorndike, Skinner y Hull.

El asociacionismo conductual se puede concretar en tres máximas (Pozo, 1987):

- a) El aprendizaje es un efecto acumulativo o lineal de la práctica; cuanto mayor sea la práctica, mayor será el aprendizaje alcanzado.
- b) La adquisición de un nuevo concepto se apoya en los conceptos previamente existentes.
- c) Todo aprendizaje debe proceder de lo simple a lo complejo, es decir, para lograr un aprendizaje complejo es necesario establecer una secuencia o jerarquía de adquisiciones de complejidad creciente.

Este modelo llegó a las aulas a partir de la enseñanza programada (Skinner, 1977), pero ha recibido muchas críticas. La principal reside en el hecho de que lo que realmente interesa del proceso de aprendizaje no es el cambio en la conducta del individuo, sino los cambios que tienen lugar en los procesos de conocimiento subyacentes, que no son observables. La diferente capacidad de aprender a diferentes edades y de un individuo a otro también supone una crítica a este modelo de aprendizaje, que fue rápidamente superado.

b) La psicología de la Gestalt

Este movimiento surgió en los años 20 del pasado siglo en Alemania y no cree que el aprendizaje sea un proceso acumulativo regido por leyes de asociación, sino que es un proceso cualitativo regido por los procesos de reestructuración. Por tanto, los conceptos no se acumulan simplemente, sino que se organizan en estructuras que significan un cambio cualitativo del conocimiento. Con el aprendizaje, estas estructuras se reorganizan, cambiando el significado de los conceptos.

Este aprendizaje de reestructuración se produce por comprensión súbita del problema y es en este punto donde radican la mayoría de críticas. Efectivamente, Resnick (1983) considera que el aprendizaje repentino no es auténtico aprendizaje, sino más bien una toma de conciencia de un aprendizaje previamente realizado.

En cualquier caso, la psicología de la Gestalt sentó las bases de las teorías cognitivistas y del aprendizaje por reestructuración.

c) El asociacionismo computacional o aprendizaje jerárquico. El modelo de Gagné

Para Gagné, aprender es *adquirir la capacidad de comportarse de una manera determinada* (Gagné, 1971). Considera que el objetivo del aprendizaje es el que marca cuál ha de ser ese comportamiento, distinguiendo tres componentes básicos del aprendizaje:

1. Los procesos del aprendizaje: hacen referencia a la forma en que es procesada la información que debe ser aprendida.
2. Los resultados de aprendizaje: son la consecuencia de la estimulación o activación de los procesos. Habría cinco tipos de aprendizaje: destreza intelectual, estrategia cognitiva, información verbal, destreza motora y actitud. En el aprendizaje de las ciencias, la destreza intelectual sería la de mayor interés.
3. Las condiciones del aprendizaje: cada tipo de aprendizaje requiere unos requisitos distintos para su consecución, siendo estos requisitos las condiciones del aprendizaje, pudiéndose dividir en condiciones externas o internas.

Según Gagné, la adquisición de una nueva capacidad está determinada por las capacidades anteriores que ya posee el individuo. Describe ocho tipos de condiciones para el aprendizaje, cada una de las cuales es característica de un tipo de aprendizaje diferente y se estructuran de forma jerárquica subordinada, es decir, es condición necesaria poseer un conocimiento de un lugar inferior para adquirir el situado en un lugar más elevado de la jerarquía. Son los siguientes:

1. Reacción ante una señal
2. Estímulo-respuesta
3. Encadenamiento
4. Asociación verbal
5. Discriminación múltiple
6. Aprendizaje de conceptos
7. Aprendizaje de principios
8. Resolución de problemas

La secuenciación didáctica se tiene que basar en la elaboración de jerarquías de aprendizaje y marcan la ruta que seguirían los sujetos en su aprendizaje. La técnica consiste en contestar a la pregunta *¿Qué tendría que ser capaz de*

hacer el individuo para poder realizar con éxito esta tarea, suponiendo que sólo se le dan instrucciones? (Aliberas, 1989).

Se le critica que la concepción del aprendizaje es atomista y asociativa, es decir, es necesario aprender un concepto para continuar al siguiente ya que la estructura total del conocimiento no es simplemente la suma de las partes que la componen. (Cawthron y Rowell, 1978).

También se ha considerado que restringe su área de aplicación a la enseñanza programada o campos afines, de poca complejidad intelectual y por tanto no es recomendable su uso en la enseñanza de grandes conceptos de la ciencia (Gutiérrez, 1989). Por otra parte, Del Carmen (1990) señala que la secuenciación basada en jerarquías de aprendizaje corre el riesgo de dejar de lado aprendizajes complejos.

A pesar de las críticas, el modelo de Gagné se aplica en las aulas, especialmente para aprendizajes poco complejos como las reglas gramaticales o los procedimientos en la resolución de problemas bien estructurados y los profesores planifican sus secuencias partiendo de conceptos fáciles hasta llegar progresivamente a los más complicados.

d) La epistemología genética. El modelo de Piaget.

El interés fundamental de las investigaciones de Piaget es llegar a describir cómo se genera el conocimiento de los seres humanos, siendo ésta la razón por la que su teoría se denomina epistemología genética. En palabras de Piaget (1970), "la epistemología genética es el paso de un conocimiento peor o más pobre a un saber más rico (en comprensión y en extensión). Aunque no es propiamente una teoría sobre el aprendizaje, sus resultados tendrán implicaciones educativas importantes.

Una de las importantes aportaciones de Piaget ha sido la descripción y secuenciación de los estadios de desarrollo cognitivo por los que pasa un individuo por su vida. Los tres períodos piagetianos son:

1. Período sensoriomotor. Aproximadamente entre 0 y 2 años. Durante esta fase el niño persigue realizaciones y no el enunciado de verdades.
2. Período de la inteligencia representativa. Comprende dos subperíodos:
 - a) Subperíodo preoperatorio. Aproximadamente entre 2 y 7 años. Aunque ya existe un lenguaje, el pensamiento del niño aún trata por separado las situaciones estáticas de las cambiantes.
 - b) Subperíodo de las operaciones concretas. Aproximadamente entre 7 y 12 años. Ante un problema, el niño no plantea verdaderas hipótesis, no imagina posibilidades, sino que lleva a cabo acciones tratando de estructurar la realidad.

3. Período de las operaciones formales. Aproximadamente a partir de los 12 años. El pensamiento se convierte en hipotético-deductivo. Se plantean hipótesis y las deducciones permiten extraer consecuencias que se contrastan con la realidad.

Esta estructura en períodos de desarrollo cognitivo, permitió que las secuencias didácticas pudieran comenzar a plantearse en función del período en el que se encuentran los alumnos. Esto facilitaría el aprendizaje, ya que los objetivos se adaptarían al verdadero ritmo del alumnado.

Algunas investigaciones (Shayer y Adey, 1992) proponen determinar el nivel piagetiano atribuible a cada alumno a través de una tarea que mide el razonamiento en ciencias. Se ha evidenciado la divergencia entre las posibilidades reales del alumnado y las demandas de los programas educativos en primaria y secundaria y pudiera ser una causa del fracaso en la enseñanza de las ciencias. Además, no todos los alumnos llegan a la misma edad al mismo período. Este diferente momento de llegar a un determinado período es una de las críticas que se hace a este modelo. De hecho, es dudoso que todos los adultos hayan alcanzado el estadio formal.

Una segunda gran aportación de Piaget la constituye la formulación de la teoría de la equilibración, que explica el mecanismo por el que un sujeto construye su estructura mental. No cree en el aprendizaje por asociación y cree que el proceso cognitivo no es la suma de pequeños aprendizajes puntuales, sino que se produce por un proceso de equilibración. El aprendizaje se produciría cuando hay lugar un desequilibrio o conflicto cognitivo entre dos procesos que se complementan: la asimilación y la acomodación.

Con la asimilación el elemento externo se incorpora a esquemas mentales preexistentes en el sujeto. Ahora bien, esta incorporación puede provocar la aparición de conflictos que desestabilicen la estructura responsable. Entonces se produce la acomodación, que busca modificar la estructura mental correspondiente hasta encontrar una más adecuada.

Según esta teoría si no hay acomodación, no hay aprendizaje, puesto que no se toma conciencia del conflicto existente. El progreso de las estructuras cognitivas se basa en una tendencia a un equilibrio creciente entre ambos procesos.

e) La teoría del aprendizaje asimilativo. El modelo de Ausubel

A diferencia de Piaget, Ausubel no se propone una tarea epistemológica, sino destinada a su aplicación directa en el aula. Se trata, pues, de una teoría específica sobre el aprendizaje y no de un modelo psicológico general. Su teoría se basa en dos postulados (Gutiérrez, 1987b):

- 1) Enseñar ciencia es ante todo transmitir al alumno la estructura conceptual de la asignatura.

2) El factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe.

El interés fundamental de la obra de Ausubel es que los alumnos lleguen a conseguir un *aprendizaje significativo*, en antítesis del aprendizaje memorístico que se produce cuando el proceso de enseñanza se basa en asociaciones arbitrarias. Además, estructuras de conocimiento complejas difícilmente se adquirirán de forma memorística.

Para que se produzca aprendizaje significativo son necesarios dos requisitos:

1. Una actitud positiva por parte del alumnado hacia el aprendizaje significativo.
2. Que el material nuevo que se presenta sea potencialmente significativo para el sujeto, es decir, que tenga una significatividad lógica y que exista el contenido de ideas adecuado en la estructura cognoscitiva del sujeto (significatividad psicológica).

Por tanto, el hecho de adquirir un aprendizaje significativo depende de la experiencia del individuo, es una construcción individual, aunque no implica aprendizaje por descubrimiento. Cuando una idea se ha aprendido significativamente y, por tanto, conecta con la parte implicada de la estructura cognoscitiva, no se produce un simple almacenamiento sino que la integración del nuevo conocimiento modifica una parte de la estructura receptora. Este proceso, que Ausubel llama "asimilación", estabiliza el material aprendido, cosa que no puede pasar con el aprendizaje memorístico (Aliberas, 1989).

Para Ausubel hay tres tipos de aprendizaje significativo (Ausubel, 1976):

- a) Aprendizaje de representaciones: Consiste en obtener significado de símbolos aislados. Tiene una mayor importancia en niños pequeños.
- b) Aprendizaje de proposiciones: Es la significación de palabras que forman oraciones.
- c) Aprendizaje de conceptos: A partir de símbolos o proposiciones se obtiene un significado que se puede representar con un símbolo.

Respecto a la secuencia de contenidos, se propone una ordenación descendiente a partir de conceptos más generales y que vaya recorriendo los niveles jerárquicos hasta conceptos menos inclusivos. No todos los alumnos partirán del mismo nivel y por tanto se hace necesaria la recogida previa de información respecto del tipo de estructura conceptual del alumnado. A partir de esta información se puede elaborar una secuencia didáctica que permitirá orientar constantemente la acción educativa.

Novak (1982) ha sido uno de los investigadores que ha propuesto aplicaciones didácticas de las ideas de Ausubel. Participa de la idea central enunciada por Ausubel (1976): "Averiguad qué cosas ya sabe el alumno y enseñadle en

consecuencia". Dentro de esta perspectiva el trabajo de investigación se ha orientado en dos direcciones principales: el estudio de los organizadores previos y el de las ideas preconcebidas.

Entre las críticas que ha recibido este modelo habría que señalar:

1. Se cuestiona que la mayor parte de conceptos se adquiera por diferenciación de otros más generales.
2. Se considera que es difícil evaluar la estructura cognoscitiva de los alumnos.
3. La teoría de Ausubel se restringe al aprendizaje de conceptos y no se plantea el de procedimientos y actitudes.

Tiene a su favor que es el punto de arranque de lo que actualmente se denomina constructivismo en las ciencias. Este modelo constructivista tiene en cuenta, no solo el proceso de aprendizaje sino también el de enseñanza (Coll, 1987) y coloca como punto de partida y como meta la actividad mental constructiva de los sujetos: es el individuo el que construye el significado de lo que aprende y el papel del profesor es el de proporcionar experiencias interesantes a los alumnos para que puedan construir y dar sentido del mundo y de las ciencias en particular.

f) Psicología del procesamiento de la información.

Propuesto por Stewart y Atkins (1982), intenta describir los procesos de transformación de la información, de qué forma se almacena en la memoria y cómo se recupera cuando es necesaria. Según esto habría tres clases de memoria:

1. Memoria de información sensorial (MIS): Procesa las percepciones, es decir, impulsos del ambiente.
2. Memoria a corto plazo (MCP): Es el pensamiento consciente que mantiene la información un tiempo breve y sólo si ésta se va repitiendo y además existe una memoria de trabajo (MT) que procesa la información y entra nuevo material en la memoria a largo plazo.
3. Memoria a largo plazo (MLP): Se guarda la información de manera concreta y también los sistemas para buscar la información guardada. Los conceptos y hechos almacenados es el llamado conocimiento conceptual o declarativo. Las reglas para manipular dichos conceptos forman el conocimiento procesal.

La información en la MLP está organizada de manera que existe relación entre los conocimientos y se define un esquema de construcción mental de datos organizados y que permite a los sujetos comprender el mundo que les rodea.

Un concepto es comprendido si se encuentra dentro de una red semántica o bien si pertenece a un esquema. El modelo de aprendizaje por generación de esquemas (Rumelhart y Norman, 1981), se basa en la compilación de la información. Según estos investigadores, existen tres tipos de aprendizaje cualitativamente separados: a) crecimiento; b) reestructuración; c) ajuste. Mediante el crecimiento se acumula nueva información a las estructuras ya existentes, siguiendo las leyes asociativas. Por tanto, la nueva información no modifica la estructura de los conocimientos ya existentes. Si la información no puede ser interpretada con los esquemas presentes, es necesario modificar dichos esquemas o generar unos nuevos que puedan asimilar la información. En el primer caso se daría un ajuste de la estructura y contenido del esquema existente, mientras que en el segundo se crearía un nuevo esquema, reestructurándose los antiguos contenidos para adecuarse a los nuevos.

Todo el proceso de almacenamiento y procesamiento de la información es comparado con un ordenador, punto que es criticado, básicamente por la que hace referencia a las capacidades animadas de que carece la máquina y que son básicas en todo el modelo. También se critica que las diferentes tendencias de la psicología de la información no constituyen un terreno de información compacto, sino que está formado por micromodelos de poco alcance (Aliberas, 1989).

g) Las aportaciones de Vygotsky

Este psicólogo ruso desarrolló su teoría en el primer tercio del siglo XX pero ha sido a finales cuando se ha comenzado a prestar atención a su trabajo. Se considera que tiene una gran vigencia y actualidad, siendo quizás la primera teoría psicológica que concede un valor prioritario al papel de la educación en relación con el aprendizaje y el desarrollo de los seres humanos (Alvarez y del Río, 1984).

La postura psicológica de Vygotsky es que el aprendizaje no tiene un carácter acumulativo, ni está predeterminado por estructuras orgánicas debidas a madurez biológica, sino que es un proceso de carácter social.

Define la "zona de desarrollo próximo", que es la distancia entre el nivel real de desarrollo para resolver un problema y el nivel de desarrollo potencial, que se determina a través de la resolución de un problema con la ayuda de una persona adulta (Vila, 1996).

Considera que el aprendizaje tiene una naturaleza social y se realiza en situaciones culturales y socialmente organizadas, siendo la escuela uno de esos centros sociales, aunque no la única.

Vygotsky distingue entre conceptos espontáneos, que son familiares a los niños y conceptos científicos. Éstos están basados en los primeros y se adquieren mediante la toma de conciencia de su relación con otros conceptos, es decir, por referencia a su significado más que por su referencia a objetos (como sucede con los espontáneos), lo que se consigue a través de la instrucción. Sólo podrá adquirir significado y sentido un concepto científico por

procesos de reestructuración del sistema conceptual. Posteriormente, los conceptos científicos adquiridos mediante la instrucción son la vía a través de la cual se introduce en la mente la conciencia reflexiva, que más tarde se transfiere a los conceptos espontáneos (Pozo, 1989).

De entre las principales aportaciones de Vygotsky a la educación y a la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, destacan el valor que da a la instrucción en relación con el desarrollo, la importancia que concede a las relaciones entre pensamiento y lenguaje y a las influencias sociales, tanto para el aprendizaje como para el desarrollo, su concepto de zona de desarrollo próximo y la distinción que hace entre conceptos espontáneos y científicos, así como el modo de explicar su formación.

Según Alvarez y del Río (1984) la propuesta psicológica de Vygotsky es la que se toma más en serio la educación y su relación con el desarrollo. Según este autor, el aprendizaje escolar orienta y estimula los procesos internos de desarrollo mediante la actividad instrumental (básicamente a través del lenguaje) y la integración social (interpelación profesor-alumno y alumno-alumno).

Probablemente, debido a su prematura muerte algunos aspectos que son criticados, no fueron suficientemente explicitados. Por ejemplo no explica bien las relaciones entre aprendizaje y desarrollo ni los procesos de reestructuración. También se critica la dificultad en medir la zona de desarrollo próximo (Pozo, 1989).

1.3. MODELOS DIDÁCTICOS PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Queremos estudiar en este apartado los principales modelos de enseñanza de las ciencias, describiendo sus características y apuntando los posibles aspectos positivos o negativos que puedan presentar.

1.3.1. Enseñanza por transmisión

Esta estrategia de enseñanza de las ciencias se basa en la transmisión por parte del profesor de conocimientos ya elaborados y ordenados de acuerdo con la lógica científica, de manera que se produce un repaso verbal de los contenidos de manera repetitiva, siendo el papel del alumno el de un mero receptor de la información.

Si bien suscita un rechazo generalizado, al no considerar la naturaleza reorganizativa del aprendizaje cognitivo ni el carácter constructivo del aprendizaje, puede considerarse actualmente como el modelo tradicional de la enseñanza. Una posible causa sea el peso de la tradición ya que incluso es el método habitual de enseñanza de profesores que manifiestan no estar satisfechos del resultado de su aplicación (Jiménez Aleixandre, 2000a). Es

especialmente presente en la Educación Secundaria, tal vez por la formación que recibieron los profesores de esta etapa escolar, en su mayoría licenciados en Ciencias, pero con poca o nula fundamentación psicológica y didáctica (Pozo y Gómez Crespo, 1998)

Esta estrategia tiene una marcada concepción asociacionista en la que el aprendizaje es el producto de una práctica repetitiva reforzada por el éxito y sin tener en cuenta el alumno. Se sustenta, por tanto, en la autoridad del profesor como poseedor de los conocimientos que de forma repetitiva los va difundiendo al alumnado y utilizando el libro de texto como pie de apoyo en la práctica docente. En este sentido, los trabajos prácticos buscan confirmar y complementar la explicación del profesor. La evaluación se centra en listas de conceptos y la importancia de la memorización es enorme.

Se critica que provoque una visión de la ciencia basada en un proceso de acumulación, olvidando que en realidad requiere un proceso de construcción. Por otra parte, este modelo de enseñanza conseguirá un aprendizaje más memorístico que significativo (Gil, 1993b). Finalmente, se puede decir que se encuentran enfrentados los intereses de profesorado y alumnado además de estar alejado de las demandas de la sociedad, que pretende que los alumnos sean capaces de afrontar por sí mismos y de manera más autónoma los nuevos problemas, tales como los relacionados con el medio ambiente, con la salud o el consumo.

1.3.2. Enseñanza por descubrimiento

También se conoce con el término de enseñanza activa y pretende dar un mayor protagonismo al alumno, quien ha de dejar de ser un receptor pasivo de conocimientos para convertirse en un agente activo de los mismos. El término de enseñanza activa se refiere a que el alumno ha de tener un papel activo en el aprendizaje desde el punto de vista psicológico. Por tanto, no se refiere al hecho de promover actividades físico-manipulativas, aunque debido al error que en un principio puede suponer la utilización del término "activo", se denomina enseñanza por descubrimiento.

Surgió a partir de los años 60 y 70 del siglo XX a raíz del fracaso de la enseñanza por transmisión. Se basa en que los alumnos se pongan en la piel de los científicos, basando la enseñanza en experiencias que permitan a los alumnos investigar y reconstruir los principales descubrimientos científicos (Pozo y Gómez Crespo, 1998). Se proponen actividades experimentales organizadas en torno a la resolución de problemas, en los que se aplican determinadas destrezas científicas como la observación, se llevan a cabo diseños experimentales para comprobar las hipótesis del alumnado y se planifican investigaciones. Para Joyce y Weil (1985), la enseñanza por descubrimiento consta de cinco fases:

- 1) Confrontación del alumno con una situación problemática y generalmente sorprendente.

- 2) Verificación de los datos recogidos con respecto a esa situación.
- 3) Experimentación en torno a dichos datos.
- 4) Organización de la información recogida y explicación de la misma.
- 5) Reflexión sobre la estrategia de investigación seguida.

Por tanto, la enseñanza por el descubrimiento se centra en los procedimientos de la ciencia y no en sus productos, ya que se considera más útil dominar el proceso de investigación y experimentación científica y dar un papel secundario a los contenidos de las ciencias. Por esta razón, Pozo y Gómez Crespo (1998) afirman que la enseñanza por descubrimiento toma como referencia perspectivas epistemológicas inductivistas y empiristas, según las cuales, lo que identifica al conocimiento científico es el método por el que se accede a él.

A diferencia de la enseñanza por transmisión, este modelo se centra en el alumno, aunque eso no implica que el papel del profesor sea secundario, ya que éste ha de seleccionar los temas, las situaciones problemáticas, proporcionar materiales, coordinar el trabajo y asegurarse que los resultados conducen a conclusiones más o menos relacionadas con los objetivos. Como indica Jiménez Aleixandre (2000a), esto exige al profesor una preparación científica, psicológica y pedagógica mucho mayor que la necesaria para la enseñanza por transmisión.

Se le critica el paralelismo que establece entre el desarrollo de los procesos de la ciencia y el funcionamiento cognitivo, pues en el aprendizaje intervienen otros factores (Millar y Driver, 1987). También se critica el excesivo énfasis que se da a los procesos de la ciencia, ya que este aprendizaje no es independiente del aprendizaje de conceptos.

1.3.3. Enseñanza constructivista

Frente al modelo de transmisión de información por parte del profesor y del modelo de aprendizaje como proceso de descubrimiento del alumno, el modelo de enseñanza constructivista da la misma importancia a los dos agentes implicados en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Este modelo considera que el aprendizaje se fundamenta a partir de las concepciones que los estudiantes tienen sobre el mundo y que la enseñanza ha de propiciar que esas ideas evolucionen o cambien mediante un proceso de construcción que las transforme en más acordes al conocimiento científicamente correcto. (Giordan, 1985; Driver, 1986; Driver et al., 1989; Osborne y Freyberg, 1991).

Los fundamentos psicológicos de este modelo se basan en los principios de Piaget referentes a la actividad constructiva de la mente y a los postulados de Ausubel referente a la atención que se debe prestar a lo que el alumno ya sabe y al concepto de aprendizaje significativo. Los fundamentos epistemológicos se

basan en la perspectiva de Kuhn de la ciencia como proceso de interpretación de la realidad mediante la construcción de modelos que puedan ser sustituidos por otros (Jiménez Aleixandre, 2000a).

El modelo de enseñanza constructivista tiene como uno de sus principios el paralelismo entre la construcción del conocimiento científico nuevo y la reconstrucción de conocimientos del alumnado, ya que en ambas circunstancias se deben a elementos subjetivos para construir la realidad. Otro de los principios constructivistas es que los conocimientos se reconstruyen a partir de las concepciones propias del alumno y por tanto no se trata de la reproducción del contenido a aprender, sino de la construcción de nuevos conocimientos. Queda claro, por tanto, que las ideas del alumnado son el punto de partida de la instrucción, utilizándolas como base para desarrollar ideas más cercanas al conocimiento científico aceptado o bien para confrontarlas con éstas y sustituirlas. Los currícula basados en este modelo de enseñanza se configuran a partir de una serie de actividades que permitan al alumno construir sus propios significados (Jiménez Aleixandre, 2000a).

a) Las concepciones de los alumnos

El modelo de enseñanza constructivista tiene como base las ideas alternativas del alumnado, por lo que nos ha parecido conveniente dedicar una apartado del presente trabajo a este tema.

El primer aspecto que habría que destacar es el nombre que diferentes autores dan a las concepciones de los alumnos, hasta el punto que Abimbola (1988) ha llegado a contabilizar hasta 28 términos. Entre los más frecuentes en la bibliografía podemos destacar:

- a) Preconceptos (Novak, 1977)
- b) Esquemas alternativos (Driver y Easley, 1978)
- c) Representaciones (Giordan, 1989)
- d) Razonamiento espontáneo (Viennot, 1979)
- e) Concepciones erróneas (Helm, 1980)
- f) Ideas ingenuas (Camarazza et al., 1981)
- g) Esquemas previos (Champagne et al., 1983)
- h) Ciencia de los niños (Osborne y Wittrock, 1983)
- i) Concepciones alternativas (Gilbert y Watts, 1983)
- j) Preteorías (Segura, 1991)
- k) Errores conceptuales (Brumby, 1979, Driver y Easley, 1978)

l) Ideas previas (Posner et al., 1982)

Puede considerarse que la terminología utilizada por un autor se relaciona con su posición filosófica. En este sentido, los investigadores con una visión empirista de la ciencia, poseen una visión negativa de las concepciones de los estudiantes, ya que algunos consideran las concepciones erróneas por contraposición a la veracidad del conocimiento científico y otros que su origen se encuentra en el conocimiento la vida cotidiana, supersticiones y creencias populares (Abimbola 1988). Por otra parte, los partidarios de la nueva filosofía de la ciencia que consideran necesario conocer las concepciones para alcanzar el cambio conceptual, dan gran importancia a las ideas de los alumnos con relación al proceso de aprendizaje, denominándola errores conceptuales, ideas erróneas, esquemas o marcos conceptuales y concepciones alternativas.

Si bien en algunos trabajos las concepciones aparecen como sinónimos de errores conceptuales, no siempre es así y es conveniente separar este término del resto y utilizarlo con prudencia, ya que los errores conceptuales son consecuencia en muchos casos de las representaciones que tienen los alumnos, pero no siempre es así (Furió, 1986).

b) Características de las concepciones del alumnado

Los diferentes trabajos de didáctica de las ciencias en los que se abordan las concepciones de los alumnos coinciden en destacar una serie de características que hacen que sean difíciles de cambiar (Driver, 1986; Driver y Erickson, 1983; Driver et al., 1989; Osborne y Wittrock, 1983):

- 1) *Están dotadas de cierta coherencia interna.* Permiten a los alumnos explicar cualquier hecho o concepto nuevo que se les proponga, por tanto no son irracionales ni fortuitas, ya que constituyen verdaderos esquemas conceptuales activos. Aunque no siempre son conscientes de que poseen dichos esquemas, los utilizan con un grado de consistencia y estabilidad variable aunque significativo (Oliva, 1999).
- 2) *Han sido elaboradas por el propio alumno.* A través de la interacción cotidiana con el mundo que le rodea, el alumno las ha ido creando de forma personal y espontáneamente, por tanto antes de la instrucción.
- 3) *Son muy resistentes al cambio.* Pueden llegar a persistir después de la instrucción, por tanto, la enseñanza no se muestra siempre útil para desplazar o sustituir las concepciones. Dado que las concepciones forman verdaderos esquemas conceptuales, la introducción de algún elemento aislado no es suficiente para modificar toda su "teoría" preconcebida, ya que no aprecian ningún elemento de conflicto y continúa siendo válida para interpretar el mundo. Gilbert et al. (1982) consideran que cuando el objeto de estudio está vinculado a experiencias muy tempranas del alumno, la resistencia al cambio es mayor. El alumno se siente cómodo y seguro explicando los fenómenos a partir de sus experiencias acumuladas que

desde concepciones expuestas a clase, lo que le hace resistente a abandonar sus concepciones.

- 4) *Son incoherentes.* No se ajustan al conocimiento científico aceptado como correcto, pero pueden ser perfectamente válidas para el alumno. El alumno generalmente no percibe las incongruencias que aparecen en las explicaciones que él mismo da a un fenómeno y las que el profesor propone. Si una explicación les resulta válida para una serie de fenómenos y no para otros, aunque estén relacionados, buscarán una segunda explicación para éstos últimos sin percibir posibles inconsistencias en los planteamientos de ambas explicaciones. Por tanto, seleccionan la información y desestiman la que consideran poco relevante.
- 5) *Interfieren en el aprendizaje de las ciencias.* La práctica docente diaria pone de manifiesto la dificultad que supone para el profesor exponer contenidos científicos que entran en contradicción con las concepciones de los alumnos. Con frecuencia el profesor de ciencias ha de luchar contra ideas arraigadas y que el propio alumno se resiste a admitir. Los errores conceptuales sobre los procesos de respiración y fotosíntesis son tan potentes, no sólo en los estudiantes, sino en la población en general que admiten como hecho inamovible que las plantas “nos quiten” el oxígeno de noche y haya que sacarlas de las habitaciones (Cañal, 1991).
- 6) *Son universales.* Se detectan similares concepciones en diferentes tipologías de alumno, desde el punto de vista geográfico, nivel de formación o edad. Los resultados en la detección de concepciones alternativas en un país determinado son extrapolables a cualquier otro (Gené, 1991; Segura, 1991). Las ideas alternativas afectan también a licenciados e incluso a profesores en activo (Sebastiá, 1984, Carrascosa y Gil, 1985). Asimismo, alumnos con buen nivel académico y buenos resultados en los procesos de evaluación también manifiestan errores conceptuales (Herrezuelo y Montero, 1988)
- 7) *El número de concepciones sobre un hecho es limitado.* El número de concepciones que se detectan en el alumnado es limitado existiendo una serie de patrones comunes, con alguna variación. (Radford y Bird-Stewart, 1982).
- 8) *Existe un cierto paralelismo entre las concepciones de los alumnos y las mantenidas a lo largo de la historia de la ciencia.* Muchas concepciones que presentan los alumnos son una repetición de ideas sobre la ciencia históricamente superadas (Clement, 1983). Uno de los ejemplos más claros que encontramos es la creencia entre el alumnado de que una bola de plomo cae antes al suelo que una hoja de papel, si la dejamos caer desde una altura, debido a la diferencia de masa entre ambos objetos. Esta posición científica es anterior a Galileo y aún pervive como concepción alternativa. Por esta razón, se sugiere que el conocimiento de la Historia de la Ciencia puede aportar luz sobre cómo interpretan los alumnos determinados fenómenos naturales (Satiel y Viennot, 1985).

c) Origen de las concepciones del alumnado

Aún se debe investigar mucho más para conocer verdaderamente cuál es el origen de las concepciones alternativas del alumnado, pero atendiendo a la situación actual podemos considerar los siguientes orígenes de las ideas previas (Driver et al. 1985; Giordan y De Vecchi, 1988; Pozo et al., 1991):

1) Concepciones espontáneas

El alumno construye sus propias ideas intentando dar significado a las actividades cotidianas. En lugar de ser rigurosos a la hora de razonar y de dar explicaciones a los hechos, las personas usamos reglas aproximativas que nos llevan a conclusiones erróneas. Esto es lo que Carrascosa y Gil (1985) han llamado "metodología de la superficialidad".

Sin embargo, la Ciencia sí que ha sido capaz de dotarse de instrumentos que le permiten llegar a formular teorías correctas y con capacidad de predicción. Por otra parte, los científicos dan nombre a conceptos o fenómenos no visibles por la población y llegan a adquirir un estatus abstracto, difícilmente asimilable o comprensible por los alumnos, mucho más cercanos a los aspectos concretos. Por tanto, la realidad inmediata enmascara parte del fenómeno natural, que únicamente puede ser comprendido en su totalidad por un proceso de abstracción hipotético-deductivo (Puigcerver y Sanz, 1997)

2) Concepciones inducidas

Otro posible origen de las ideas previas se encontraría en el entorno social, que haría que el alumno posea unos esquemas al margen de los científicamente correctos. Ya Vygotsky (1988) observó la relación existente entre el conocimiento cotidiano de los estudiantes y el conocimiento formal. Afirmaba que en el desarrollo de los niños se producen interacciones informales tanto con las personas como con el mundo natural y que pueden influir a la hora de crear, a través del lenguaje, unas determinadas ideas en el alumnado.

Podemos considerar varios factores que pueden inducir al alumnado a la formación de concepciones alternativas:

- a) *El lenguaje.* Los científicos utilizan un lenguaje técnico donde las palabras que usan tienen un sentido concreto, mientras que los alumnos usan algunos de esos términos en un contexto cotidiano, lo que produce confusión y ambigüedad.
- b) *La cultura.* La influencia de las creencias populares que se transmiten a través del entorno social y familiar próximo al alumno. (Moreno, 2001)
- c) *La enseñanza.* Los libros de texto pueden ser también una fuente de errores conceptuales o bien refuerzan las preconcepciones del alumnado. (Cho et al., 1985). Aún es más grave que universitarios o profesores de educación secundaria en activo tengan los mismos errores que los alumnos (Sebastiá, 1984; García Baquero et al., 1985)

3) Concepciones analógicas

Cuando el alumno carece de ideas específicas para comprender un nuevo fenómeno, llevan a cabo una analogía para que les ayude a dotar de significado el fenómeno. Un ejemplo clásico (Albaladejo et al., 1993) sería el de la idea de que el verano se corresponde a una mayor proximidad al Sol.

d) Tratamiento e importancia didáctica de las concepciones del alumnado

La Didáctica de las Ciencias Experimentales ha puesto de manifiesto que los alumnos no llegan al aula como una hoja en blanco sin ningún tipo de concepción sobre el mundo que les rodea, sino que poseen una serie de esquemas conceptuales que en muchos casos son distintos de los que se consideran científicamente correctos.

En los últimos años hay un gran número de publicaciones referentes a las distintas concepciones detectadas en las aulas. Pfundt y Duit (1994) inventariaron más de tres mil trabajos sobre las ideas científicas de los alumnos publicados en revistas anglosajonas. La cifra crecería si se hace extensivo a otras lenguas y otras revista y se llegase a actualizar hasta el año en curso. En nuestro país Martínez Terrades (1998, citado por Gil et al., 2000), ha hecho un estudio similar a partir del análisis de 1000 artículos y 25000 referencias bibliográficas.

Pero la línea de investigación de detección de ideas previas no se basa únicamente en la elaboración de un catálogo sino en la propuesta de estrategias didácticas para ayudar al profesor a trabajar a partir de ellas y promover el cambio conceptual, tal y como veremos en el apartado siguiente.

A partir del conocimiento de estas concepciones del alumnado, Giordan (1989) considera que cabe adoptar tres posturas:

- 1) *Ignorarlas*. Puede ser debido a que se desconozca su existencia o bien que sean considerados “artefactos” de la situación.
- 2) *Evitarlas*. Si nos decantamos por esta opción y nos limitamos a introducir el nuevo concepto científico, sin intentar erradicar dichas concepciones, se corre el riesgo que éstas queden completamente fijadas.
- 3) *Conocerlas*. Las razones para conocerlas según Giordan son:
 - a) Dan mucha información sobre el alumno.
 - b) Permiten precisar los objetivos.
 - c) Permiten preparar el curso.
 - d) Permiten el ajustamiento continuo del curso.

e) Son un material objeto de tratamiento didáctico.

Existe un amplio consenso en el mundo de la Didáctica de las Ciencias Experimentales en considerar más útil conocer las ideas que tienen los alumnos al llegar al aula que ignorarlas o evitarlas. Ahora bien, tampoco cambian de forma espontánea por recibir información científica por parte del profesor, ya que las actuales tendencias en didáctica (Posner et al., 1982; Posada, 2000; Rodrigo y Cubero, 2000) conciben una visión del aprendizaje en la que el alumno necesita referir las ideas nuevas que recibe con las suyas propias para transformar o cambiar los marcos conceptuales.

1.3.3.1. Modelos de enseñanza constructivista

Los modelos de enseñanza basados en el constructivismo tienen en cuenta como punto de partida las concepciones del alumnado. En este apartado veremos las ideas fundamentales de los cuatro modelos más aceptados: modelo de cambio conceptual, modelos de enseñanza como investigación, modelo de autorregulación de los aprendizajes y el modelo de los ciclos de aprendizaje.

a) El modelo del cambio conceptual

Este modelo también es denominado PSHG, que responde a las iniciales de los autores: Posner, Strike, Hewson y Gertzog (1982) y que se encuentra bajo la influencia de las corrientes constructivistas de la nueva Filosofía de la Ciencia, especialmente los postulados de Toulmin y Kuhn. Los autores relacionaban su propuesta con la asimilación y acomodación de Piaget y los cambios de paradigma de Kuhn, además de tener presente la persistencia de las ideas alternativas del alumnado. El punto de partida es la consideración del aprendizaje como consecuencia de la interacción entre los conceptos actuales del estudiante y los sucesos e informaciones que va experimentando. Aprender no es simplemente adquirir nuevos conocimientos directamente de la experiencia, ni añadir nuevos conceptos a los ya existentes, sino una reorganización mental con la posible incorporación de nuevos elementos.

Se considera que aprender es reordenar mentalmente los antiguos conceptos y los nuevos. Cada concepto busca su "nicho ecológico" y lucha contra el concepto al que se enfrenta y que ya está establecido, es lo que se llama ecología conceptual. Este proceso es individual y no tiene por qué tener una lógica, es decir, cada persona lo hace de una manera diferente, pero todas igualmente válidas. Los conceptos que tiene el alumno resultan de una evolución conceptual y no son por tanto arbitrarios aunque puedan ser erróneos.

Consideran que para que un concepto erróneo sea substituido por otro correcto ha de producirse un cambio conceptual, que requiere las siguientes condiciones:

1. *Insatisfacción* con las concepciones ya existentes. Si se logra esta situación de insatisfacción los alumnos estarán necesitados de nuevas concepciones y se mostrarán receptivos a recibirlas.
2. Ha de haber una alternativa *comprensible*. Si la nueva idea no es comprendida con facilidad por los alumnos puede impedirse que se apropien de ella.
3. Esta alternativa ha de ser *plausible*, ha de encajar con los otros conceptos que tiene el alumno y que no están en crisis y por tanto, debe ser verosímil también con la experiencia diaria del alumno.
4. Ha de ser *fructífera*, es decir, ha de dar mayores y mejores soluciones a problemas que antes no podían ser resueltos y a la larga ha de dar mejores resultados que sus competidoras.

Sin embargo, si una nueva idea no cumple alguno de los cuatro requisitos referidos, el alumno se limita a memorizarla, pero no será capaz de formar parte de sus esquemas conceptuales.

Como consecuencia didáctica, el profesor ha de vigilar el proceso de asimilación y acomodación de los conceptos y crear conflictos, lo que necesariamente ha de pasar por el conocimiento de la ecología conceptual del alumno. Por tanto, ha de plantearse el conflicto entre antiguas y nuevas ideas y resolverlo de manera adecuada, buscando producir insatisfacción de las ideas alternativas del alumnado.

Otras consecuencias didácticas que se derivan del modelo del cambio conceptual son: el profesor ha de ayudar a concienciar al alumno de su propio pensamiento; puede utilizar las dificultades manifestadas a lo largo de la historia de la ciencia; utilizar modelos y metáforas para hacer más inteligible y plausible el nuevo concepto y usar técnicas de evaluación que puedan seguir el proceso de cambio conceptual del alumno (Aliberas, 1989).

Driver (1986) propone cuatro pasos necesarios para provocar el cambio conceptual:

- 1) Identificación y clarificación de las ideas que ya poseen los alumnos.
- 2) Puesta en cuestión de las ideas de los estudiantes a través del uso de contraejemplos.
- 3) Introducción de conceptos.
- 4) Proporcionar oportunidades a los estudiantes para usar las nuevas ideas.

Por su parte Pozo (1987) propone siete fases para promover el cambio conceptual:

- 1) Presentación del tema y los objetivos de la unidad.

- 2) Consolidación y toma de conciencia por parte de los alumnos de sus teorías iniciales con respecto al tema.
- 3) Consolidación y toma de conciencia de conflictos entre esas teorías iniciales y algunos datos observables.
- 4) Presentación de una nueva teoría con exceso de contenido empírico con respecto a la anterior.
- 5) Comparación entre la vieja y la nueva teoría.
- 6) Aplicación de la nueva teoría a problemas ya resueltos por la vieja teoría.
- 7) Aplicación de la nueva teoría a problemas no resueltos por la vieja teoría.

A pesar de que es el modelo en el que se basan las actuales propuestas didácticas basadas en el constructivismo (ver, por ejemplo, Núñez, 1994; Ayuso 2000; Banet y Ayuso, 2000), ha recibido algunas críticas. Entre ellas destaca la opinión de quienes creen que se da excesiva importancia a la comprensión de contenidos conceptuales, marginando los procedimentales y actitudinales (Gil, 1993b). También se critica que no sea capaz de compatibilizar el conocimiento científico con el conocimiento cotidiano que caracteriza las concepciones alternativas de los alumnos (Pozo y Gómez Crespo, 1998). Otro aspecto que levanta críticas es que se considera que el modelo de cambio conceptual es excesivamente reduccionista, por limitarse a un proceso individual, sin contemplar la intervención de otros procesos como la motivación, aspectos afectivos o incluso sociales (Pintrich et al., 1993). Desde el punto de vista de su aplicación en la enseñanza hay autores que aprecian cierta vaguedad en su propuesta y la diversidad de opciones metodológicas (Rodrigo y Cubero, 2000).

En definitiva, una concepción constructivista de la enseñanza basada en el modelo de cambio conceptual no puede limitarse a conocer las concepciones de los alumnos, sino que implica una nueva manera de entender el currículum y la actividad docente del profesorado.

b) Modelos de enseñanza como investigación

Estas propuestas son otra perspectiva constructivista del aprendizaje que surgieron como alternativa al reduccionismo que pudo suponer el modelo de cambio conceptual. A grandes rasgos se caracterizan por tener en cuenta el cambio metodológico y actitudinal, recuperar la metodología científica y la investigación como estrategias esenciales para la enseñanza de las ciencias y la extensión del carácter colectivo del trabajo científico a la enseñanza y aprendizaje de las ciencias (Núñez, 2002).

Dentro de este modelo tenemos la enseñanza como investigación dirigida propuesta por el equipo de Daniel Gil (Gil et al. 1991) y la enseñanza basada en la investigación escolar de Cañal y Porlán (1987, 1988).

1) Enseñanza como investigación dirigida

Gil considera que uno de los mayores problemas del aprendizaje de las ciencias es la gran distancia que existe entre la forma de enseñar y aprender ciencias en el aula y la forma en la que se construye el conocimiento científico (Gil, 1994). En consecuencia, es útil partir de la metáfora del científico novel que considera que cuando un científico joven se integra en un equipo de investigadores más veteranos, se encuentra bajo la supervisión de éstos. Se considera que el aprendizaje de las ciencias puede realizarse también como una investigación dirigida de situaciones problemáticas de interés (Gil, 1993a).

Para orientar el aprendizaje como proceso de investigación dirigida, Gil y sus colaboradores proponen una serie de estrategias que se detallan a continuación: (Gil, 1993; Gil, 1994; Gil et al. 1991):

- a) Se plantean situaciones problemáticas que generen interés en los alumnos y proporcionen una concepción preliminar de la tarea.
- b) Los alumnos, trabajando en grupo, estudian cualitativamente las situaciones problemáticas planteadas y, con las ayudas bibliográficas apropiadas, empiezan a delimitar el problema y a explicitar ideas.
- c) Los problemas se tratan siguiendo una orientación científica, con emisión de hipótesis y explicitación de las ideas alternativas, elaboración de estrategias posibles de resolución y análisis y comparación con los resultados obtenidos por otros grupos. Es ésta una ocasión para el conflicto cognitivo entre concepciones diferentes, lo cual lleva a replantear el problema y a emitir nuevas hipótesis.
- d) Los nuevos conocimientos se manejan y aplican a nuevas situaciones para profundizar en los mismos y afianzarlos. Este es el momento más indicado para hacer explícitas las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad.

Las estrategias propias del aprendizaje como investigación deber ir acompañadas por actividades de síntesis que den lugar a la elaboración de productos como esquemas, memorias, mapas conceptuales, etc. Este planteamiento se propone como alternativa a los problemas y ejercicios tradicionales.

Al igual que sucede con otros enfoques, el aprendizaje como investigación no está exento de problemas (Campanario y Moya, 1999). En su aplicación práctica existen algunas dificultades que es preciso tener en cuenta, siendo una de las limitaciones la que tiene que ver con la capacidad investigadora de los estudiantes. Debido a estas limitaciones, las situaciones que se plantean en este tipo de investigación suelen ser simplificadas y exigen al profesor anticipar muchas de las dificultades conceptuales y de procedimiento que surgirán durante las clases. Otro aspecto susceptible de crítica es la gran inversión de

tiempo necesario que requiere este modelo, lo cual obliga en ocasiones a sacrificar parte de los contenidos (Gil, 1987).

2) Enseñanza como investigación escolar

Esta propuesta se basa en el tratamiento de problemas y se apoya tanto en el conocimiento cotidiano como en el científico. No se persigue tanto la comprensión de hechos y fenómenos científicos sino más bien procurar que el alumnado adquiera un conocimiento escolar a partir de la resolución de situaciones problemáticas (Cañal y Porlan, 1987).

El modelo de enseñanza como investigación escolar se basa en potenciar el progreso en la autonomía y la libertad personal, el acercamiento entre teoría y práctica y entre trabajo intelectual y manual. También hace énfasis en el desarrollo de actitudes y capacidades que permitan conocer el medio próximo, fomentando el contacto directo con la realidad (Cañal, 1997).

Tal y como dicen Cañal y Porlan (1987) la investigación del alumno en la escuela se entiende como “un intercambio de información entre el profesor, los alumnos, el medio socio-natural y los recursos didácticos de todo tipo, que persigue, en un proceso con diferentes fases y momentos, la construcción metodológica, actitudinal y conceptual de los alumnos y que exige, del profesor, una modificación de sus tareas profesionales”

Los principios didácticos en los que se basa esta propuesta son (Cañal y Porlan, 1987; Cañal y Porlan, 1988)

- 1) Autonomía y creatividad del alumno.
- 2) Comunicación en el aula de todas las formas posibles, explicitando todos los mensajes que se generen durante la investigación.
- 3) Libertad y cooperación para expresar las ideas, confrontarlas entre sí y comprobarlas colectivamente.
- 4) Enfoque ambiental, ya que la investigación promueve el conocimiento global del medio.
- 5) Interdisciplinariedad.
- 6) Juego y trabajo están íntimamente ligados al no eximir a la investigación de una componente lúdica aunque vaya ligada a dificultades y esfuerzos.

Por tanto, el enfoque de la enseñanza basada en la investigación escolar requiere un enfoque curricular diferente, dada la necesaria interdisciplinariedad del modelo, así como una predisposición abierta del profesorado.

c) Modelo de los ciclos de aprendizaje de Lawson

Dentro de la perspectiva piagetiana, Lawson (1979, 1994) propone un modelo de enseñanza que denomina "ciclos de aprendizaje". Aliberas (1989) describe las fases de un ciclo de aprendizaje:

- 1) *Exploración*. Durante esta fase se propone a los alumnos la investigación de algún fenómeno o situación con unas orientaciones mínimas iniciales. En pequeño grupo se estudian, se aportan puntos de vista y se verbalizan. Al verbalizar, se pretende que el alumno sea consciente de las opiniones. Los hechos que el alumno estudia deben ser susceptibles de manipulación directa y que permitan aislar variables. Normalmente este proceso conduce a desequilibrios, ya que se han escogidos situaciones que producen contradicción. Los fenómenos nuevos planteados suelen plantear cuestiones y complejidades que no pueden resolver con sus concepciones o patrones de razonamiento habituales.
- 2) *Invencción o introducción de vocablos*. Se introduce un concepto relacionado con las actividades de exploración y que permita superar las contradicciones surgidas durante el planteamiento de la cuestión. La introducción del concepto suele hacerla el profesor y suele ser efectiva si los alumnos han tenido experiencias previas relacionadas con el concepto introducido, ya que de lo contrario carecerá de significado. Esta fase es la que ha de ocupar menos tiempo en todo el ciclo de aprendizaje, en contradicción con el modelo de enseñanza tradicional basado en la transmisión de conceptos.
- 3) *Descubrimiento o aplicación de conceptos*. En esta fase se aplica el nuevo concepto a diferentes situaciones. Se discuten en grupo posibles aplicaciones cotidianas, se inventan problemas relacionados, se buscan nuevos casos y se compara la interpretación dada con otras alternativas.

Lawson (1994) , describe tres tipos de ciclos de aprendizaje:

- 1) *Ciclo descriptivo*: Los alumnos descubren y describen un patrón empírico dentro de un contexto específico (fase de exploración), el profesor le pone nombre (introducción de vocablos) y después se identifica el patrón en nuevos contextos (fase de aplicación de conceptos). Se responde a la pregunta ¿Qué?, pero no a la pregunta ¿Por qué?
- 2) *Ciclo empírico-abductivo*: Parten de la misma fase de exploración, pero han de usar razonamiento analógico (abducción) para aplicar conceptos de otros contextos al nuevo contexto, tanto por parte del profesor como del alumno (fase de introducción de vocablos). Finalmente deben comprobar si los datos recogidos en la fase de exploración son consistentes con los datos con otros fenómenos conocidos (fase de aplicación de conceptos).
- 3) *Ciclo hipotético-deductivo*: A partir de una pregunta se pide a los alumnos que generen explicaciones alternativas. El alumnado diseña experiencias para comprobar su explicación (exploración). El resultado de las

experiencias implicará rechazar algunas hipótesis, aceptar otras y permitirá introducir conceptos (introducción de vocablos). Los conceptos y patrones válidos podrán ser utilizados en nuevas situaciones (aplicación de conceptos).

Este planteamiento aprovecha elementos de otros modelos y propone elementos que superan las deficiencias detectadas en ellos. Autores como Pintó (1983) o Abraham y Renner (1986) ofrecen buenos resultados de los ciclos de aprendizaje y son firmes defensores.

d) Modelo de autorregulación de los aprendizajes

Según Sanmartí e Izquierdo (1997), los centros escolares tienen como objetivo enseñar a pensar según modelos científicos y, por tanto, los alumnos han de reconocer sus propios modelos teóricos con los que llegan al aula, según las perspectivas constructivistas. El papel del profesor consiste en que el alumnado pueda observar similitudes y diferencias entre ambos modelos. Para que esto suceda debe haber un proceso de autorregulación y corrección del estudiante y un proceso de regulación por parte del profesorado, introduciendo nuevas experiencias, analogías, nuevos términos, diferentes formas de ver, valorar y explicar fenómenos.

Según esta perspectiva, los conocimientos sólo pueden ser adquiridos por el alumnado a través de su propia actividad, que los relaciona con los objetos del mundo material a partir de interacciones con los adultos y con los propios compañeros (Jorba y Sanmartí, 1994). El papel del profesorado es el de diseñar situaciones que favorezcan las relaciones sociales descritas y también el de participante activo en este proceso de construcción. El docente debe diseñar actividades de enseñanza adecuadas a cada objeto de estudio que motiven a los alumnos en su aprendizaje, proporcionen la información necesaria, promuevan mecanismos de control y la regulación del proceso, así como crear un ambiente en el aula que permita expresar las ideas oralmente, con intercambio de opiniones y contraste de diferentes puntos de vista (Jorba y Sanmartí, 1994)

Para que el alumno aprenda realmente y pueda diferenciar su modelo teórico preconcebido del científico, es necesario que reconozca las diferencias entre la estrategia utilizada por él para la resolución de un problema o la interpretación de un fenómeno y la utilizada por otros compañeros y la que facilita el docente. Tal y como afirman Sanmartí y Jorba (1995), "el estudiante razona con más lógica cuando discute con otro". El concepto de auto y coevaluación son elementos importantes en este modelo de aprendizaje, que debe aplicarse en un contexto de aula con trabajo cooperativo.

Aprender es considerado como un proceso de autorregulación, donde cada individuo construye su propio sistema personal de aprender y lo va mejorando progresivamente. Por tanto, se hace necesario aprender a aprender, es decir, desarrollar un sistema de aprendizaje que permita a los alumnos proceder de forma similar a la que haría un experto, lo que implica tres aspectos (Jorba y Sanmartí, 1994):

- 1) *Identificar los motivos y los objetivos de las actividades de aprendizaje.* No consiste en enumerarlos, sino en crear actividades que hagan posible que el alumno pueda representar por sí mismo los motivos y objetivos reales.
- 2) *Anticipar y planificar las operaciones necesarias para llevarlas a cabo.* Un instrumento que nos proponen los autores de este modelo de aprendizaje son las *bases de orientación* (Nunziati, 1990). Se hacen necesarias tres fases para construir una base de orientación:
 - a) Determinar el tipo de problema, que permitirá representar el producto final esperado, las acciones necesarias y las operaciones que se deben realizar.
 - b) Determinar los conocimientos necesarios para alcanzar el objetivo fijado.
 - c) Analizar las condiciones necesarias para determinar los conocimientos que se deben aplicar en esa situación.

El papel del profesorado para ayudar a los alumnos a crear una base de orientación es muy importante ya que debe facilitar la información precisa para que los estudiantes puedan crearla, contrastando su punto de vista con el del alumnado, formulando cuestiones que ayuden a superar momentos de crisis, etc. Todo este proceso implica necesariamente usar lenguaje oral, gráfico o simbólico.

- 3) *Identificar los criterios de evaluación.* No es habitual que el profesorado formule los criterios de evaluación antes de iniciar la enseñanza de un tema de forma explícita, aunque de forma implícita muchos alumnos pueden detectarlos, aunque para otra parte de la clase pueden pasar desapercibidos. Se propone el uso de la autoevaluación, la evaluación mutua y la coevaluación, así como el contraste de diferentes puntos de vista para la elaboración progresiva de los criterios de evaluación del estudiante.

1.4. NUESTRO MODELO DE ENSEÑANZA

Podemos considerar que no existe ningún modelo de enseñanza absolutamente satisfactorio en su totalidad, coincidiendo con Gutiérrez et al. (1990) cuando afirman que ninguno de los modelos empleados para el diseño de proyectos curriculares (Gagné, Piaget, Ausubel, psicología del procesamiento de la información), bastaría por sí solo para guiar las múltiples situaciones de aprendizaje en el aula. Por tanto, no sería conveniente que la práctica docente se centrara en un único modelo de aprendizaje, sino que debería fomentarse el uso, de forma complementaria, de las diferentes propuestas existentes.

Coincidimos con Mellado y Carracedo (1993) cuando establecen paralelismos entre la filosofía de la ciencia y los modelos didácticos existentes, encuadrando dentro de la postura constructivista a Popper, Lakatos, Toulmin y Kuhn. En este sentido, puede considerarse que el falsacionismo de Popper está relacionado con la contradicción que supone el cambio conceptual entre las teorías previas y la experiencia. Cuando el cambio conceptual provoca grandes reestructuraciones de las ideas de los alumnos, correspondería a períodos de ciencia revolucionaria de Kuhn o, en el caso de Lakatos, cuando se vea afectado el núcleo central del programa. Finalmente, el cambio conceptual en los estudiantes puede ser gradual, de tal forma que se van incorporando ideas nuevas, manteniendo las anteriores, en analogía al evolucionismo de Toulmin.

El constructivismo se ha mostrado un paradigma coherente y fundamentado para el aprendizaje de las ciencias, pero no puede considerarse único. Coincidimos con Shulman (1986) en valorar positivamente la coexistencia de escuelas divergentes de pensamiento en educación, ya que en lugar de ser una debilidad de desarrollo, puede ser un estado natural y una muestra de madurez. Transmitir un solo punto de vista comportaría un reduccionismo que la propia historia de la ciencia se ha encargado de refutar (Ray, 1991), por lo que consideramos necesario tenerlos todos en cuenta.

El modelo de enseñanza de transmisión es el más utilizado en la enseñanza de las ciencias en la actualidad, aunque desde el punto de vista de la Didáctica de las Ciencias haya sido ya superado. La explicación oral por parte del profesor que se apoya en el libro de texto, con la realización de experiencias prácticas muy guiadas y con poca participación activa del alumnado, es una constante en las aulas. Rechazamos este planteamiento como motor en la práctica docente, si bien en ocasiones una metodología tradicional puede ser utilizada con éxito o al menos con tanta eficiencia como otros modelos de enseñanza.

El modelo de enseñanza por descubrimiento se encontraba en boga hace ya algunos años, pero no tiene la implantación actual en el aula que tiene el modelo de transmisión de conocimientos ya elaborados. Consideramos que este modelo se basa en un proceso de inducción que ha de permitir entender los fenómenos naturales y se aleja de los actuales posicionamientos de la filosofía de la ciencia. Por otra parte, el proceso en sí del modelo puede dar una idea equivocada de la naturaleza de la ciencia, además de necesitar un contexto educativo y temporal en muchos casos inaccesible.

La propuesta didáctica que presentamos en el capítulo 4, está basada en planteamientos constructivistas, tomando como referencia el modelo de cambio conceptual de Posner et al. (1982). Los motivos que nos han llevado a ello son los siguientes:

- 1) Insatisfacción por los modelos de enseñanza tradicional. El papel del profesor como mero transmisor de conocimientos ya elaborados y el uso del libro de texto como referente, no satisface nuestros planteamientos educativos ni nuestro posicionamiento didáctico.

- 2) Los alumnos poseen una gran cantidad de errores conceptuales y de concepciones alternativas que deben ser conocidos.
- 3) Los modelos de enseñanza tradicional o por descubrimiento no prestan atención a las concepciones del alumnado y un sistema de enseñanza que las ignore no conseguirá que los estudiantes los modifiquen y su concepción de los fenómenos científicos se adapte a los modelos correctos.
- 4) La dificultad conceptual y las implicaciones en la sociedad actual de los conceptos de genética y su utilización en medicina, agricultura, etc., necesita un modelo didáctico que pueda hacer que los alumnos reestructuren sus concepciones para poder tener una perspectiva crítica y con criterio sobre los avances en esta ciencia. Creemos que un modelo de enseñanza que tenga en cuenta sus concepciones y pueda ser capaz de provocar un cambio conceptual, puede ayudar a conseguirlo.

Además de la propuesta de cambio conceptual de Posner et al., existen otras que han sido descritas en apartados anteriores que aportan algún elemento diferenciador y positivo que pueda ser aplicado en el aula. Creemos que no podemos limitarnos a un único planteamiento sino que debemos aprovechar aquellos factores que puedan favorecer la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias y en este caso particular, de la genética.

CAPÍTULO 2

LA DIDÁCTICA DE LA GENÉTICA

En este capítulo introduciremos la situación actual de la didáctica de la genética, así como las problemáticas educativas que supone para el profesorado y las tendencias actuales en investigación en didáctica de la genética.

La enseñanza de esta disciplina no puede estar al margen de los planteamientos que hemos descrito en el capítulo anterior y veremos que, efectivamente, esto no sucede. Por el contrario, existe un debate entre los investigadores en torno a una adecuada orientación de la docencia de la genética y que tiene diferentes enfoques epistemológicos.

La genética es una de las partes de la biología que presenta más dificultad a la hora de enseñar por parte del profesorado y también de asimilar desde el punto de vista conceptual y procedimental por el alumnado. Por tanto, consideramos necesario prestar atención a los diferentes modelos de aprendizaje para poder utilizar aquellas estrategias que éstos nos proponen y pueden ser de aplicación en la docencia de la genética.

2.1. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA DIDÁCTICA DE LA GENÉTICA

La genética constituye uno de los bloques de las ciencias más difíciles de comprender en la enseñanza secundaria, tanto por la complejidad de sus contenidos como por las dificultades que caracterizan sus estrategias de enseñanza (Smith, 1988). En un estudio publicado en 1980 (Johnstone y Mahmoud, 1980) en el cual se preguntaba a alumnos de educación secundaria y de universidad escoceses sobre los temas en los que tenían más dificultades de aprendizaje, dos aspectos resultaron mayoritarios: el transporte de agua en las plantas y la genética.

Numerosos estudios muestran que se trata de una parte de la biología que presenta muchos y muy graves errores conceptuales (Kargbo et al., 1980; Longden, 1982; Okeke y Wood-Robinson, 1980, entre muchos otros). Algunos de estos errores pueden ser atribuidos a concepciones alternativas y otros a prerrequisitos conceptuales, bien erróneos o bien que han sido olvidados por el alumnado. Algunos de estos errores hacen referencia a la confusión existente entre términos como cromosoma, cromátida, gen, alelo, dominancia o recesividad

Uno de los mayores problemas que se encuentran los profesores de biología es que se requiere un cierto nivel de cálculo numérico y de acercamiento analítico superior a otras disciplinas biológicas (Radford y Bird-Stewart, 1982). Mientras que en otros aspectos de la biología la observación y la descripción pueden ser suficientes, en la genética no bastan para llegar a alcanzar su conocimiento más completo. Por otra parte, las experiencias prácticas en genética son difíciles de llevar a cabo de manera real, dada la dificultad de manejar material vivo y el largo período de tiempo que implica su realización. Bugallo Rodríguez (1995) nos presenta un trabajo realizado por Deadman y

Kelly (1978), en el que estos autores muestran que la inapropiada comprensión de la probabilidad y la ausencia de un concepto simplificado de la herencia mendeliana eran algunos de los mayores obstáculos para el desarrollo de conceptos más elaborados.

Todas las circunstancias anteriormente descritas contribuyen a que muchos alumnos:

- a) Aprendan de memoria conceptos básicos relacionados con la herencia biológica (cromosoma, gen,...) sin conocer su verdadero significado (Pashley, 1994a; Lewis et al., 2000).
- b) No lleguen a comprender las consecuencias de procesos biológicos importantes como la reproducción sexual o la meiosis (Stewart y Dale, 1989; Brown, 1990)
- c) Presentan nociones erróneas sobre dónde se encuentra y cómo se transmite la información hereditaria (Longden, 1982; Stewart et al., 1990; Lewis y Wood-Robinson, 2000)

Cuando se plantean cuestionarios o pruebas escritas al alumnado se observan respuestas que son resultado de aprendizajes memorísticos o muy superficiales y con un escaso nivel de diferenciación conceptual (Hackling y Treagust, 1984). Por ejemplo, se suele preguntar sobre las leyes de Mendel sin plantearse si existe una verdadera comprensión de su significado y las contestaciones del alumnado son una repetición de la formulación de las leyes hecha por el profesor o que figura en el libro de texto. Atendiendo a este ejemplo vale la pena comentar la propuesta didáctica del célebre artículo de Gregor Mendel (1866) hecha por Jiménez Aleixandre y Fernández Pérez (1987), relacionándolo con la historia de las ciencias.

Por otra parte, los alumnos dan respuestas satisfactorias a situaciones que se les plantean que no requieren la comprensión de conceptos o procesos implicados en los mismos (Kinnear, 1983; Stewart, 1983; Ayuso et al., 1996). El aspecto donde se hace más evidente esta situación es en la resolución de problemas, ya que aunque sean resueltos correctamente no implica necesariamente que se pongan en práctica los conocimientos adecuados (Stewart, 1983).

Diferentes trabajos de investigación han puesto de manifiesto que después de la instrucción, los aprendizajes de los estudiantes sobre la herencia biológica son menos significativos de lo que cabría esperar (Brown, 1990). En apartados posteriores detallaremos las dificultades existentes en el aprendizaje de la genética que, incluso después de dedicar muchas sesiones de docencia, no permite a los alumnos dar explicaciones razonadas y correctas a situaciones o problemas que se les plantea (Stewart y Dale, 1989).

La complejidad del estudio de la genética en la enseñanza secundaria proviene, en gran medida, de la naturaleza de sus conceptos y que se incrementa por el hecho de tener que aplicarlos a estrategias de aprendizaje

complejas en sí mismas, como por ejemplo la resolución de problemas. Este tipo de actividad puede servir para comprender mejor la estructura conceptual de la genética y la naturaleza de la ciencia como actividad intelectual y para desarrollar destrezas propias de esta disciplina (y de todas las ciencias en general). Estas estrategias consistirían en plantearse hipótesis, búsqueda de información, análisis de datos e interpretación de resultados (Gil, 1986; Hodson, 1994).

La resolución de problemas se constituye como uno de los aspectos más importantes en el aprendizaje de la genética, ya que además de ayudar a desarrollar destrezas científicas, es el momento donde se han de relacionar y demostrar la correcta interpretación de muchos de los conceptos y procesos de la herencia. Diferentes estudios han mostrado que con la aplicación de un algoritmo los alumnos pueden resolver correctamente un problema, lo que no implica que hayan adquirido un aprendizaje significativo sobre los conceptos y procesos de la herencia (Stewart, 1983; Smith y Good, 1984; Pearson y Hughes, 1988; Smith, 1988; Slack y Stewart, 1990; Ayuso y Banet, 1997).

Independientemente de la dificultad en la resolución de problemas, otro gran aspecto a tener en cuenta en didáctica de la genética es la verdadera comprensión de la naturaleza del material hereditario y su situación en la célula (Kindfield, 1991; Pashley, 1994; Lewis et al., 2000; Lewis y Wood-Robinson, 2000; Banet y Ayuso, 2000).

En Gran Bretaña, antes de 1960 la enseñanza de la genética no se encontraba en los programas de estudiantes menores de 16 años. Los currícula de años posteriores ya incluían estos temas incluso en la enseñanza primaria. Esta evolución también ha tenido lugar en países como Estados Unidos. La introducción de la genética en el currículum puso de manifiesto la diversidad de opiniones existente sobre si era apropiado enseñar los temas de la herencia a estudiantes tan jóvenes. La aparente contradicción entre la importancia del tema y su dificultad ha derivado en una controversia que dura hasta la actualidad (Bugallo Rodríguez, 1995). En nuestro país se introduce el tema de la genética en tercero de la ESO, es decir, en alumnos de 15 años y nos encontraríamos por tanto en el mismo núcleo de discusión (DEGC, 2002).

La controversia puede estar relacionada con las dos tradiciones que han dominado la investigación de su aprendizaje:

Por un lado se encuentran los investigadores piagetianos que se basan en las demandas cognitivas para la resolución de problemas de esta materia. Mitchell y Lawson (1988) argumentan que el estadio de desarrollo cognitivo de los estudiantes puede utilizarse para explicar el éxito o fracaso en un contenido curricular. Califican el contenido de la genética como hipotético y tales conceptos son formales y por tanto difíciles de comprender por estudiantes que se encuentran en el estadio de operaciones concretas. En realidad, los límites de las edades correspondientes a cada estadio propuestos por Piaget no pueden ser absolutamente cerrados e inflexibles. En este sentido, puede haber adultos que no hayan llegado al estadio de operaciones concretas. Según estos autores, dichos estudiantes no poseen las destrezas apropiadas de

razonamiento hipotético-deductivo y sería la principal fuente de dificultad para la resolución de problemas, la interpretación de los resultados y la comprensión de los mecanismos de transmisión de la herencia biológica.

No obstante, Haley y Good (1976) indicaron que la mayoría de alumnos de primer curso de universidad no habían llegado al modelo de razonamiento formal. Según Walker et al. (1980), la permanencia en el nivel de pensamiento operacional concreto es debida a la falta de experiencias que refuercen el razonamiento formal. En este sentido, proponen una secuencia didáctica diseñada para mejorar la capacidad de los estudiantes a la hora de aplicar los modelos de pensamiento a aspectos relacionados con la comprensión de la genética.

En un línea análoga, Hackling y Treagust (1984) piensan que puede ser factible introducir la genética en los currícula de alumnos menores de 16 años siempre que se haga acercando los procesos implicados en la herencia biológica a experiencias concretas y familiares y cuando el profesorado no profundice en aspectos difícilmente observables por el alumnado y sea capaz de ilustrar con actividades y experiencias perceptibles. Es decir, en lugar de recurrir a mostrar caracteres de determinada planta que al alumno jamás ha visto, utilizar, por ejemplo, caracteres humanos (Mertens, 1990; Talbot, 1991)

Por otra parte nos encontramos con los investigadores partidarios de la inclusión de la genética en el currículum que basan sus investigaciones en los trabajos de Ausubel. Consideran que el conocimiento conceptual previo del alumnado es el factor más importante para el aprendizaje de contenidos científicos.

Entre los defensores de esta postura se encuentran Shayer (1974) y Deadman y Kelly (1978) que, en los años setenta señalaban dos razones para incluir la genética en los cursos iniciales de secundaria: a) la importancia social y científica del tema y b) por otra parte consideraban posible descubrir métodos apropiados para presentarlo en este nivel educativo. Proponen basar el desarrollo curricular a partir de las concepciones del alumnado, de manera que según sean éstas se abría un proceso de elaboración gradual, donde se combinaba desarrollo, investigación y enseñanza y se exploraba en clase, observando cómo se producía el aumento de comprensión.

Otros investigadores a favor de la inclusión de la genética en cursos con alumnos menores de 16 años destacan la importancia del conocimiento específico del tema y de las destrezas a la hora de comprender y resolver problemas de genética y situaciones relacionadas con la herencia biológica (Smith, 1988). Stewart (1982) dice que los estudiantes no presentan carencia de operaciones mentales para generar combinaciones y cálculo de probabilidades, sino que lo que les falta son conocimientos para relacionar, por ejemplo, los porcentajes con el fenómeno de la segregación de cromosomas durante la meiosis.

Smith y Sims (1992) afirman que aunque muchos de los conceptos de genética son en gran medida formales, los estudiantes que se encuentran en el nivel de

operaciones concretas poseen muchas de las destrezas cognitivas requeridas para resolver los problemas de genética más típicos de la genética clásica. También afirman que las técnicas didácticas son capaces de impulsar en todos los estudiantes de secundaria la comprensión de los conceptos genéticos. Por tanto, consideran que las metodologías educativas relacionadas con la docencia de la genética han de modificarse en el sentido de no profundizar excesivamente en los conceptos sino en el significado de tales conceptos.

Un último argumento a favor de la inclusión de la genética en la educación secundaria es el hecho de que la mayoría de especialistas en didáctica de las ciencias opina que los estudiantes y público en general han de comprender conceptos de genética básicos. La importancia de conocer estos temas se hace aún más necesaria hoy día ya que la investigación genética actual lleva acompañada una serie de factores éticos y sociológicos muy importantes. En los años ochenta del pasado siglo ya se proponía (Radford y Bird-Stewart, 1982; Thomson y Stewart, 1985) la necesidad de que el público esté bien formado sobre los procesos biológicos y de la herencia y la evolución para ser consciente y tomar decisiones razonadas sobre temas como la ingeniería genética, terapia génica, clonación y otras manipulaciones tecnológicas sobre el material hereditario. Esto se podrá conseguir cuando los individuos que toman las decisiones tengan una correcta comprensión de la genética.

El campo de la biotecnología abre nuevos frentes didácticos y ya hay trabajos que intentan explorar estas concepciones y cambios en las actitudes de los estudiantes ante los avances continuos en manipulación del material hereditario en el laboratorio (Hill et al., 1998; Chen y Raffan, 1999; Aznar, 2000; Jiménez Aleixandre, 2000b). Se hace necesario un conocimiento de la naturaleza del material hereditario y de los mecanismos de su transmisión para poder comprender y valorar las aplicaciones médicas e industriales de la biotecnología.

En definitiva, la investigación en didáctica de la genética está centrada en la detección y análisis de las concepciones de los alumnos sobre la naturaleza, situación, estructura y transmisión de la información hereditaria. También se centra en la interpretación de la meiosis y su relación con la resolución de problemas. Se están elaborando propuestas para conseguir un verdadero aprendizaje significativo de los conceptos y procesos de la genética y la resolución de problemas que venga acompañada de una interpretación correcta de la meiosis. El equipo de la Universidad de Wisconsin-Madison dirigido por Jim Stewart, los colaboradores de Colin Wood-Robinson de la Universidad de Leeds y los investigadores Enrique Banet y Enrique Ayuso de la Universidad de Murcia son los referentes más destacados en todos estos aspectos.

Sin embargo, en una revisión de los libros de texto de Educación Secundaria Obligatoria llevada a cabo por nosotros (ver capítulo 3), se comprueba que las secuencias didácticas propuestas para el estudio de la genética no tienen en consideración las orientaciones y sugerencias de las actuales investigaciones en didáctica de la genética (Garvin y Stefani, 1993; Ayuso et al., 1996; Stewart y Van Kirk, 1990; Lewis et al., 2000; Banet y Ayuso, 2000).

2.2. PROBLEMÁTICA DE LA DOCENCIA DE LA GENÉTICA

2.2.1. Concepciones del alumnado sobre genética

Ya hemos comentado en el apartado anterior que uno de los principales escollos en la docencia de la genética es la existencia de muchas y muy diversas concepciones alternativas del alumnado sobre los mecanismos de la herencia biológica. Los estudios sobre las concepciones de los alumnos sobre temas de genética no han comenzado hasta los años ochenta del siglo XX. Antes de tal fecha solo cabe destacar el trabajo de Deadman y Kelly (1978), donde los autores destacan que la no comprensión de la probabilidad y la ausencia de un concepto simplificado de la herencia mendeliana, son obstáculos que no permiten a los alumnos desarrollar otros conceptos de genética más complejos.

En 1980 y 1982 aparecen dos trabajos importantes en la didáctica de la genética. El primero es el ya comentado de Johnstone y Mahmoud (1980) que observaron que la genética era una de las áreas de la biología que resultaba más difícil de aprender. En el segundo, Finley et al. (1982), ponen en evidencia que los contenidos de la genética son considerados por los profesores de ciencias de secundaria como de los más importantes y difíciles, concretamente la mitosis-meiosis-genética mendeliana y la teoría cromosómica de la herencia.

Recientemente, Bahar et al. (1999) se han propuesto comprobar si esta parte de la biología continúa siendo de las que más dificultades presenta. Preguntaron a estudiantes de secundaria que calificasen 36 temas de biología en función de su grado de dificultad. Los cinco temas que presentaban más dificultad eran de genética:

- a) problemas de monohibridismo y dihibridismo: 22.2%
- b) ingeniería genética : 13.4%
- c) control genético de los procesos metabólicos : 13.3 %
- d) Mitosis y meiosis: 11.9%
- e) Conceptos de gameto, gen y alelo: 10.4%

Durante la década de los ochenta aparecieron un elevado número de trabajos relativos al estudio de las concepciones de los alumnos (Kargbo et al, 1980; Radford y Bird-Stewart, 1982; Kinnear, 1983; Hackling y Treagust, 1984; Albadalejo y Lucas, 1988). Posteriormente Kindfield (1991) y Banet y Ayuso (1995), entre otros continuaron con esta línea de investigación. También se publicaron artículos sobre los errores que cometen los alumnos durante la

resolución de problemas de genética. (Tolman, 1982; Stewart, 1983), entre otros.

Algunas de estas investigaciones aportan datos sobre los aspectos de la genética que son especialmente difíciles y proponen orientaciones para reducir esta dificultad (Radford y Bird-Stewart, 1982; Longden, 1982; Hackling y Treagust, 1984; Cho et al., 1985; Pearson y Hughes, 1988; Banet y Ayuso, 1998, Ayuso y Banet, 2002).

En los párrafos siguientes analizaremos las principales dificultades para el aprendizaje de la genética:

1. Las concepciones alternativas del alumnado

Cuando los alumnos llegan a clase presentan concepciones alternativas que han de tenerse en cuenta a la hora de diseñar la secuencia didáctica y las estrategias de enseñanza-aprendizaje (Giordan, 1985; Driver, 1986, entre muchos otros). El profesorado ha de conocer dichas concepciones para poder intervenir y hacer que las ideas de los alumnos se vayan acomodando al conocimiento científico correcto. Algunas de las ideas de los alumnos tienen al iniciarse el estudio de la genética son las siguientes:

- Algunos alumnos no consideran que todos los seres vivos estén formados las células, especialmente vegetales, hongos y animales inferiores (Banet y Ayuso, 1995).
- Algunos estudiantes creen que no todos los seres vivos tengan genes o cromosomas, aun estando convencidos de que están formados por células. (Banet y Ayuso, 1995; Wood-Robinson et al., 1998).
- Presentan confusión sobre la naturaleza de los genes y los cromosomas, pensando algunos alumnos que un determinado organismo puede tener cromosomas, pero no genes. (Pashley, 1994a; Lewis y Wood-Robinson, 2000; Lewis et al., 2000)
- Hay alumnos que creen que la información hereditaria la poseen únicamente las células sexuales (Hackling y Treagust, 1984; Banet y Ayuso, 1995; Lewis et al., 2000).
- La mayoría de estudiantes cree que cada célula lleva únicamente la información hereditaria necesaria para la función que realiza; por ejemplo, las células de hígado solo poseen información hereditaria necesaria para la función hepática (Hackling y Treagust, 1984)
- La gran mayoría cree que los cromosomas sexuales se encuentran únicamente en los gametos (Longden, 1982; Radford y Bird-Stewart, 1982).
- Muchos alumnos creen que el ambiente puede influir en la aparición de un determinado carácter genético y que los factores ambientales tienen más

influencia que los hereditarios. (Ramagoro y Wood-Robinson, 1995; Lewis et al., 2000)

Aunque en los apartados siguientes describiremos con más detalle algunas de estas concepciones, consideramos relevante el estudio de Kargbo et al. (1980). Estos autores han observado que la mayoría de alumnos cree que el ambiente induce los caracteres, es decir que si un animal pierde un dedo, puede transmitir esta anomalía a la descendencia. Esta visión lamarckista está muy extendida entre el alumnado y también entre el conjunto de la población. Moreno (2001) nos muestra en un estudio realizado entre la población no académica y alumnos de secundaria, que perviven una concepción lamarckista del hecho evolutivo. Fue el trabajo de Lucas (1971) el primero en constatar la similitud de las explicaciones de los alumnos respecto a la evolución de los seres vivos con las de Lamarck. Hallden (1988), Martín (1983), Albadalejo y Lucas (1988).

El hecho de que los alumnos presenten estas concepciones indica un desconocimiento de la verdadera naturaleza del material hereditario y de los mecanismos de transmisión. Además, pone en evidencia la dificultad para situar correctamente la información hereditaria. Hackling y Treagust (1984), Banet y Ayuso (1995) y Lewis et al. (2000) han podido comprobar que la mayoría de estudiantes ubica el material genético en las células reproductoras de manera exclusiva. La consistencia observada de las explicaciones que los alumnos dan a los fenómenos relacionados con la herencia son similares a las creencias populares (Okeke y Wood-Robinson, 1980). Los alumnos relacionan una mayor similitud de un hijo a uno de los padres con un papel diferente de los progenitores en la transmisión del material hereditario (Engel Clough y Wood-Robinson, 1985)

2. La confusión de conceptos genéticos

La confusión de conceptos básicos como gen, alelo, carácter, locus, cromosoma, cromátida, gameto y dominancia es una dificultad añadida a la comprensión de la genética (Longden, 1982; Collins y Stewart, 1989).

En este caso no nos encontramos ante una falta de conocimiento de conceptos, sino ante una no diferenciación de conceptos muy relacionados que perdura incluso después de la docencia. Es muy frecuente la confusión entre gen y alelo, como nos presenta el trabajo de Pashley (1994a), que además nos propone alternativas didácticas para intentar superar esta situación. La confusión entre estos dos conceptos se ve reforzada por errores conceptuales en algunos libros de texto (Cho et al. 1985).

La ubicación de los alelos en los cromosomas y su relación con el concepto de gen y carácter es incorrecta incluso en alumnos que ya han estudiado los temas de genética (Brown, 1990). En una actividad que se planteó a alumnos en una de las pruebas de acceso a la Universidad de Cambridge sobre el conocimiento de conceptos de cromátidas hermanas, genes, locus y alelos, se evidenciaron los errores y confusiones entre estos aspectos. Muchos alumnos construyeron cromátidas hermanas dándoles diferentes colores, lo que pone de

manifiesto la no comprensión de la duplicación de los cromosomas. Etiquetaron y situaron de forma incorrecta alelos en cromosomas homólogos y nada menos que el 46.3% de los alumnos situó en cromátidas hermanas diferentes alelos.

3. La no comprensión de la meiosis y su relación con los problemas de genética

La falta de significado de la meiosis como fuente de diversidad a través del proceso de formación de gametos es otra importante dificultad que se presenta en la docencia de la genética. (Stewart, 1982, 1983; Stewart y Dale, 1989; Brown, 1990; Kindfield, 1994, entre otros). Los alumnos no son capaces de relacionar el proceso biológico de la meiosis con el reparto de material hereditario en los gametos, de manera que las células sexuales producidas son diferentes entre sí. También es difícil de comprender el hecho de que la formación de gametos diferentes implica diversidad en la descendencia.

Longden (1982) detecta en los estudiantes confusión en los procesos implicados en la meiosis. Los estudiantes no relacionan el proceso de replicación del ADN con los fenómenos de división celular y más concretamente la meiosis. Señala de vital importancia la creación de un código claro y constante en la representación de las estructuras relacionadas con la herencia, durante los procesos de división celular. Propone que el estudio de la meiosis no se centre tanto en sus fases y más en el papel fundamental que representa en el proceso de segregación de alelos. En esta misma línea se encuentran las aportaciones de Smith y Kindfield (1999), Schanker (1999) y Stewart et al. (1990). Ayuso (2000) y Banet y Ayuso (1995, 2000) proponen también obviar la complejidad de dicho proceso biológico en esta etapa escolar. Además de incidir en su papel como mecanismo de producción de gametos, también consideran estudiar su significado en cuanto a la constancia cromosómica de las especies y tomar como referencia la célula-huevo para analizar la información hereditaria que poseen los seres vivos. También se debe destacar su importancia en referencia a la diversidad que se produce en el sentido del gran número de oocitos y espermatozoides producidos que son genéticamente distintos.

La no comprensión de la meiosis está estrechamente relacionada con la dificultad del alumnado en tener un modelo de cromosoma correctamente formado (Stewart et al., 1990). Al confundir conceptos como cromosoma homólogo y cromátida hermana y no situar correctamente los alelos en los loci correspondientes, no pueden llegar a comprender en su totalidad la meiosis.

El estudio de la meiosis puede ser también un elemento que permita comprender los mecanismos de la evolución, al producir gran cantidad de gametos diferentes a los de sus progenitores.

La meiosis está estrechamente relacionada con el proceso de resolución de problemas de genética. Si no se produce una verdadera comprensión del proceso, difícilmente se podrán afrontar con éxito los problemas. Los alumnos pueden resolver problemas con relativo éxito aplicando un algoritmo (Smith y Good, 1984); ahora bien, cuando se interroga en entrevista a los alumnos de

por qué han respondido en ese sentido, se detecta el desconocimiento de los procesos genéticos verdaderamente implicados (Stewart, 1983)

La dificultad en la aplicación correcta de las leyes de la probabilidad también se pone de manifiesto, ya que en la respuesta final de su ejercicio utilizan términos y expresiones que determinan seguridad, lejos del concepto de probabilidad implicado. Por otra parte, pueden llegar a establecer correctamente los porcentajes de los descendientes, pero no se saben interpretar correctamente (Ayuso y Banet, 1997).

Muchos de los problemas que se proponen tradicionalmente por parte del profesorado y en los libros de texto son los denominados *causa-efecto*, donde se conoce el modelo de herencia y el genotipo de los progenitores. En estas condiciones la resolución se hace relativamente sencilla, pero aplicando el algoritmo y sin entrar en determinar los procesos biológicos relacionados.

4. La estructura y función de los cromosomas

La estructura y función de los cromosomas es otra fuente de confusión, relacionada estrechamente con algunos aspectos ya citados, pero que merece la pena explorar por separado aquellos que resultan más problemáticos.

En primer lugar, los alumnos no conocen la propia naturaleza de los cromosomas y su relación con los genes y la molécula de ADN. Si bien, se sabe que son términos relacionados desde el punto de vista funcional, se ha observado dificultad en comprender la relación que tienen dichas estructuras (Íñiguez y Puigcerver, 2001).

Tampoco son capaces de conocer en cada momento del ciclo celular el número de cromosomas que se encuentran (Kindfield, 1991). Este aspecto está relacionado con el que describe Longden (1982), en el sentido de que no se relaciona el proceso de replicación del ADN previo a la división celular con la duplicación del número de cromosomas.

La no relación entre cromátida y cromosoma homólogo y la ubicación en ellos de los alelos es otro de los principales problemas que tienen los estudiantes, incluso los de primeros cursos de universidad (Brown, 1990; Stewart et al., 1990; Pashley, 1994a).

Hay alumnos que consideran que las células de diversos organismos no tienen cromosomas, lo que dificulta de manera evidente la comprensión de los mecanismos de transmisión de la información hereditaria y los mecanismos de la evolución (Íñiguez y Puigcerver, 1997). Otro aspecto relacionado es que un porcentaje importante de alumnos considera que los cromosomas se encuentran únicamente en las células reproductoras y que el resto de células del organismo no tienen (Banet y Ayuso, 1995, 2000). Incluso hay alumnos que no creen que las plantas tengan cromosomas (Engel Clough y Wood-Robinson, 1985).

5. Errores derivados de los libros de texto y del profesorado

Los errores derivados de los libros de texto son a menudo una fuente de errores o bien ayudan a reforzar concepciones de los estudiantes que serán difíciles de superar (Cho et al., 1985). Estos autores han observado la utilización incorrecta o ambigua de determinados conceptos como gen y alelo. El concepto de mutación suele ser descrita como una cosa extraña, recesiva y perjudicial, sin mostrar que es una de las fuentes de variabilidad de las especies (Albadalejo y Lucas, 1988).

La utilización de esquemas y simbología poco clarificadora de los textos y de los profesores en la acción docente diaria, también puede ser motivo de confusión (García Cruz, 1990; Kearsley y Turner, 1999). Este hecho se pone de manifiesto en la propia investigación bibliográfica de los artículos de didáctica de la genética llevada a cabo por nosotros, en la que se evidencia la falta de criterio común por parte de los investigadores en utilizar un único sistema de representación. El ejemplo más claro lo podemos encontrar en la forma en la que se representan los cromosomas: en ocasiones son dos aspás, en otros textos aparecen como palitos verticales y aun pueden encontrarse esquemas que calcan la imagen de un cromosoma visto en un cariotipo. La forma en la que se representan los alelos en los cromosomas también es diferente, la forma de representar las cromátidas hermanas e incluso la utilización de diferentes colores puede llevar a la confusión. Kindfield (1991) cita el estudio realizado por Hildebrand (1989) sobre los errores existentes en los dibujos y representaciones de los libros de texto referidos a la meiosis y los cromosomas. Valadé del Río (1999) confirma esta impresión y propone una revisión de los libros de texto de genética y la utilización correcta de simbología genética en eucariotas.

Otro aspecto a destacar que se detecta en las unidades didácticas presentadas en los libros de texto, es la selección y el orden de los contenidos (Cho et al., 1985). Por ejemplo, muchos libros presentan la meiosis y la genética en capítulos separados y el orden de secuenciación no resulta el propuesto por las investigaciones en didáctica de la genética. Estos estudios recomiendan que el estudio de la mitosis, la meiosis y la teoría cromosómica de la herencia no se vean interrumpidos por nuevos temas de biología. De esta manera se puede relacionar el proceso de división celular con el de segregación de alelos y posteriormente aplicar estos conocimientos en la resolución de problemas. Otro tópico en los textos de educación secundaria es el estudio detallado de las leyes de Mendel, que debería ser abordado cuando los alumnos puedan interpretar el significado real de los experimentos (Banet y Ayuso, 1995).

Los profesores también pueden influir en el refuerzo de algunas concepciones del alumnado, como hemos explicado anteriormente en la utilización de esquemas o colores confusos. Sebastiá (1984) ha detectado que profesores de Ciencias Experimentales en activo coinciden con determinados errores conceptuales de los alumnos. En este mismo sentido se pronuncian también García Baquero et al. (1985) cuando afirman, al analizar los resultados de un estudio sobre conocimientos de Biología, que se detectan en las respuestas de los estudiantes inducidos por la enseñanza.

Gilbert et al. (1982) basándose en sus trabajos sobre el aprendizaje de las Ciencias con alumnos de 10 a 17 años, ha descrito cinco patrones posibles de interacción entre las representaciones que los alumnos tienen con las enseñanzas del profesor. Estas cinco posibilidades son igualmente válidas en el campo de la docencia de la Genética:

- 1) La concepción del alumnos permanece inalterada.
- 2) La concepción original permanece y se adquiere una segunda independiente de la primera, que tiene validez en un contexto escolar, pero que no llega a relacionar con su experiencia diaria del fenómeno y éste sigue siendo interpretado con sus ideas iniciales. Por tanto, hay creencias paralelas y compartimentadas.
- 3) Se refuerza la concepción del alumno, que interpreta erróneamente la instrucción.
- 4) Se produce una amalgama de concepciones: los alumnos captan sólo una parte de la ideas científicas y el resultado es una mezcla de ideas científicas y personales.
- 5) Unificación de ambas concepciones, que resulta en una visión científicamente correcta. Aquí se produce realmente el cambio conceptual.

6. La no realización de trabajos prácticos

El no poder realizar trabajos prácticos es otra gran dificultad con la que nos encontramos a la hora del proceso de enseñanza-aprendizaje de la genética (Radford y Bird-Stewart, 1982). Los experimentos de laboratorio de *Drosophila* u otras especies son inviables en la práctica habitual de un centro de educación secundaria. Sin embargo, diversos programas informáticos de simulación pueden ayudar a paliar este problema (Llort y García, 1997; Muñoz, 1997, Puigcerver, 2003; Tsui y Treagust, 2004).

7. El propio contenido conceptual de la genética

La complejidad del cuerpo de conocimiento teórico y práctico de la genética estriba fundamentalmente en que el contenido de esta ciencia requiere la aplicación de un razonamiento hipotético-deductivo (Collins y Stewart, 1989). Además, a diferencia de otras áreas de la biología, el aprendizaje de la genética requiere un nivel de matemáticas y de capacidad analítica superior, especialmente en la resolución de problemas (Longden, 1982; Radford y Bird-Stewart, 1982).

Collins (Collins y Stewart, 1989) hace referencia a lo que un día le dijo su profesora de biología en el instituto: "Yo nunca enseñé genética, es demasiado difícil para los chicos". De alguna manera, esta afirmación es un resumen de

los aspectos detallados anteriormente y que como conjunto presentan la enseñanza de la genética como didácticamente problemática.

2.2.2. Líneas de investigación en didáctica de la genética

La investigación en didáctica de la genética ha aportado numerosos estudios con muchas descripciones de los esquemas conceptuales de los alumnos (Radford y Bird-Stewart, 1982; Engel Clough y Wood-Robinson, 1985; Collins y Stewart, 1989; Kindfield, 1991; Bahar et al., 1999; Banet y Ayuso, 2000; Lewis et al., 2000; Lewis y Wood-Robinson, 2000). Actualmente se sigue trabajando en la detección de concepciones e ideas alternativas de los alumnos y en la determinación de sus esquemas conceptuales.

Una de las líneas de investigación fundamental en genética es la resolución de problemas, considerándose que la instrucción en genética no es la única variable a tener en cuenta, sino que ha de darse importancia a las estrategias de resolución de problemas. Diferentes investigadores consideran que el proceso de resolución de problemas no puede plantearse de manera mecánica y de aplicación de un algoritmo, sino como una herramienta de aplicación de conceptos y procesos de la herencia (Stewart, 1983; Smith y Good, 1984; Stewart y Van Kirk, 1990; Ayuso et al., 1996).

Las nuevas orientaciones en las estrategias de la resolución de problemas se basan en un tipo de problema que permite elaborar un procedimiento de investigación, con el planteamiento de hipótesis y la búsqueda de mecanismos para determinar su certeza. Se huye del problema *causa-efecto*, en el que el modelo de herencia es conocido (por ejemplo, se sabe que es un carácter autosómico con una relación de dominancia ya dada en el enunciado) y el planteamiento va encaminado hacia situaciones *efecto-causa*, en el que el alumno ha de determinar qué tipo de herencia se plantea en el problema, cuál es la relación de dominancia entre los alelos implicados o bien, han de determinar el genotipo de los miembros de una familia propuesta en un árbol genealógico. Es decir, los alumnos han de construir el problema, plantear hipótesis, elaborar estrategias de resolución y aplicar destrezas cognitivas (Johnson y Stewart, 1990). La utilización de modelos de este tipo, donde la resolución de problemas puede plantearse con la intención de elaborar teorías, puede ayudar a que los estudiantes desarrollen conexiones entre el conocimiento conceptual y la resolución de problemas, de un carácter más procedimental (Slack y Stewart, 1990).

Ayuso et al. (1996) proponen algunas ideas para reorientar los problemas de genética: a) iniciar el proceso de resolución de problemas con planteamientos tipo causa-efecto y cuando los alumnos adquieran más experiencia, formularlos de la manera efecto-causa, b) plantear situaciones en los problemas próximas al alumnado, usando caracteres de genética humana antes que de plantas o animales no conocidos por el alumnado (Talbot, 1991), c) utilizar esquemas que representen el comportamiento de los cromosomas, genes y alelos durante la meiosis, tal como recomiendan Moll y Allen (1987), d) no utilizar los

problemas de genética al final del tema sino que puede ser útil su planteamiento a lo largo del desarrollo de la unidad didáctica.

Otros trabajos tienen en cuenta al realizar la docencia, además de las concepciones alternativas, la llamada *orientación de cara al aprendizaje significativo* (Bugallo Rodríguez, 1995). Pretenden descubrir cómo orientan su aprendizaje los estudiantes, es decir, en qué medida los estudiantes afrontan el aprendizaje de una materia con la intención de aprender significativamente las ideas y las relaciones implicadas. De esta manera, Cavallo y Schafer (1994), clasifican a los estudiantes según sea el método que utilizan para aprender nuevos conceptos: a) los que aprenden de forma rutinaria; b) los que aprenden significativamente; c) los que se encuentran a medio camino.

La nueva línea investigadora en didáctica de la genética trata la relación entre el conocimiento conceptual y las estrategias de resolución de problemas. Esta relación se investiga a través del análisis de los modelos utilizados por los alumnos, que incluirán los procedimientos para resolver los problemas y el conocimiento conceptual de genética utilizado para justificar la solución.

En cualquier caso, las investigaciones siguen haciendo hincapié en la necesidad de una verdadera comprensión de la estructura, función y localización del material genético como herramienta necesaria para comprender los mecanismos de la transmisión de la información hereditaria. Esto permite poder afrontar con mayor fiabilidad los mecanismos de la evolución (Albadalejo y Lucas, 1988; Gené, 1991), las técnicas de reproducción asistida y su valoración ética (Garvin y Stefani, 1993; Hill et al. 1998) y los últimos avances en biotecnología (Chen y Raffan, 1999; Aznar, 2000).

Los trabajos referenciados describen muy exhaustivamente las dificultades de los alumnos en el conocimiento de la naturaleza del material hereditario y de los mecanismos de su transmisión y también de la resolución de problemas. Se realizan estudios sobre las concepciones del alumnado y su dificultad en la resolución de problemas antes y después de la docencia. También se proponen ideas para intentar superar las dificultades detectadas en los diferentes aspectos, tanto conceptuales como procedimentales. Sin embargo, los referentes teóricos que aparecen en la bibliografía apenas se concretan en forma de propuesta didáctica, aunque ya hemos destacado las propuestas de los investigadores de la Universidad de Murcia, Banet y Ayuso, que han publicado algunas aportaciones muy bien estructuradas y fundamentadas (Banet y Ayuso, 1995; Banet y Ayuso, 2000; Ayuso y Banet 2002). Cabría añadir, especialmente, la tesis doctoral de Ayuso (2000), que propone una alternativa didáctica basada en principios constructivistas.

Otras propuestas didácticas que se basan en las investigaciones en didáctica de la genética y que vale la pena señalar son las que están desarrollando el equipo de Wood-Robinson y Lewis de la Universidad de Leeds (Wood-Robinson, 1994; Wood-Robinson et al., 1998; Lewis y Wood-Robinson, 2000; Lewis et al., 2000). En nuestro país, también se han propuesto algunas más ocurrentes, como la que ha implantado en el aula Codina (2005) a través del personaje de cómic *Spiderman*. En este sentido, consideramos necesario que

las propuestas didácticas que se puedan plantear, sean sometidas a una validación después de su implantación en el aula. La secuencia didáctica que nosotros presentamos en esta investigación, que está desarrollada en el capítulo 5, sí se ha visto sometida a un análisis para determinar el posible impacto didáctico en los alumnos en comparación con una secuencia didáctica basada en un modelo de enseñanza tradicional.

CAPÍTULO 3

PROBLEMÁTICA DEL MODELO TRADICIONAL DE ENSEÑANZA DE LA GENÉTICA

En el capítulo anterior se expusieron las dificultades que presentan los alumnos para el aprendizaje de la genética, describimos las ideas alternativas que se detectan entre los estudiantes y los problemas didácticos con los que los profesores deben enfrentarse. Esta situación, didácticamente conflictiva, sería uno de los problemas que presenta la enseñanza de la genética.

A partir de las reflexiones de la sección anterior, en el presente capítulo queremos exponer los problemas existentes en la didáctica de la genética, al margen de las concepciones del alumnado, y que son el origen de nuestra investigación.

En nuestra opinión son varios los condicionantes con los que se encuentran los profesores de biología para poner en la práctica procesos de enseñanza-aprendizaje sobre los mecanismos de la herencia biológica.

En primer lugar nos encontramos con las concepciones alternativas y las dificultades intrínsecas al estudio de esta parte de la biología y que fueron ampliamente descritos en el capítulo anterior.

Por otra parte, los docentes se encuentran con frecuencia ceñidos a un currículum oficial que establece los contenidos que deben adquirir los estudiantes. Por esta razón, nos ha parecido necesario hacer un análisis crítico de los currícula oficiales y de su evolución desde la aplicación de la LOGSE hasta las más recientes modificaciones.

Otro de los problemas con los que se encuentran los profesores es el de los libros de texto. La mayor parte de los docentes los utiliza de manera habitual, aunque somos críticos sobre la distribución de contenidos y los planteamientos didácticos de las editoriales. Hemos llevado a cabo un análisis de algunos de los principales libros de texto que se utilizan en el aula, a partir de una serie de ítems diseñados por nosotros, con el objetivo de determinar si se ajustan a posiciones didácticamente clásicas o bien si toman en consideración las propuestas de los investigadores en didáctica de la genética.

La última parte de este capítulo describe algunos de los planteamientos tradicionales de la enseñanza de la genética. Exponemos los principios en los que se basa el modelo tradicional de enseñanza de la genética y el tratamiento que se da a los contenidos conceptuales y procedimentales.

A nuestro entender, los elementos que describiremos en este capítulo (además de los descritos en el capítulo anterior) son los principales problemas que en la actualidad se plantean en la enseñanza de los mecanismos de la herencia biológica.

3.1. EL CURRÍCULUM DE CIENCIAS DE LA NATURALEZA

3.1.1. Crítica del currículum oficial LOGSE (Ley 1/1990)

El estudio de los mecanismos de la herencia se introduce en Catalunya en el segundo ciclo de la Educación Secundaria Obligatoria. A partir de la aplicación de la LOGSE a mediados de los noventa (el curso 1996-97 se generalizó en todo el territorio catalán) el diseño curricular sufrió algunos cambios respecto de la situación anterior. En el currículum oficial (DEGC, 1992) se hace mención expresa al constructivismo como referente en la actividad docente: "Es importante tener presente en todo momento del proceso educativo de los alumnos, la concepción constructivista de la enseñanza y el aprendizaje". Esta referencia es de gran importancia, ya que la Administración educativa tuvo en consideración las teorías del aprendizaje. Siguiendo estos mismos principios, en el documento referido se hace hincapié en las concepciones alternativas del alumnado: "Es sobre la base de las ideas previas que el alumno/a construye su conocimiento y, por tanto, hay que detectarlas". En concordancia con esto, la Administración educativa catalana se suma a los principios psicológicos que hablan del aprendizaje significativo. En el documento oficial se considera necesario conocer las concepciones del alumnado y actuar en consecuencia para que el alumno construya nuevos significados a partir de los iniciales, ya que si no es así, "los nuevos conocimientos no son significativos, se olvidan o pueden ser erróneos en el contexto global del conocimiento del alumnado" (DEGC, 1992).

Por tanto, el currículum oficial en Ciencias de la Naturaleza que se diseñó a partir de la LOGSE, encaja en una concepción constructivista del proceso de enseñanza-aprendizaje. Nuestra investigación ha tenido lugar durante el periodo de vigencia de dicha ley y por tanto encaja en el mismo marco teórico y en las mismas directrices curriculares.

De entre los diez objetivos generales que se establecen en el currículum oficial, los tres objetivos generales que consideramos que pueden ser de aplicación directa o indirecta en el proceso de enseñanza de la herencia son los siguientes:

Objetivo II. Valorar actitudes científicas como la curiosidad, la objetividad, la observación y los procesos en la investigación científica para poder abrirse receptivamente al entorno y para distinguir la superstición de la ciencia dándose cuenta de que es ésta la que puede explicar los fenómenos.

Objetivo V. Utilizar de forma correcta el instrumental científico necesario para hacer observaciones adecuadas a su edad, tanto en el trabajo de campo como en el laboratorio, iniciándose en el proceso de experimentación científica mediante la elaboración y la realización de diseños experimentales sencillos y expresar correctamente las observaciones realizadas y las medidas tomadas en forma de esquema, de cuadro de datos, de tablas, de gráficos y de otros sistemas.

Objetivo VI: Demostrar que ha adquirido el conocimiento de la terminología científica y la simbología básica necesaria para comprender textos científicos adecuados a su edad y para describir o explicar los conocimientos adquiridos o las opiniones sobre temas relacionados con la ciencia.

En estos objetivos no se hace referencia a algunos de los principios destacados en la introducción del currículum, especialmente al hecho de que el alumno sea consciente de las concepciones que tiene sobre la ciencia y sobre los procesos científicos que se tratan y sobre el proceso de acomodación y construcción de nuevos conocimientos.

En el currículum se han establecido 58 objetivos terminales, algunos referidos a conceptos y otros a actitudes y procedimientos. A continuación mostramos los objetivos terminales referidos a procedimientos y actitudes que pueden tener una relación con el proceso de enseñanza-aprendizaje de la genética:

Objetivo XLVII. Confeccionar una pauta de trabajo experimental para la resolución de un problema o comprobación de una hipótesis con la posterior realización y discusión del experimento diseñado, con la finalidad de simular la metodología científica y de identificarla y valorarla como método empleado en la investigación.

Objetivo XLVIII. Registrar, de forma ordenada y precisa, manual e informáticamente, en tablas de doble entrada y listas ordenadas, los datos representativos obtenidos en una observación directa o en las experiencias, y también dibujar, realizar diagramas, esquematizar, hacer descripciones orales y escritas de objetos, seres, fenómenos o procesos sencillos, recogiendo las características más relevantes del objeto de observación.

Objetivo L. Interpretar y elaborar representaciones gráficas de una variable, manualmente y utilizando una hoja de cálculo, mediante diagramas de barras, histogramas, diagramas de sectores, gráficos cartesianos u otro tipo de gráficos.

Objetivo LI. Resolver problemas numéricos sencillos relacionados con algunos contenidos, con la posterior discusión sobre la coherencia del resultado.

Objetivo LII. Participar en debates, realizar exposiciones verbales, escritas o visuales, resumir oralmente y por escrito el contenido de una explicación oral o escrita sencilla, utilizando el léxico propio de las ciencias experimentales y teniendo presente la corrección de la expresión.

Objetivo LIV. Interrogarse ante los fenómenos y hechos para buscar su explicación científica, rechazando explicaciones supersticiosas o míticas.

Todos estos objetivos son de aplicación a diferentes ámbitos de conocimiento de las ciencias de la naturaleza, pero también a la genética. A continuación transcribiremos los dos únicos objetivos terminales referidos a conceptos relacionados directamente con los mecanismos de la herencia:

Objetivo XIX. Enunciar los rasgos fundamentales de la teoría celular y de las partes de la célula eucariota y relacionar el intercambio de materia-energía con las mitocondrias y los cloroplastos

Objetivo XX. Explicar la composición y función de los cromosomas y la conservación de su número en el individuo, la especie, y los mecanismos que rigen la herencia en el ser humano, y asociar Mendel a los primeros estudios científicos sobre genética.

Como hemos comentado anteriormente, nuestra investigación se llevó a cabo mientras estaba en vigor el currículum que acabamos de enunciar. Valoramos que en la introducción del documento oficial (DEGC, 1992) se haga mención explícita a los principios del constructivismo como proceso capaz de producir un aprendizaje significativo. Sin embargo, echamos de menos en el enunciado de algunos objetivos la concreción de dichos planteamientos. Los libros de texto que se elaboraron en la década de los noventa no siguen el discurso metodológico oficial, tal y como veremos en este mismo capítulo. Por otro lado, no estamos seguros del impacto de las instrucciones del currículum oficial en la actividad docente del profesorado de ciencias en el aula, coincidiendo con López-Gay (2001) en que la realidad de cada centro y de la propia aula condiciona las decisiones del profesorado en su tarea docente.

A partir del verano de 2002 el currículum de las Ciencias de la Naturaleza cambia en parte. Sin embargo, el cambio más importante a nuestro entender se produce en la modificación de la concepción de cómo ha de ser la enseñanza de las Ciencias. Mientras que en el currículum de 1992 se hace mención expresa al constructivismo como referente en la enseñanza de las ciencias, en el currículum de 2002 (DEGC, 2002) no se menciona en ningún momento ni se hace referencia a las concepciones del alumnado. Dicho currículum se encuentra actualmente en vigor y en su desarrollo en forma de objetivos generales y terminales tiene muchos puntos en común con el de 1992. Esta similitud es tal que los dos objetivos terminales referidos a conceptos son idénticos. Por tratarse de la realidad actual hemos considerado necesario hacer un análisis crítico de cada uno de los aspectos que el legislador ha considerado necesario, ya que la presente investigación tiene vocación de aplicabilidad en la actualidad y en el futuro inmediato.

3.1.2. Crítica al currículum oficial actual (2002)

En la introducción del currículum oficial aprobado por la Generalitat de Catalunya en 2002 y que modifica el currículum de 1992, se dice que el área de las Ciencias de la Naturaleza ha de permitir al alumno “entender algunos fenómenos físicos que suceden en el entorno; ha de acercarlo a la comprensión de la dinámica científico-tecnológica de la sociedad; ha de procurarle el crecimiento intelectual en una manera de hacer científica y ha de promoverle formas de actuar coherentes con el conocimiento humano” (DEGC, 2002). No encontramos en ningún párrafo del documento citado una referencia explícita a los mecanismos a través de los cuales se produce el aprendizaje de

las ciencias. Tampoco detectamos claras recomendaciones o referencias que tengan en cuenta las investigaciones y las propuestas en didáctica de las ciencias. Sí se hace mención a la necesidad de atender a las concepciones del alumnado cuando se dice que “es fundamental tener en cuenta las diferentes concepciones del alumnado y revisar las formas de observar y de explicar los fenómenos, y favorecer el desarrollo de modelos interpretativos propios de la ciencia actual” (DEGC, 2002). Consideramos que no se hace el necesario hincapié en la necesidad, para el profesorado de Ciencias, de conocer las estructuras conceptuales de los alumnos sobre los diferentes aspectos de las Ciencias. Por otra parte, no se sugieren estrategias ni modelos didácticos para trabajar a partir de las concepciones del alumnado. Tampoco se hace ninguna referencia a referentes didácticos constructivistas o basados en el modelo de cambio conceptual (Posner et al., 1982).

En las últimas líneas de la introducción al currículum de Ciencias de la Naturaleza de la Educación Secundaria Obligatoria se afirma que “es necesaria una buena comunicación de las ideas, ya sea oralmente, por escrito o simbólicamente” (DEGC, 2002). La necesidad de una buena comunicación en clases de ciencias es convergente con una de las líneas de investigación en didáctica de las ciencias, basada en la comunicación en las clases de ciencias. Así, por ejemplo, Custodio (2001) y Custodio y Sanmartí (1997) nos presentan una experiencia sobre cómo los alumnos justifican sus decisiones sobre diferentes actividades relacionadas con el origen de los seres vivos. En un monográfico de la revista *Alambique* (AA.VV., 1997), también se abordó el tema del uso del lenguaje y la comunicación científica, como uno de los ejes de trabajo en investigación educativa. Nosotros destacaríamos especialmente el grupo encabezado por Izquierdo y Sanmartí (2001) y su proyecto de investigación, centrado en el desarrollo de habilidades cognitivo-lingüísticas al escribir textos relacionados con lo que ellas llaman “hecho científico”. En el campo de la comunicación del alumnado sobre genética también hay alguna aportación (García y Sanmartí, 2001), pero es un campo en el que es necesaria una importante intervención por parte del profesorado y de investigadores.

Estamos plenamente de acuerdo con el postulado del currículum oficial sobre la necesidad de la comunicación de ideas sobre la ciencia por parte del alumnado. El ámbito de la genética es especialmente propenso a permitir la justificación de las decisiones que el alumnado toma y donde se hace imprescindible una buena comunicación escrita y también gráfica sobre diferentes aspectos:

1. Resolución de problemas: Los resultados de los problemas de genética planteados no pueden limitarse a la obtención de un porcentaje o una probabilidad, sino que han de justificarse y el alumno tiene que explicitar oralmente o por escrito el resultado.
2. Meiosis: El conocimiento de la meiosis está relacionado con la resolución de problemas y con la toma de conciencia de que es una fuente de variabilidad genética. Para poder determinar con certeza el grado de comprensión del alumnado sobre este proceso, consideramos que es muy importante la

utilización de esquemas y que los estudiantes puedan usarlos para mostrar el grado de comprensión del proceso (Stewart y Dale, 1989; Kindfield, 1994).

3. Biotecnología: Términos como clonación, ingeniería genética o plantas transgénicas han aparecido casi antes en los medios de comunicación que en los libros de texto (Jiménez Aleixandre, 2000b). Es necesario que en la enseñanza de los mecanismos de transmisión de la herencia se haga referencia a las técnicas de biotecnología y su implicación ética. Aquí vuelve a ser necesaria la colaboración del alumnado en el debate de estos aspectos, para que puedan formarse un criterio basado en el saber científico. Chen y Raffan, (1999) y Aznar (2000) han analizado los conocimientos y actitudes de público en general y adolescentes en particular, sobre la biotecnología y especialmente los errores conceptuales de genética y su implicación en la comprensión de las aplicaciones biotecnológicas. También existen estudios mucho más específicos, como por ejemplo sobre el conocimiento y la implicación ética de la terapia génica (Hill et al., 1998).

Consideramos que no aparecen suficientes referentes pedagógicos en el currículum oficial y tampoco se hace una mención a modelos didácticos. La referencia a la necesidad de conocer las concepciones del alumnado no prosigue con sugerencias sobre su tratamiento didáctico.

Por otra parte, no vemos con claridad qué concepción de la Ciencia se muestra en el documento ni se hace referencia a la necesaria alfabetización científica como enfoque curricular. A partir de 1995 la revista *Journal of Research in Science Teaching* ha publicado diferentes editoriales dedicados a la alfabetización científica, en sintonía con otra publicación, *International Journal of Science Education*, que también ha iniciado una línea de publicación referida a la responsabilidad social de la ciencia, ciencia y ciudadanía, cambios globales y la implicación de la ciencia y la sociedad. Sin embargo, todo ello no ha calado en la administración educativa catalana.

Marco-Stiefel (2000), tiene la certeza de que un currículum de Ciencias capaz de asegurar la alfabetización científica debería considerar:

- Los conocimientos científicos y sus aplicaciones.
- Las estrategias y habilidades científicas.
- Las interacciones y el desarrollo de la ciencia y la tecnología.
- Las preocupaciones filosóficas y sociológicas en torno a los métodos científicos y al conjunto de las actividades científicas.

Por tanto, una persona alfabetizada científicamente debería:

- Tener la capacidad de leer artículos de periódicos sobre ciencia.
- Tener la posibilidad de involucrarse en discusiones sobre temas científicos.

- Ser capaz de documentarse por sí misma.
- Leer e interpretar gráficos.

Desde nuestra perspectiva, el papel del profesorado de Ciencias no ha de ser un mero transmisor de conocimientos científicos y tampoco debe limitarse a la aplicación de modelos constructivistas del proceso de enseñanza-aprendizaje. Ha de ser un comunicador de la Ciencia que permita generar un criterio y una opinión en el alumnado a partir de sus propias ideas y su adaptación a las concepciones científicas actuales. Debe permitir la formación y el estímulo de un espíritu crítico y además ha de ser capaz de formar ciudadanos científicamente cultos.

Estamos absolutamente de acuerdo con las orientaciones del currículum tipo CTS (Caamaño, 2003) y con el establecimiento de una relación continua entre los aspectos trabajados en clase y con aquello que el alumno puede encontrarse de forma habitual en su vida cotidiana. De manera específica, la enseñanza de la genética creemos que ha de tener este tipo de orientación dada la proximidad de algunos de los aspectos que saltan a los medios de comunicación, a los temas propios de una unidad didáctica de genética.

Consideramos que la enseñanza de las ciencias en general y de la genética en particular ha de acercarse a situaciones próximas al alumnado, de manera que se puedan plantear actividades con las que el alumno se encuentre familiarizado.

Estamos convencidos de la importancia de la alfabetización científica y de que es en la Educación Secundaria Obligatoria donde el profesorado de ciencias ha de incidir con mayor intensidad. Coincidimos con Membrera (2002) cuando afirma que “la alfabetización científica puede servir de base para un currículo de ciencias equilibrado, que compagine la preparación de algunos estudiantes para futuras profesiones científicas y tecnológicas con una formación científica de toda la población”. En el mismo sentido se manifiestan Furió et al. (2001).

Sin embargo, uno de los problemas que se plantea en las aulas de ciencias es que los profesores son licenciados en alguna especialidad científica o técnica, con una alta formación en sus respectivas especialidades, pero con poca preparación para ejercer como profesor. Con esta situación el alumno es formado como futuro estudiante de licenciatura científica y no como ciudadano formado científicamente (Vilches et al., 2004).

Nos preguntamos si la concepción oficial de lo que ha de ser un currículum de Ciencias que hemos descrito anteriormente puede tener alguna cosa que ver con la progresiva pérdida de interés de los estudiantes en ciencias. El hecho de que el número de estudiantes de Bachillerato de la modalidad de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud ha disminuido de forma progresiva en los últimos años, ha de producirnos inquietud. Queríamos acabar este apartado con unas palabras de Jiménez Aleixandre (2003): “Las ciencias, como toda la

enseñanza, deben formar parte de la preparación para la vida real, y nuestro objetivo en clase es que el alumnado aprenda a usar los conocimientos científicos, en otras palabras, que aprenda a pensar científicamente”

1) Objetivos generales del currículum de Ciencias de la Naturaleza

De entre los 10 Objetivos Generales de Etapa establecidos en el currículum oficial de Ciencias de la Naturaleza por el Departament d'Educació de la Generalitat de Catalunya (DEGC, 2002), tan solo dos pueden ser de aplicación en la enseñanza de la genética. Estos dos objetivos son absolutamente generalistas y por tanto serían también válidos para otras ramas de las ciencias. Son los siguientes:

Objetivo IV. Iniciarse en el proceso de experimentación científica, aprendiendo con la observación, la clasificación, el planteamiento de hipótesis, la recogida y transformación de datos, utilizando de forma adecuada el instrumental científico, y extraer conclusiones y comunicarlas.

Existe consenso entre los investigadores en didáctica de las ciencias de que entre las actividades de enseñanza de la ciencia tiene un importante papel la resolución de problemas y los trabajos prácticos (AA.VV., 1994; Del Carmen, 2000; Oñorbe, 2003; Caamaño, 2003). Con frecuencia, las actividades prácticas consisten en la comprobación de un proceso en el que el profesor informa del procedimiento a seguir e incluso insinúa o explica claramente los resultados esperados. Este tipo de trabajo conduce a un seguimiento mecánico de pasos sin que ningún pensamiento sea aplicado, con lo que el grado de comprensión es mínimo (Miguens y Garrett, 1991). Las orientaciones de las investigaciones en didáctica de las ciencias van dirigidas a que el alumno participe de una forma más activa y las experiencias se aproximen a un conocimiento de la ciencia y sus procedimientos (González Eduardo, 1992). La resolución de problemas teóricos y de problemas prácticos en el contexto de la vida cotidiana planteados a modo de investigación constituyen una de las orientaciones recogidas con más frecuencia en la bibliografía (Caamaño, 2003).

Según Hodson (1992) los trabajos prácticos han de abarcar tres aspectos: 1) aprender ciencia, 2) aprender sobre la ciencia y 3) hacer ciencia. Esto implica la detección del problema a estudiar, el planteamiento de hipótesis, el aislamiento de variables y el diseño de un protocolo experimental que permita comprobar las hipótesis formuladas.

Ahora bien, uno de los problemas consiste en la diferente visión de la ciencia que existen y que tienen los profesores. Desde la visión empirista, pasando por la dogmática, la socialmente neutra, la exclusivamente analítica, hasta la individualista o la elitista, todas pueden encontrarse en el aula o incluso en los libros de texto (Gil y Martínez Torregrosa, 1999). Algunas de estas formas de entender la ciencia pueden ser compatibles con la idea de “hacer ciencia” y otras no lo son. Gil y Martínez Torregrosa (1999) consideran que para poder

evaluar si realmente se está haciendo ciencia debemos contestar a las siguientes preguntas:

1. ¿Se plantean situaciones problemáticas abiertas?
2. ¿Se reflexiona sobre el posible interés de las situaciones propuestas?
3. ¿Se plantean análisis cualitativos significativos?
4. ¿Se plantea la posibilidad de la emisión de hipótesis?
5. ¿Se plantea la elaboración de estrategias para poner a prueba las hipótesis?
6. ¿Se hace un análisis detenido de los resultados?
7. ¿Se extraen implicaciones CTS?
8. ¿Se presta atención a la comunicación?
9. ¿Se consideran todas las posibles perspectivas del problema?

Siguiendo las reflexiones anteriores, podemos considerar que la resolución de un problema como un trabajo práctico es perfectamente válida y de aplicación en el campo de la genética. La resolución de problemas de genética reúne los requisitos indicados anteriormente y encaja con el objetivo general IV del currículum. Estamos de acuerdo con Miguens y Garrett (1991) cuando dicen que "si aceptamos un acercamiento constructivista a la enseñanza y aprendizaje de la ciencia, las investigaciones, proyectos o actividades de resolución de problemas, los estudiantes los sentirán como problemas reales [...] dándoles justamente una gran parte de la responsabilidad en las actividades de aprendizaje. Esto es totalmente compatible con el necesario compromiso activo del que aprende en construir y generar explicaciones sobre el mundo". Una de las actividades que ayudan a construir conceptos sobre genética son los problemas, ligados al conocimiento de la estructura del material hereditario y de los mecanismos de división celular como la meiosis.

Muchos de los problemas de genética que se plantean en los libros de texto de Educación Secundaria facilitan un modelo de herencia conocido y los alumnos pueden resolverlos con facilidad una vez han aprendido el algoritmo que lleva a su resolución. Este tipo de problema llamado de causa-efecto no permite la aplicación de conocimientos y puede ser resuelto aun desconociendo la razón científica del hecho (Stewart, 1983).

El planteamiento de problemas en los que no se conozca el modelo de herencia permite un razonamiento hipotético-deductivo y la aplicación de unos conocimientos sobre la naturaleza del material hereditario y los mecanismos de su transmisión (Ayuso et al., 1996). La resolución del problema no finaliza con la obtención de un dato, sino que ha de justificarse y razonarse el resultado,

con lo que es necesario que el alumno desarrolle habilidades en la comunicación oral o escrita de las conclusiones.

Objetivo V. Expresar oralmente y por escrito las observaciones realizadas y las explicaciones generadas, aplicando adecuadamente las diferentes tipologías textuales características de la comunicación científica, como son la descripción, la justificación, la definición y la argumentación, y demostrar conocimiento de la terminología científica y de la simbología básica.

Es bien cierto que hasta que los resultados de una investigación o descubrimiento científico no son comunicados, no pasan a formar parte de la comunidad científica y del saber. Haciendo un paralelismo en el campo de la enseñanza de las ciencias, basada en la construcción activa de significados por parte de alumnado, la comunicación de las experiencias y de los resultados de problemas planteados ha de ser una parte importante del proceso de enseñanza-aprendizaje. En este sentido, Díaz y Jiménez (1999) afirman que se induce a una mayor comunicación en las actividades de tipo resolución de problemas que en las experiencias de tipo manipulativo en el laboratorio.

Cuando en el apartado anterior hablábamos de la alfabetización científica, también pensábamos en la necesidad de que los estudiantes de secundaria sean capaces de expresar oralmente o por escrito sus observaciones, las conclusiones a las que han llegado en una actividad práctica o de resolución de problemas y también en la declaración de sus posturas sobre los asuntos que se traten.

El papel del lenguaje es fundamental en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias, ya que en ocasiones no es fácil la distinción entre lenguaje cotidiano y lenguaje científico. El profesor de ciencias ha de transmitir conocimientos y ha de permitir que los alumnos construyan significados a través de diferentes formas de lenguaje: el lenguaje simbólico, usado por ejemplo en genética, el lenguaje figurado a través de metáforas y analogías, el lenguaje de las imágenes a través de dibujos, esquemas, o fotografías y el lenguaje oral a través de la explicitación de conceptos.

Es necesario dotar de recursos al alumnado para que sean capaces de razonar y justificar sus conclusiones a partir de los datos que puedan ser facilitados por el profesorado o bien obtenidos por ellos mismos. Además de aprender significativamente los conceptos implicados en el proceso en estudio, han de ser capaces de escoger entre las diferentes opciones que se deriven y razonar los criterios que permiten tomar la más adecuada (Jiménez Aleixandre, 2003).

Algunos estudios abordan diferentes estrategias orientadas a la argumentación en clase de ciencias, como en el caso de temáticas ambientales (Sardà, 2001), en química (Solsona, 2001), o en biología (Custodio y Sanmartí, 1997; Sardá y Sanmartí, 2000).

En genética es fundamental que el lenguaje simbólico sea perfectamente conocido por el alumnado, ya que la resolución de problemas necesita un aplicación correcta de los símbolos establecidos (Valadé del Río, 1999). Los

términos científicos propios de la genética pueden llevar a error o a confusión, como gen y alelo, tal y como vimos en el capítulo 2. El resultado de los problemas de genética debe ser justificado y razonado, lo que nos indicará la existencia de una verdadera comprensión de los mecanismos implicados y un aprendizaje verdaderamente significativo. Una propuesta interesante en el campo de la comunicación de la genética es la que García y Sanmartí (2001) nos ilustran, referida a cómo los alumnos explican sus predicciones sobre los resultados de la resolución de problemas y la argumentación de determinados textos y situaciones.

2) Objetivos terminales del currículum de Ciencias de la Naturaleza

Los Objetivos Generales de la etapa de Educación Secundaria Obligatoria que han sido comentados en el apartado anterior, pueden desarrollarse y concretarse en los Objetivos Terminales definidos por el Departament d'Educació de la Generalitat de Catalunya.

Los 70 Objetivos Terminales del área de Ciencias de la Naturaleza comprenden aspectos procedimentales, actitudinales y conceptuales. Estamos de acuerdo con la mayoría de los Objetivos Terminales de carácter procedimental y actitudinal prescritos, ya que se acercan a los planteamientos sobre lo que debería ser la actividad científica en el aula y que hemos descrito en apartados anteriores. Sin embargo, discrepamos en algunos aspectos y muy especialmente en los objetivos conceptuales. A continuación comentaremos los objetivos que se relacionan con la enseñanza de la genética:

Objetivo III. Extraer las ideas básicas de textos y vídeos científicos y de simulaciones interactivas por ordenador y analizar la información obtenida de esquemas, dibujos, fotografías, mapas topográficos y meteorológicos, modelos y maquetas.

El uso de material escrito es imprescindible para complementar todo el proceso de enseñanza-aprendizaje y el alumnado ha de ser capaz de obtener de forma precisa la información. Dicha información puede ser mostrada en diferentes formatos y no siempre en forma de texto, sino como esquemas y gráficos, de vital importancia para conocer la naturaleza del material hereditario, para la resolución de problemas a partir de árboles genealógicos, etc. Permitir a los alumnos obtener información a partir de simulaciones por ordenador es una práctica cada vez más habitual en el aula de ciencias, de manera general y en el campo de la genética en particular (Muñoz, 1997; Llorca y García, 1997; Puigcerver, 2003). En el capítulo 4 detallaremos nuestra propuesta didáctica, que contempla el uso de modelos como soporte didáctico para la enseñanza de la naturaleza del material hereditario (Pashely, 1994b), tal y como sugiere el currículum oficial.

Objetivo VII. Confeccionar una pauta de trabajo experimental para la resolución de un problema o comprobación de una hipótesis con la posterior realización y discusión del experimento diseñado

Este Objetivo Terminal se ajusta a las propuestas actuales que los investigadores en didáctica de las ciencias hacen sobre la orientación de la resolución de problemas y los trabajos prácticos. En apartados anteriores hemos hecho referencia a la necesidad de este tipo de planteamientos didácticos, compartiendo la opinión de diferentes autores (Hodson, 1992; Perales, 2000; Del Carmen, 2000; Oñorbe, 2003). En el campo de la genética también es de aplicación este objetivo, ya que la resolución de problemas en los que el alumnado no conozca el modelo de herencia, sino que deba plantearse hipótesis sobre la forma en la que se heredan los caracteres que se les plantean, requiere el desarrollo y la puesta en práctica de procedimientos hipotético-deductivos. (Johnson y Stewart, 1990; Slack y Stewart, 1990).

Objetivo IX. Interpretar y elaborar listas ordenadas, tablas de doble entrada, esquemas, diagramas, dibujos, representaciones gráficas de una variable, manual e informáticamente, con diagramas de barras y sectores, histogramas, gráficos cartesianos u otros tipos de gráficos.

Coincidimos con el legislador en la importancia que tiene saber trabajar con gráficas, saber interpretarlas y tener los recursos para poder confeccionarlas. Estas habilidades formarían parte de un tipo de lenguaje científico que el alumno ha de dominar (Jiménez Aleixandre, 2003).

Objetivo X. Resolver problemas numéricos sencillos relacionados con algunos contenidos, con la posterior discusión sobre la coherencia del resultado, utilizando correctamente las unidades de magnitud de acuerdo con el sistema internacional y también otras unidades de uso cotidiano.

El más claro ejemplo de aplicación de este objetivo consiste en la resolución de problemas de genética. Tal y como describen Stewart (1983) y Ayuso et al. (1996), muchos estudiantes aprenden a resolver los problemas de genética que se les plantean aplicando un sencillo algoritmo, pero raramente relacionan el resultado con su significado biológico. Por otra parte, los resultados que se obtienen en problemas de este tipo se refieren a porcentajes de descendencia con determinado genotipo o fenotipo que carecen de significado para el alumnado. De la misma manera, las proporciones de fenotipos obtenidos en un determinado cruce, como por ejemplo el resultante de cruzar dos individuos heterocigotos (1:2:1, en caso de herencia autosómica para un carácter), no es fácilmente comprendido, tal y como nuestra propia experiencia docente nos dice y como queda recogido por otros autores (Smith y Good, 1984; Stewart y Van Kirk, 1990, Ayuso y Banet, 1997).

Es necesario que los problemas no se limiten a un sencillo cálculo, sino que se ha de interrogar al alumnado sobre el significado y la coherencia del resultado. Las investigaciones en didáctica de la genética y de la resolución de problemas nos muestran cómo los alumnos pueden resolver correctamente un problema pero no dar una explicación conceptual satisfactoria ni relacionar el resultado con el proceso de la meiosis.

Objetivo XI. Participar en debates, realizar exposiciones verbales, escritas o visuales, resumir oralmente y por escrito el contenido de una explicación oral o

escrita sencilla, utilizando el léxico propio de las ciencias experimentales y teniendo presente la corrección de la expresión.

El Objetivo General V del currículum oficial constituye una generalización de este Objetivo Terminal. Coincidimos con la necesidad de que los alumnos verbalicen el resultado de las experiencias o de los problemas planteados, así como que sean capaces de manifestar su postura ante las implicaciones éticas y sociales de las aplicaciones de la biotecnología. Deben ser capaces de comprender e interpretar textos suministrados en clase por el profesorado y artículos de prensa o noticias en los medios de comunicación audiovisuales referidos a aspectos de genética o sus aplicaciones en medicina, agricultura u otros campos de la actividad humana.

Este proceso tiene como referente la necesidad de alfabetización científica de la población, que tiene un papel protagonista en la Educación Secundaria (Marco-Stiefel, 2000). La práctica de los debates en clase permite que los alumnos tengan que justificar y argumentar sus posturas, bien a través de discusiones clásicas entre el grupo o bien a través de ejercicios de "role-playing" (Íñiguez, 1997) y en el campo de la genética destacaríamos el trabajo de Garvin y Stefani (1993). Ahora bien, la necesidad de argumentar y justificar las posturas del alumnado no tienen porqué ser siempre orales, sino que también deben hacerse también por escrito (Sardà y Sanmartí, 2000; Pugliese, 2002). En este sentido, echamos de menos en la formulación del Objetivo Terminal XI la no referencia al proceso de argumentación, tan importante en el proceso de enseñanza de las ciencias. Coincidimos con Pugliese (2002) cuando dice que " aprender a argumentar científicamente resulta útil para los estudiantes, no sólo en la medida que mejora el proceso de aprendizaje de las ciencias a través de la aplicación de los conocimientos que va adquiriendo, sino también porque suscita [...] un espíritu crítico basado en el conocimiento de los aspectos que caracterizan una discusión seria y bien fundamentada".

Objetivo XIII. Interrogarse ante los fenómenos y hechos para buscar su explicación científica, rechazando explicaciones supersticiosas o míticas, y valorar las soluciones históricas dadas por la ciencia a problemas planteados por los humanos y las soluciones tecnológicas que mejoran nuestra calidad de vida.

Aunque este objetivo es eminentemente actitudinal, consideramos que se requiere alcanzar un nivel conceptual determinado para poder alcanzarlo en su totalidad. Las aplicaciones de la biotecnología, la clonación, las investigaciones en biología molecular, el uso de las terapias génicas y los métodos de reproducción asistida y diagnóstico prenatal deben ser tratadas en una secuenciación de contenidos de genética para poder permitir que el alumnado valore sus aplicaciones.

La mejor forma de poder opinar y tener criterio sobre un tema es conocerlo y el papel del profesorado de ciencias y del de genética en particular es fundamental. En este sentido, López (2001) muestra, en un trabajo sobre actitudes y valores sobre el cuidado del agua, cómo estudiantes con mayores

conocimientos conceptuales son capaces de proporcionar propuestas más razonadas para mejorar el medio ambiente.

En el campo de la genética podemos señalar el trabajo de Chen y Raffan (1999) sobre las actitudes de estudiantes de Reino Unido y Taiwan sobre las aplicaciones de la biotecnología en la agricultura y en la industria alimentaria en dos muestras, una formada por estudiantes de biología y otra por otros alumnos de otros ámbitos de conocimiento. A modo de resumen podemos decir que globalmente se valoraba positivamente el papel de la biotecnología en la mejora de las condiciones de vida de los humanos, si bien detectaron que un elevado porcentaje de los alumnos que no estudiaba biología no sabía si la introducción de genes animales en plantas podría hacer desarrollar caracteres animales, mientras que en los alumnos con mayor formación respondieron correctamente y además sus actitudes eran más propensas a considerar positivamente el papel de la ingeniería genética.

Objetivo XXX. Enunciar los rasgos fundamentales de la teoría celular y de las partes de la célula eucariota y relacionar el intercambio de materia-energía con las mitocondrias y los cloroplastos

Como ya hemos comentado con anterioridad, algunos estudios han mostrado que muchos alumnos desconocen que todos los seres vivos están formados por células (Gené, 1982; Caballer y Jiménez, 1992; Banet y Ayuso, 1995). En dichos estudios se pone de manifiesto que un porcentaje elevado de estudiantes no considera que los vegetales o los hongos estén formados por células e incluso algunos animales o tejidos humanos (como el óseo) tengan células.

Coincidimos con Banet y Ayuso (2002) cuando proponen que el estudio de la herencia ha de iniciarse a partir de considerar que los seres vivos están formados por células y que es en ellas donde reside el material hereditario.

Consideramos que la formulación de este Objetivo Terminal da por sentado que todos los alumnos conocen que los seres vivos están formados por células y que se debe insistir en el desarrollo de las características de la teoría celular. Notamos la falta de correlación entre las investigaciones en didáctica de las ciencias biológicas y el currículum oficial. Esta falta de sintonía se hace más evidente en los libros de texto, que se centran en la exposición de conceptos sin tener en cuenta qué saben los estudiantes cuando llegan al aula.

Objetivo XLVI. Explicar la composición y función de los cromosomas y la conservación de su número en el individuo, la especie, y los mecanismos que rigen la herencia en el ser humano, y asociar Mendel a los primeros estudios científicos sobre genética.

En todo el currículum oficial del Departament d'Educació de la Generalitat de Catalunya, éste es el único objetivo conceptual que hace referencia a la composición, función y transmisión del material hereditario. Hacemos ahora una breve referencia a algunos aspectos que consideramos criticables:

1. Se refiere a la composición y función de los cromosomas sin hacer mención a la necesidad de integrarlo en el contexto celular y su relación con otras estructuras biológicas implicadas en la herencia.
2. Al referirse a la conservación de su número en el individuo y la especie, se habla implícitamente de meiosis, aunque no se hace referencia al otro gran proceso de división celular, la mitosis.
3. No se hace referencia a aspectos importantes como mutación o biotecnología.
4. Se propone el estudio de Mendel, cuando su comprensión en Educación Secundaria Obligatoria es cuestionable, tal como sugieren Banet y Ayuso (2002), que proponen su estudio en etapas más avanzadas.

Consideramos que este tipo de planteamiento puede dificultar un aprendizaje significativo de la herencia, ya que no contempla aspectos que en nuestra opinión son imprescindibles y porque puede hacer tender a un modelo de enseñanza tradicional.

3.2. ANÁLISIS DE LOS LIBROS DE TEXTO

En nuestra opinión, la formulación oficial que se da a los objetivos relacionados con el conocimiento de la naturaleza del material hereditario que se deben alcanzar al finalizar la Educación Secundaria Obligatoria, hace pensar en una enseñanza de la genética de manera clásica sin tener en cuenta aspectos de la investigación en didáctica de la genética. Esto se traduce en unos libros de texto confeccionados de manera tradicional, sin prever actividades ni enfoques que ayuden a los alumnos a construir por sí mismos los significados. Por otra parte, se han ceñido de manera casi exclusiva en los conceptos sin dar mucha importancia a aspectos procedimentales y actitudinales. Coincidimos con Nieda (2001) cuando afirma que en los libros predominan estudios sistemáticos y taxonómicos y son escasos los planteamientos de problemas, experiencias de investigación o alusiones a actitudes científicas.

En este apartado queremos hacer un análisis de algunos de los libros de texto más usados en los institutos de Catalunya. Hemos analizado mayoritariamente libros que se publicaron durante la vigencia del currículum de 1992, ya que era durante esa época en la que tuvo lugar nuestra investigación. Sin embargo, también hemos querido echar un vistazo a libros actuales que se encuentran en el marco legal del currículum de 2002.

Se han llevado a cabo diversos trabajos en los que se hace una revisión de los libros de texto y algunas recomendaciones para su análisis (Del Carmen y Jiménez, 1997; Izquierdo y Rivera, 1997; Jiménez Valladares, 2000). También podemos encontrar en la bibliografía diversos estudios en los que se analizan libros de texto de diferentes ámbitos de la ciencia y desde diferentes perspectivas: en algunos se hace un repaso de cómo abordan la resolución de

problemas y los ejercicios prácticos (Gené y Gil, 1982; Tamir y García Rovira, 1992; Jiménez Aleixandre, 1994), en otros se detectan errores conceptuales (Cho et al., 1985; García Cruz, 1990; Jimeno, 1999) y en otro tercer grupo se analizan los gráficos y dibujos (Kersey y Turner, 1999; Valadé del Río, 1999; Jiménez Valladares y Perales, 2004).

Sin embargo, no hemos encontrado un patrón común en todos estos trabajos que permita un análisis extrapolable. En el ámbito de la herencia encontramos los referentes de Cho et al. (1985), García Cruz (1990) y Jiménez Aleixandre (1994) y tampoco presentan una pauta clara en el estudio de los libros de texto. Por esta razón, nosotros proponemos un esquema que recoge las aportaciones de diversos autores y presta especial atención en averiguar si las editoriales han tenido en cuenta los principios del constructivismo y las recomendaciones de las investigaciones en didáctica de la genética en la elaboración de los libros.

3.2.1. Método de análisis de los libros de texto

Para estudiar cómo diferentes libros de texto abordan el estudio de la herencia, hemos utilizado los materiales producidos por algunas de las principales editoriales que radican en Catalunya. Sobre un total de nueve textos, seis corresponden al período de vigencia del currículum derivado de la LOGSE (DEGC, 1992) y tres corresponden al momento actual (DEGC, 2002).

Los libros analizados corresponden a segundo ciclo de la ESO y son los siguientes:

a) Decreto 96/1992 (LOGSE)

Ecir, 1994
Teide, 1995
Santillana, 1995
Edebé, 1996
Cruïlla(SM), 1998
McGraw-Hill, 2000

b) Decreto 179/2002:

Cruïlla (SM), 2002
Barcanova, 2002
Teide, 2002

Con el fin de obtener una visión del contenido de los textos hemos diseñado una pauta concretada en forma de preguntas. Estas cuestiones nos permitirán conocer si siguen principios constructivistas o tienen en cuenta las principales recomendaciones en investigación en didáctica de la genética, que fueron comentadas en el capítulo 2.

A continuación presentamos las preguntas que se iban contestando al analizar cada texto:

- 1) ¿Se proponen preguntas o actividades para detectar concepciones alternativas?
- 2) ¿De qué manera se inicia el tema?
- 3) ¿Se hace referencia a la ubicación de la información genética?
- 4) ¿Se explica la relación existente entre ADN, cromosomas y los genes?
- 5) ¿Se define correctamente gen y alelo?
- 6) ¿Se relaciona la meiosis con la segregación de cromosomas y alelos?
- 7) ¿Se relaciona el procedimiento de resolución de problemas con la meiosis?
- 8) ¿Qué tipos de problema se plantea?
- 9) ¿Se proponen problemas de genética humana?
- 10) ¿Se explican las leyes de Mendel con detalle?
- 11) ¿Los dibujos son claros?, ¿Están realizados con el mismo criterio?, ¿Complementan las explicaciones del texto?
- 12) ¿Qué conceptos de genética se definen?

3.2.2. Resultados del análisis de los libros de texto

Antes de mostrar los resultados queremos dejar claro que en ningún momento hacemos una referencia expresa a las editoriales, ya que nuestro objetivo no es poner en evidencia los déficits o logros de un libro determinado, sino obtener una visión general del material impreso que se distribuye y utiliza en las aulas.

1) ¿Se proponen preguntas o actividades para detectar concepciones alternativas?

En todos los textos se formulan preguntas sobre aspectos relacionados con la herencia antes de iniciar el desarrollo del tema. En cuatro libros se plantea una única cuestión relacionada con la estructura y ubicación del material hereditario:

1. ¿Qué papel tienen los genes en la herencia?
2. ¿En qué estructura de la célula se localiza la información hereditaria?

3. ¿Qué es un cromosoma?

4. ¿Qué función tienen los cromosomas?

El resto de cuestiones que se plantean en los textos no se encaminan a la detección de concepciones alternativas, ya que incluso alguna requiere la existencia de prerequisites conceptuales, cuando interrogan sobre el número de cromosomas de la especie humana o las diferencias entre mitosis y meiosis.

En los otros cinco libros se plantean situaciones problemáticas que los alumnos deben contestar. Se espera que a través de las respuestas que se den el profesorado debe detectar las ideas del alumnado sobre cómo se transmite la información hereditaria. Algunas de las situaciones planteadas:

1. Planteamiento del experimento clásico de Weissmann sobre las colas de los ratones.
2. Situación en la que un padre se ha quemado el brazo y se pregunta si su hijo tendrá el brazo afectado.
3. Situación en la que una madre se hizo una rinoplastia después de tener un hijo. El hijo tiene una nariz igual a la de la madre antes de la operación y se pregunta que por qué no se operó antes de haber nacido él. Se pide al alumnado que comente y dé su opinión.

Consideramos que estas situaciones planteadas y otras referidas a la transmisión de caracteres en humanos y otras especies, pueden facilitar la reflexión y la aparición espontánea de ideas en el aula. Sin embargo, en los textos en los que plantean una sola pregunta creemos que no puede dar información global sobre las preconcepciones del alumnado. Por otra parte, no se dirigen a provocar la afloración de aquellos posibles problemas detectados por diversos investigadores (Radford y Bird-Stewart, 1982; Longden, 1982; Banet y Ayuso, 1995, entre otros).

2) ¿De qué manera se inicia el tema?

En cinco de los libros analizados se inicia la unidad dedicada al estudio de los mecanismos de la herencia con la diferenciación entre caracteres heredables y caracteres que pueden ser influidos por el ambiente. También se habla de la variabilidad dentro de una especie y a qué puede ser debida dicha variabilidad.

Nos gustaría destacar la actividad que se plantea en uno de los textos referente a las diferentes formas de las uñas. Los autores sostienen que la diferente forma de las uñas es un carácter hereditario en los humanos pero que el tipo de actividad laboral o física que se realice puede modificarla sin por ello transmitirse a la descendencia. En este tipo de planteamientos pueden aparecer conflictos en el alumnado que es necesario tratar, ya que son de vital importancia para la comprensión de la genética y el de los mecanismos de la evolución que se trabajarán a posteriori.

Dos textos inician la unidad con el estudio de Mendel y de los experimentos y las leyes que se derivan. Consideramos que no es acertada esta secuencia de contenidos, en coincidencia con lo que plantean Banet y Ayuso (1995), tal y como comentaremos más adelante.

En uno de los textos se inicia la unidad abordando directamente la naturaleza del material hereditario y su localización en las estructuras celulares correspondientes. A medida que se introducen los conceptos de gen y cromosoma se procede a la localización en la célula y a su posible relación. Consideramos que este tipo de planteamiento requiere que los alumnos tengan suficiente conocimiento de la estructura celular y, sobretodo, que sepan que todos los seres vivos poseen información hereditaria, cosa que en el texto no aparece claramente. Es bien conocida la creencia del alumnado, según la cual determinados seres vivos (plantas, hongos, algunos invertebrados) no tienen células, ni genes, ni cromosomas (Banet y Ayuso, 1995; Wood-Robinson et al., 1998).

Finalmente, en el noveno libro en estudio se empieza hablando de reproducción sexual y asexual. Se enlaza el proceso de reproducción sexual con el de fecundación y a partir de aquí con la necesidad de la existencia de gametos. Para acabar el primer apartado de la secuencia, plantea las diferencias entre meiosis y mitosis.

A nuestro juicio, este último planteamiento permite introducir de forma casi espontánea la meiosis, si bien exige al alumnado prerrequisitos que no es claro que posean.

3) ¿Se hace referencia a la ubicación de la información genética?

En cinco textos se define y ubica el material hereditario acompañando un dibujo. La riqueza, complejidad y calidad de los dibujos son dispares. En un caso aparece dibujado un cromosoma metafásico pero en ningún momento se indica qué es lo que aparece representado. En otro caso se detalla tanto que se relaciona la presencia de un determinado alelo con la síntesis de una proteína, algo que a nuestro juicio es innecesario en esta etapa escolar y además puede inducir a errores.

En dos de estos textos se informa que los cromosomas únicamente se hacen visibles durante la división celular. Consideramos muy positiva esta aclaración, ya que la mayor parte de representaciones de los cromosomas se hace situándolos dentro del núcleo.

En tres libros se explica la localización del material hereditario pero no se acompaña de ningún dibujo, lo que consideramos criticable. En nuestra opinión, un alumno de Educación Secundaria Obligatoria, que tal vez no tenga clara la estructura celular, difícilmente será capaz de comprender la ubicación de un material que desconoce sin una representación gráfica.

En un caso no se hace ninguna mención a dónde reside la información hereditaria. Es evidente que no puede contemplarse el estudio de la herencia sin saber qué naturaleza tiene ni dónde se encuentra.

4) ¿Se explica la relación existente entre ADN, cromosomas y los genes?

En todos los libros analizados detectamos poca claridad en establecer una relación clara entre la molécula de ADN, los cromosomas y los genes. Aparecen expresiones que pueden incluso ser contradictorias (un texto ubica el gen en el núcleo y más adelante dice que se encuentran en los cromosomas, pero no ha explicado esta relación de forma precisa). Consideramos que tener clara la estructura del material hereditario y su ubicación en la célula permitirá al alumnado conocer los mecanismos de la herencia y poder resolver los problemas que se pudieran plantear.

En cinco de los libros estudiados, el texto se acompaña de ilustraciones que a nuestro juicio no son clarificadoras de los conceptos en estudio. El criterio para la realización de una misma estructura no es el mismo en dos de los textos (en ocasiones aparecen cromosomas con dos cromátidas y en otros momentos con una sola cromátida) e incluso hemos detectado un error conceptual en uno de los dibujos (sitúa de forma inadecuada los cromosomas en la célula).

En tres libros se habla de la relación entre estas estructuras pero sin ser acompañadas de dibujos. En uno de estos textos da por sentado que el alumno tiene conocimientos que no han sido explicados, concretamente habla de la mitosis dando por entendido que el alumno ya conoce este proceso.

En un libro no se hace referencia a la relación existente entre dichas estructuras, cosa que a nuestro entender es reprochable. Se da la circunstancia que corresponde a la misma editorial referida en la cuestión anterior y que tampoco comentaba la situación del material hereditario.

5) ¿Se define correctamente gen y alelo?

La confusión entre gen y alelo es uno de los errores conceptuales más extendidos en el estudio de la genética, tanto entre el alumnado, como entre el profesorado y en los libros de texto (Brown, 1980; Longden, 1982; Cho et al., 1985; Collins y Stewart, 1989; Pashley, 1994a).

En nuestro estudio coincidimos con los resultados obtenidos por los investigadores citados, ya que sólo 2 de los 9 libros estudiados definen correctamente la relación entre gen y alelo. En tres de ellos ni aparece definido el concepto de alelo, en dos hay confusión total y en otros dos la definición o bien no es clara o es contradictoria con el ejemplo que proponen.

Una definición incorrecta detectada es: "Cada gen del par que hay para un carácter recibe el nombre de alelo"

Una definición correcta presente en un texto es: "...el carácter de las semillas está controlado por un gen que puede presentar dos posibilidades. Las

diferentes posibilidades existentes en relación con la información genética que contiene un gen recibe el nombre de alelo”.

En algún caso hemos detectado definiciones poco claras con ejemplos acertados: “Los genes que controlan cada variante de un mismo carácter se llaman genes alelos o simplemente alelos. Por ejemplo, para el gen del carácter *color de ojos* existen dos alelos distintos: *ojos claros* y *ojos oscuros*”.

Por tanto, consideramos necesaria la revisión de los textos en este punto, ya que no se trata de planteamientos didácticos más o menos acertados, sino de errores conceptuales que se transmiten al alumnado.

6) ¿Se relaciona la meiosis con la segregación de cromosomas y alelos?

Tan solo en cinco textos se hace referencia a la meiosis como mecanismo celular que permite la obtención de gametos, aunque en uno de ellos no se la nombra explícitamente. En uno de ellos se concretan incluso los mecanismos de espermatogénesis y ovogénesis como procesos formadores de gametos en ambos sexos. En los otros dos textos se hace referencia al ciclo diplonte y, por tanto, se relaciona mitosis, meiosis, gametos y fecundación.

Consideramos importante la introducción de la meiosis en este nivel educativo aunque sin entrar a especificar sus fases e insistiendo en su papel a la hora de la formación de gametos. Sin embargo, sólo en tres de los textos que hablan de meiosis, se especifica el proceso de segregación de alelos. Este proceso es muy importante para poder resolver problemas de manera razonada y comprensiva, sin aplicar un simple algoritmo (Stewart y Van Kirk, 1990; Ayuso et al., 1996; Ayuso y Banet, 2002).

7) ¿Se relaciona el procedimiento de resolución de problemas con la meiosis?

Ya hemos comentado en el capítulo 2 que la resolución de problemas es una de las líneas de investigación en didáctica de la genética. Por tanto, consideramos fundamental el estudio y la resolución de problemas de diferentes tipos. Pero dada la estrecha relación que se mantiene con la meiosis, coincidimos con Stewart y Dale (1989) y Kindfield (1994) en la necesidad de establecer estrategias didácticas en la resolución de problemas que tengan presente la meiosis.

Sin embargo, ninguno de los textos estudiados tiene en cuenta estas consideraciones y propone los problemas con estrategias de resolución clásica. Pero lo que aún nos parece más grave es que dos libros ni siquiera proponen problemas.

Dada la importancia de este aspecto hemos concretado más el análisis de los tipos de problemas que se plantean.

8) ¿Qué tipos de problema se plantea?

Las recomendaciones de los investigadores en didáctica de la genética (Stewart et al., 1990; Ayuso et al., 1996; Ayuso, 2000; Ayuso y Banet, 2002,) proponen iniciar la resolución de problemas con ejercicios del tipo causa-efecto, para seguir con problemas tipo efecto- causa sin patrón de herencia facilitado y con pedigríes (ver capítulo 2).

Únicamente en uno de los libros de texto analizados se propone un único problema del tipo efecto- causa, aunque sin pedigrí. En todos los demás casos, los ejercicios propuestos proporcionan el patrón de herencia y pueden resolverse de forma más o menos sencilla aplicando un algoritmo y sin que la resolución correcta implique necesariamente la comprensión de los procesos implicados.

9) ¿Se proponen problemas de genética humana?

Para facilitar y acercar las situaciones problema al alumnado se propone el uso de caracteres de la especie humana (pelos en la segunda falange, lóbulo de la oreja, etc.). Era tradicional el uso de especies y caracteres desconocidos por el alumnado, como la *Drosophila melanogaster*, *Myrabilis jalapa*, etc.

Se han encontrado problemas de herencia humana en cinco de los libros estudiados, si bien en dos de ellos tan solo se proponía uno de este tipo. La mayor parte de los ejercicios planteados se referían a albinismo y grupo sanguíneo ABO, además de alguno sobre daltonismo, fibrosis cística y capacidad de enrollar la lengua.

Aunque los problemas de herencia humana no son los predominantes, sí hay que señalar que los autores han utilizado especies conocidas por el alumnado, como vacas, ratas o gallinas.

10) ¿Se explican las leyes de Mendel con detalle?

Coincidimos con Banet y Ayuso (1995, 2002) en que las leyes de Mendel no se deban estudiar con detalle en el segundo ciclo de Educación Secundaria y menos aún iniciar el estudio de la herencia con los experimentos de los guisantes.

Mientras que solo hay un texto que no hace ninguna referencia a las leyes de Mendel, en todos los demás se habla de Mendel y sus experimentos. Ahora bien, el grado de profundidad es diferente en algunos textos. Mientras que en dos de ellos se hace una referencia superficial y tan solo se habla de la primera y segunda ley, en otros dos se detalla y profundiza en esas dos leyes.

En los cuatro libros restantes se habla de las tres leyes, experimento a experimento, haciendo una referencia histórica y a las hipótesis que se formuló en su momento Mendel. Sin embargo, no se produce una traslación de los resultados obtenidos a los procesos de transmisión de la información hereditaria tal y como la conocemos hoy día. Por ejemplo, no se hace

referencia directa a la meiosis en ningún momento, aunque se hable de los posibles gametos obtenidos.

Como detalle anecdótico destacamos que en cinco libros aparece una imagen de Gregor Mendel.

11) ¿Los dibujos son claros?, ¿Están realizados con el mismo criterio?, ¿Complementan las explicaciones del texto?

En ocasiones, las ilustraciones que aparecen en los textos puede que no sean todo lo clarificadoras que pretenden ser o incluso pueden reforzar determinados errores (García Cruz, 1990; Kearsley y Turner, 1999; Jiménez Valladares y Perales, 2004).

Coincidimos con Jiménez Valladares y Perales (2004) en que los autores tienen unos propósitos didácticos que explican perfectamente en el texto, pero que no se ven complementados de forma satisfactoria por las ilustraciones. Una posible razón que apuntamos es que, en la mayoría de casos, los autores del texto escrito no son los mismos que los ilustradores. Mientras que los primeros son expertos, los segundos han de seguir unas instrucciones sobre temas que no son de su especialidad y, a pesar del asesoramiento imprescindible del autor, puede producirse cierta distancia entre texto e ilustración.

De los nueve libros analizados, consideramos que tan solo uno presenta ilustraciones satisfactorias. Todos los dibujos que realiza siguen el mismo patrón de colores, indica qué es cada estructura, no hay ningún error conceptual ni omisión que pudiera inducir a confusión.

Uno de los libros no tiene ninguna ilustración, cosa que nos parece censurable, ya que algunas estructuras y procesos relacionados con la herencia requieren un soporte gráfico.

En los otros siete libros encontramos diferentes aspectos criticables. En algunos no se indica qué estructura es la que ha sido dibujada o están fuera de contexto. En otros se dibujan cromosomas con dos cromátidas y en otro momento del texto sólo se representa una cromátida. También hay otro libro en el que las cromátidas hermanas se dibujan con colores distintos y no se explica por qué y en otro momento del texto el color no es el mismo. Finalmente, hay que destacar la ausencia de un criterio claro en la selección de las ilustraciones, ya que en algunos libros aparecen dibujos que no aclaran el contenido teórico y no se encuentran esquemas que muestren la naturaleza y ubicación del material hereditario.

En la mayoría de los libros aparecen dibujos en los que se representan cromosomas metafásicos con dos cromátidas dentro del núcleo o bien con una flecha que los sitúa en dicha estructura celular. Consideramos que este tipo de ilustración puede llevar a confusión, ya que los cromosomas son visibles únicamente durante la división celular, cuando el núcleo no se puede distinguir.

12) ¿Qué conceptos de genética se definen?

Para conocer la naturaleza del material hereditario es imprescindible conocer conceptos como gen, dominancia, etc. En la tabla 3.1. hemos indicado el número de libros que hablan sobre cada concepto genético. En nuestra opinión, una buena secuencia didáctica de genética debería contener todos esos conceptos:

Concepto	Nº libros presentes
ADN-Cromosoma-Gen	8
Alelo	6
Homozigoto-Heterozigoto	6
Genotipo-Fenotipo	4
Dominancia-Recesividad	7
Dominancia, pero no recesividad	2
Codominancia	6
Herencia intermedia	5
Herencia del sexo-Cromosomas sexuales	7
Herencia ligada al sexo	4
Haploide-Diploide	2

Tabla 3.1. Presencia de conceptos de genética en los libros de texto analizados

Vemos que los conceptos que tratan la mayoría de libros son los de ADN-Cromosoma y Gen, aunque, sorprendentemente, uno de los textos ni siquiera los nombra. En su lugar, utiliza la expresión *información hereditaria*.

En siete textos se definen los conceptos de dominancia y recesividad, aunque en dos más se habla de dominancia, pero no de recesividad. Sin embargo, en solo seis libros se define alelo (ya vimos anteriormente que no siempre de forma correcta) y en otros seis homocigosis y heterocigosis. Es decir, en algunos libros se están definiendo conceptos que para su comprensión requieren la definición previa de otro.

También echamos en falta en la mayoría de textos los conceptos de haploide y diploide, que consideramos que son necesarios para entender la formación de gametos en la meiosis y su fusión para formar un cigoto que se desarrolla por mitosis.

Ningún libro analizado recoge todos los conceptos relacionados con la herencia que consideramos necesarios conocer en Educación Secundaria Obligatoria.

3.2.3. Conclusiones del análisis de los libros de texto

En general, se proponen algunas actividades iniciales como estrategia de detección de concepciones alternativas, siendo en algunos casos en forma de pregunta y en otros como actividad que intenta generar un conflicto. Sin embargo, algunas de las cuestiones sobre las que se interroga no están en la línea de detectar las concepciones que los alumnos han manifestado y que la bibliografía recoge. Por otra parte, no se plantean actividades que intenten poner en cuarentena las ideas alternativas que los alumnos hayan podido manifestar ni tampoco se observa en los textos un interés en intentar crear un conflicto en el alumnado.

Las secuencias didácticas que se proponen en las diferentes editoriales analizadas tienen muchas similitudes, aunque el orden de la introducción de los conceptos pueda variar. Sin embargo, nos llama la atención que no todos los libros presentan los mismos conceptos de genética (ver tabla 3.1.) y en algunos de ellos echamos en falta algunos que consideramos imprescindibles. La presentación de los contenidos suele ofrecer la posibilidad al profesor de llevar a cabo una práctica en el aula de tipo expositivo, ya que se limitan a la narración de unos hechos científicos. Tan sólo en un caso encontramos una unidad en la que se van planteando situaciones en las que el alumnado ha de participar de manera activa y se le ofrecen actividades en las que se posibilita que vayan aplicando conceptos científicos. Sin embargo, es este mismo texto el que no introduce algunos de los conceptos clave de genética. El estudio de las leyes de Mendel parece ser de obligado cumplimiento, aun teniendo la sospecha de que los alumnos no tienen la estructura conceptual necesaria para su comprensión. Ahora bien, ya que es un principio prescriptivo en el currículum oficial, las editoriales lo incluyen y desarrollan en mayor o menor medida. Consideramos que no es adecuado su exposición detallada y el estudio pormenorizado de las tres leyes que se derivan de los experimentos, ya que el Bachillerato creemos que sería el momento adecuado para ello.

Los dibujos que aparecen no siempre acompañan al texto y tienen el riesgo de no ser relacionados directamente con la información escrita que se facilita. En general, creemos que las ilustraciones no siempre facilitan la comprensión del mecanismo o la estructura que muestra. Así, por ejemplo, hemos detectado diferentes criterios a la hora de dibujar los cromosomas, tanto en el mismo libro como en el conjunto de obras estudiadas. El uso de los colores en los dibujos también es importante tenerlo en cuenta, especialmente en cromátidas hermanas o en el caso de presentar cromosomas homólogos, ya que puede ser una causa de inducción a error. En este mismo sentido, el código de colores ha de ser claro y siempre el mismo a lo largo de la secuencia. Finalmente, queremos indicar la ubicación mayoritaria de los cromosomas metafásicos en el núcleo, salvo en dos textos que especifican que sólo son visibles durante la división celular, cuando la membrana nuclear desaparece.

Uno de los aspectos realmente importantes en la docencia de la genética es la resolución de problemas. Las investigaciones y propuestas en didáctica de la genética proponen dedicar especial interés a este aspecto, ya que puede servir

de aplicación de los conceptos relacionados con la herencia, como la meiosis. Consideramos que no se presta la suficiente atención a la resolución de problemas en la mayoría de textos analizados, ya que son pocos los que se plantean y en tres casos ni se proponen. Menos en un libro, en el resto todos los problemas son de tipo causa-efecto y por tanto de resolución sencilla una vez aprendido el algoritmo. El tipo de problemas suele referirse a especies más o menos cercanas, pero creemos que se deberían centrar sobre todo en situaciones de la especie humana.

Los libros de texto analizados recogen las prescripciones conceptuales del currículum oficial, pero dejan de lado aspectos procedimentales y especialmente actitudinales. Tan sólo un texto aborda situaciones relacionadas con los avances de la genética y sus aplicaciones en medicina, planteando algún tipo de reflexión sobre ello.

Como conclusión final, consideramos que los libros de texto estudiados no se ajustan a una concepción constructivista de la enseñanza de la genética y no creemos que puedan ser un instrumento válido para que los alumnos puedan tener un aprendizaje significativo. En este sentido, Cañal y Criado (2002) afirman que las investigaciones en Didáctica de las Ciencias apenas influyen en la manera de realizar los libros de texto. Es cierto que todos proponen alguna actividad de detección de concepciones, pero, en términos generales, no se detectan situaciones que busquen tratar y combatir dichas ideas. Las secuencias didácticas se basan en un modelo transmisivo que no permite a los alumnos ir construyendo significados. Sin embargo, la mayoría de profesores tiene el libro de texto como material de uso diario en el aula y de apoyo didáctico. Si los textos continúan vendiéndose y los alumnos utilizándolos, sospechamos que el estudio de los mecanismos de la herencia en la Educación Secundaria Obligatoria se lleva a cabo bajo unos principios tradicionales de transmisión de conceptos elaborados.

3.3. MODELO TRADICIONAL DE ENSEÑANZA DE LA GENÉTICA

El modelo de enseñanza de las ciencias más implantado en los centros docentes es el de la enseñanza por transmisión, siendo el modelo más utilizado por los profesores, incluso en aquellos que manifiestan no estar de satisfechos del resultado de su aplicación. Nosotros hemos compilado algunas características del modelo de transmisión basándonos en Jiménez Aleixandre (2000):

- Considera al estudiante una página en blanco y por tanto no tiene en cuenta sus esquemas conceptuales previos.
- El conocimiento que se transmite está ya elaborado y por tanto los estudiantes no tienen un papel activo en la construcción de significados.
- Se considera que aprender ciencias es lo mismo que asimilar los conceptos que han sido transmitidos.

- Por su parte, enseñar ciencias consiste únicamente en la exposición de contenidos.
- La práctica docente en el aula se fundamenta en:
 - o El currículum es un listado de conceptos que se debe memorizar.
 - o Los experimentos y prácticas realizadas suelen ser de tipo ilustrativo.
 - o La dinámica en el aula suele ser la de la lección magistral.
- El profesor es el único transmisor de conocimientos y el orden y la disciplina deben estar presentes en la actividad escolar diaria.
- El material curricular es el libro de texto.
- La evaluación se basa en la memorización y cuanto más se acerquen las respuestas a las dadas por el profesor o coincidan con el libro, más conocimientos adquiridos son considerados.

Diversos estudios detallados en Porlan et al. (2000) sobre las concepciones didácticas de los profesores, muestran una tendencia mayoritaria a considerar la enseñanza como una actividad en la que el profesor es el principal protagonista, facilita las explicaciones y determina las actividades y el orden de la clase. Coincidimos con Porlan (1995) cuando afirma que “la evidencia cotidiana nos dice que en la escuela predomina aún la enseñanza que solemos denominar tradicional”.

Aguirre et al. (1990) llevaron a cabo una investigación sobre las concepciones sobre la enseñanza de profesores en prácticas. Las dos conclusiones a la que llegaron los autores son:

- El profesor es la fuente de conocimiento y se considera que el papel de la enseñanza es el de transmisor de conocimientos y contenidos.
- El profesor es el guía que ha de ordenar y dinamizar la actividad educativa.

No podemos decir que la actitud de los profesores de biología cuando abordan los temas de la herencia sea diferente de cuando enseñan el resto de contenidos de la ciencia, considerándose el profesor como transmisor de conocimientos y usando el libro de texto como material curricular de apoyo. Coincidimos con Banet y Ayuso (1995) en que los profesores seleccionan y secuencian los contenidos de la genética apoyándose en el libro de texto.

3.3.1. Características del modelo tradicional de enseñanza de la genética

Como hemos señalado en el párrafo anterior, el profesorado de biología utiliza mayoritariamente el modelo tradicional de enseñanza de la genética, que podemos asimilar al modelo de transmisión. Nosotros hemos establecido las siguientes características asociadas al modelo tradicional de enseñanza de la genética.

1. No se tienen en cuenta las concepciones del alumnado y, por tanto, no se diseñan ni distribuyen actividades para detectar ideas alternativas en el alumnado.
2. Al carecer el profesorado de información sobre qué piensan sus alumnos sobre determinados aspectos de la herencia, no puede elaborar estrategias para su eliminación o adaptación a las concepciones científicamente correctas.
3. El libro de texto es el material curricular de apoyo fundamental del profesor.
4. Los contenidos que se trabajan son fundamentalmente conceptuales, recogidos en una "lista de conceptos" que son expuestos de forma lineal.
5. Apenas se incide en aspectos procedimentales, como la resolución de verdaderos problemas.
6. Hay poca incidencia en aspectos relacionados con las actitudes y los valores, como la biotecnología.
7. Los problemas de genética planteados suelen ser de tipo causa-efecto, con patrón de herencia conocido. Por tanto, no se plantean verdaderos problemas (Sigüenza y Saez, 1990).
8. Algunos de los organismos sobre los que se plantean los problemas, no son familiares para los alumnos.
9. El desarrollo de la secuencia didáctica se inicia con el estudio de los experimentos de Mendel y la enunciación de las leyes.
10. No se hace suficiente hincapié en la estructura y localización del material hereditario. No se hace una introducción a la biología de la célula.
11. Los esquemas y dibujos utilizados pueden llevar a confusión o a reforzar errores en el alumnado, tanto los que aparecen en los libros de texto, como los que el propio profesor realiza en la pizarra.
12. No se estudia la genética humana como eje del tema, sino como apéndice y planteando problemas diferentes de los descritos previamente en las leyes de Mendel (herencia ligada al sexo o herencia de los grupos sanguíneos).

13. Se definen conceptos de genética sin relacionar estructura y función y sin relacionarlos con la función de reproducción y generación de nuevos individuos.
14. No se estudia la meiosis.
15. El profesorado lleva a cabo su lección magistral en clase, exponiendo los conceptos, tomando el libro de texto como referencia y sin permitir interacción con el alumnado.

CAPÍTULO 4

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN. HIPÓTESIS Y PLAN DE TRABAJO

En el capítulo anterior planteamos los problemas existentes en la enseñanza de la genética, tanto desde el punto de vista del currículum oficial, como del de los textos publicados por las principales editoriales y como del modelo más habitual de abordar los procesos didácticos por parte del profesorado.

Tenemos la convicción de que es posible aplicar en el aula una forma diferente de entender la docencia de la genética. Este nuevo enfoque se debe basar en aquello que los alumnos ya saben y ha de tener en cuenta los principios y referentes psicológicos y didácticos del constructivismo.

Teniendo en cuenta la situación de la didáctica de las ciencias y en particular de la didáctica de la genética, así como los planteamientos actuales en la enseñanza de la herencia biológica descritos en el capítulo anterior, nos hemos propuesto alcanzar diversas metas.

Toda investigación debe proponerse unos objetivos a alcanzar a partir de la identificación del problema a investigar, de la formulación de unas hipótesis de trabajo y del establecimiento de un plan de trabajo que permita comprobar las hipótesis.

Los objetivos que el investigador se plantee han de tener una relación clara con las hipótesis de trabajo y, por tanto, el grado de alcance de los objetivos planteados ha de quedar reflejado en las conclusiones de la memoria.

A partir de la problemática descrita en el capítulo anterior y, teniendo en cuenta los objetivos de nuestra investigación, formulamos diferentes hipótesis sobre la enseñanza de la genética a partir del modelo tradicional e hipótesis sobre los resultados de la implantación de una propuesta didáctica innovadora diseñada por nosotros.

Una vez determinados los objetivos de la investigación y establecidas las hipótesis de trabajo, describiremos el plan de trabajo que hemos diseñado para comprobar las hipótesis planteadas y alcanzar los objetivos planteados.

4.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Nuestra investigación tiene una doble vertiente, ya que por una parte proponemos una forma diferente de entender los procesos de enseñanza-aprendizaje de la genética frente a una concepción tradicional de la docencia de esta parte de la biología. Una segunda orientación de nuestro trabajo consiste en diseñar un plan de trabajo para poder determinar la validez de dicha propuesta y de su eficacia frente a la del modelo tradicional.

Los objetivos que queremos alcanzar con nuestro estudio pueden concretarse de la siguiente manera:

1) Objetivos referidos al estudio de los esquemas conceptuales del alumnado

En el capítulo 2 describimos ampliamente la concepciones que los estudiantes tienen sobre los mecanismos de la herencia y la naturaleza del material hereditario (Kargbo et al., 1980; Longden, 1982; Brown, 1990; Kindfield, 1994; Banet y Ayuso, 1995; Lewis et al., 2000) entre otros. Nuestro objetivo es comprobar si las concepciones del alumnado en nuestro contexto de enseñanza-aprendizaje sobre la naturaleza y mecanismos de transmisión de la información genética se corresponden con los detectados por otros autores.

2) Objetivos referidos al modelo de enseñanza tradicional

En nuestra opinión, un modelo de enseñanza que no tenga en cuenta lo que el alumno ya sabe y no intente que sea el propio estudiante el que vaya dando significado a los nuevos conocimientos que se trabajan, no será capaz de conseguir un aprendizaje significativo.

Uno de nuestros objetivos es determinar si una vez que los alumnos han finalizado la docencia de la genética, sus esquemas conceptuales se han modificado respecto de los iniciales. Es decir, queremos conocer el grado de eficacia de este modelo de enseñanza y si ha sido capaz de conseguir un aprendizaje significativo.

Otro segundo objetivo es determinar si varios meses después de la finalización de la secuencia didáctica, las concepciones del alumnado se han modificado y son las mismas que las detectadas antes de la instrucción o bien si se ha producido retención de los conocimientos adquiridos.

3) Objetivos referidos al modelo de enseñanza constructivista

Estamos firmemente convencidos de que un modelo de enseñanza basado en los principios del constructivismo y que considere al alumno el protagonista del proceso de enseñanza-aprendizaje, será capaz de conseguir un aprendizaje significativo y provocar un cambio conceptual en el alumnado.

El primer objetivo que nos planteamos es diseñar una secuencia didáctica que tenga en cuenta las propuestas de los investigadores en didáctica de la genética a los que hemos hecho ya referencia, como Wood-Robinson et al. (1998), Ayuso (2000), Lewis et al. (2000) y Ayuso y Banet (2002), entre otros. A nuestro juicio, estos investigadores son las actuales puntas de lanza en las investigaciones relacionadas con la genética, ya que sus estudios tienen una sólida fundamentación teórica y una experiencia de aplicación en el aula. No queremos olvidarnos de las aportaciones del equipo de Stewart y Van Kirk (1990), especialmente en aspectos relacionados con la resolución de problemas.

Las sugerencias didácticas derivadas de los estudios de estos investigadores y nuestras propias convicciones didácticas han sido los fundamentos teóricos

sobre los que se sustenta la secuencia didáctica que hemos diseñado y aplicado en el aula.

Un segundo objetivo es determinar si después de la finalización de un proceso instructor basado en una orientación constructivista, las concepciones del alumnado se han modificado respecto de las manifestadas antes de iniciar la docencia.

Otro objetivo, relacionado con el anterior, es determinar la eficacia de esta secuencia didáctica a lo largo del tiempo y varios meses después de la docencia. Una forma de medir esta eficacia consiste en estudiar el grado de modificación de las concepciones del alumnado antes de iniciar la docencia, al finalizar ésta y varios meses después o por el contrario, la retención que ha sido capaz de provocar el modelo de enseñanza.

4) Objetivos referidos a los resultados de los modelos de enseñanza

Hemos descrito anteriormente que pretendemos aplicar dos modelos de enseñanza de la genética, uno basado en la transmisión de conocimientos ya elaborados y el otro basado en principios constructivistas. Pretendemos determinar en qué medida las concepciones del alumnado se ven modificadas en función del modelo de enseñanza-aprendizaje que han recibido.

Además de realizar un estudio de la mayor o menor capacidad de cada secuencia didáctica en conseguir un aprendizaje significativo en el alumnado y permitir que sus ideas se acerquen a las consideradas científicamente correctas, otro de nuestros objetivos es determinar qué modelo es más eficiente. Es decir, pretendemos determinar si alguna de las dos secuencias didácticas, aplicadas a grupos de alumnos diferentes y agrupados al azar, es más eficiente que la otra y es capaz de provocar un cambio conceptual.

4.2. HIPÓTESIS DE TRABAJO

En el capítulo anterior hemos descrito y analizado de manera crítica las prescripciones oficiales del currículum por lo que a la enseñanza de la genética se refiere. Mientras que en la propuesta del año 1992 (DEGC, 1992), se recogían principios constructivistas en los objetivos didácticos, en el currículum del año 2002 (DEGC, 2002), han desaparecido muchas de las referencias que valoramos positivas y que figuraban en el anterior decreto. Sin embargo, los libros de texto de la primera época no difieren mucho de los actuales, lo que hace pensar que el enfoque didáctico del profesorado en el aula tampoco ha cambiado de forma sustancial en los últimos años. El libro de texto continúa siendo el bastón en el que la mayor parte del profesorado se apoya para llevar a cabo la enseñanza de las ciencias y también de la genética.

El modelo de transmisión es el más utilizado por el profesorado de educación secundaria y no creemos que sea capaz de conseguir en el alumnado la

comprensión de los mecanismos de la herencia ni de las estructuras implicadas.

Ponemos en duda que un modelo que tenga el profesor como introductor de contenidos, mayoritariamente conceptuales, sin hacer partícipe al alumno del proceso de aprendizaje, sea capaz de conseguir que el alumno abandone las concepciones alternativas que pueda presentar y construya por sí mismo significados.

No creemos que un modelo de enseñanza que no tenga en cuenta lo que los alumnos ya saben cuando llegan al aula sea capaz de hacer modificar las estructuras conceptuales de los alumnos después de la docencia.

A tenor del análisis de los libros de texto llevado a cabo en el capítulo anterior, no creemos que su utilización en el aula como elemento de apoyo curricular principal, pueda ser capaz de hacer comprender de forma significativa los procesos y las estructuras implicadas en la herencia.

La selección y secuenciación de contenidos que se plantean en el currículum oficial y en los libros de texto no las consideramos adecuadas para poder relacionar los conceptos y resolver los problemas que puedan proponerse sobre aspectos de genética, más allá de los clásicos planteamientos causa-efecto.

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, formulamos la siguiente

PRIMERA HIPÓTESIS INICIAL

Una propuesta didáctica basada en el modelo tradicional de enseñanza de la genética y de los procesos de la herencia no es capaz de obtener en el alumnado un aprendizaje verdaderamente significativo y no permite el cambio conceptual.

Por el contrario, un modelo de enseñanza que tenga en cuenta las concepciones del alumnado permitirá al profesorado actuar para tratar didácticamente dichas ideas alternativas.

El conocimiento de las concepciones del alumnado hace que el profesor planifique y proponga actividades para que el alumno se muestre insatisfecho con sus concepciones y busque nuevas explicaciones a los fenómenos.

Un modelo que no tenga al profesor como mero transmisor de conocimientos y al alumno como receptor pasivo de información científica, sino que haga que el estudiante interactúe de forma activa, puede ayudar a que el alumnado vaya construyendo significados, abandone ideas erróneas o bien que las acomode a las concepciones científicamente correctas.

Un modelo didáctico basado en los principios del constructivismo puede ser capaz de provocar en el alumnado el cambio conceptual.

En capítulos posteriores describimos con detalle una secuencia didáctica inédita, diseñada por nosotros, basada en las premisas del constructivismo. Esta secuencia ha sido aplicada a los alumnos de los grupos llamados *Experimentales* (en contraposición a los denominados grupos *Control*). Convencidos de la necesidad de introducir nuevos puntos de vista en la enseñanza de los mecanismos de la herencia, formulamos la

SEGUNDA HIPÓTESIS INICIAL

La secuencia didáctica propuesta por nosotros y basada en los principios del modelo de enseñanza constructivista llamada Experimental y aplicada a los alumnos de los grupos Experimentales, permitirá que los alumnos vayan construyendo y dando sentido a los nuevos conceptos, será capaz de provocar el cambio conceptual y conseguirá que los alumnos obtengan un aprendizaje significativo.

En el Capítulo 6 detallamos la secuencia didáctica que ha sido aplicada a los alumnos de los grupos *Control*.

En nuestra investigación hemos trabajado con dos agrupaciones de alumnos en los que se han llevado a cabo dos intervenciones didácticas diferentes, una basada en el modelo de transmisión o tradicional y otra basada en el modelo constructivista o experimental.

Uno de los objetivos del presente trabajo es comprobar si alguno de los dos modelos de enseñanza de la genética es más eficiente que el otro, implementando en el aula dos secuencias didácticas diferentes, una tradicional y otra innovadora. Teniendo en cuenta las hipótesis establecidas hasta ahora y en base a nuestras convicciones, formulamos la

HIPÓTESIS PRINCIPAL

La propuesta didáctica Experimental basada en el modelo constructivista de la enseñanza de las ciencias es más eficiente que la propuesta didáctica Control basada en el modelo tradicional de la enseñanza de las ciencias y será capaz de conseguir en el alumnado una construcción de significados más completos, correctos y elaborados que en los estudiantes que han recibido la propuesta didáctica Control.

Si un modelo de enseñanza-aprendizaje es capaz de lograr un cambio en las ideas del alumnado, podemos decir que ha existido una mejora en sus ideas. Esta mejora debe entenderse como la adecuación de las concepciones del alumnado a posiciones conceptuales más correctas. Por tanto, si las ideas de los estudiantes al finalizar la acción docente se diferencian mucho de las

manifestadas antes del inicio de la instrucción y son lo suficientemente mejores desde el punto de vista de la corrección científica, podemos decir que se ha producido mejora conceptual. Esta mejora puede ser cuantificada y hemos desarrollado un índice para medirla. Consideramos que este índice de mejora puede ser diferente en los grupos de alumnos en los que se aplique un modelo constructivista que un modelo tradicional. Por esta razón formulamos la

HIPÓTESIS DERIVADA DE LA PRINCIPAL

Una secuencia didáctica basada en el modelo constructivista de enseñanza-aprendizaje de la genética, será capaz de conseguir índices de mejora en el alumnado superiores a los alcanzados por un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en la transmisión de conocimientos ya elaborados.

4.3. PLAN DE TRABAJO PARA LA COMPROBACIÓN DE LAS HIPÓTESIS

Para comprobar las hipótesis formuladas, diseñamos un plan de trabajo con diferentes fases. En primer lugar describiremos y contextualizaremos el medio en el que se llevó a cabo la investigación y posteriormente describiremos las acciones que llevamos a cabo en cada fase de la investigación.

4.3.1. Diseño de la investigación

Nuestra investigación se ha aplicado sobre nueve grupos de alumnos de 4º curso de Educación Secundaria Obligatoria de un mismo centro docente durante cuatro cursos académicos, desde el año 1996 hasta el año 2000. Se trata del IES Lliçà de Lliçà d'Amunt, localidad que se encuentra a 25 kilómetros de la ciudad de Barcelona. La estructura del municipio gira alrededor de un núcleo urbano poco poblado y más de veinte urbanizaciones alejadas del centro de la población, por lo que el arraigo al municipio de Lliçà d'Amunt es escaso. La mayor parte del alumnado reside en dichas urbanizaciones que fueron en su momento segunda residencia, pero que en la actualidad son el domicilio habitual. El origen de los núcleos familiares es de ciudades y barrios de la periferia de la ciudad de Barcelona siendo el nivel socioeconómico de la población medio-bajo.

Ninguno de los alumnos había estudiado previamente la genética, aunque sí se había introducido el estudio de la célula. No obstante, muchos de los términos de genética son usados de forma coloquial y las noticias sobre

aspectos relacionados con la herencia biológica que aparecen en los medios de comunicación, hace que el alumnado tenga referencias más o menos cercanas sobre esta parte de la biología.

En estos grupos se ha utilizado dos tipos de intervención didáctica diferente. En cuatro de ellos se ha llevado a cabo una enseñanza de la genética basada en la transmisión de conocimientos ya elaborados, donde el papel del profesor es el de informador de una serie de hechos científicos, expuestos mayoritariamente de manera oral. La unidad didáctica es un reflejo de la propuestas que se hacen en los libros de texto que las editoriales presentan y está estructurada bajo una concepción tradicional de la enseñanza de la genética, sin tener en consideración las investigaciones y las propuestas actuales sobre didáctica. El material curricular usado por el profesor será el libro de texto de la misma línea editorial utilizada por el centro escolar y en él se basará el profesor para impartir sus clases. En el capítulo anterior hemos detallado los contenidos y las estrategias didácticas de este modelo de enseñanza de la genética. Estos grupos han sido denominados Control.

Los cuatro grupos, que han sido codificados, se muestran a continuación, incluyendo el número de alumnos y el curso escolar en los que se produjo la intervención didáctica.

Grupo	Número de alumnos	Curso
C1	14	1996-97
C2	11	1998-99
C3	16	1999-00
C4	17	1999-00
Total: 58 alumnos		

Tabla 4.1. Grupos del tratamiento Control

En los otros cinco grupos se ha utilizado un unidad didáctica elaborada por nosotros que tiene como referente un modelo constructivista del proceso de enseñanza-aprendizaje. Las características y las actividades de la secuencia didáctica se detallan en el capítulo 6. Estos grupos han sido denominados Experimental y se han codificado de la siguiente manera:

Grupo	Número de alumnos	Curso
E1	17	1996-97
E2	14	1997-98
E3	17	1997-98
E4	17	1999-00
E5	22	1999-00
Total: 87 alumnos		

Tabla 4.2. Grupos del tratamiento Experimental

La docencia en los grupos Experimental y Control C1 y C2 ha sido impartida totalmente por nosotros, con un total de 120 alumnos, mientras que en los grupos Control C3 y C4 ha intervenido otro profesor del mismo centro, con un total de 33 alumnos.

Las secuencias didácticas se han llevado a cabo en dos contextos diferentes. El primero de ellos consiste en un crédito inscrito dentro del currículum variable del alumno y que se ha aplicado en los grupos E1, E2, C1 y C2, y en segundo lugar se trata del crédito común del área de Ciencias de la Naturaleza, que se ha aplicado en los grupos E3, E4, E5, C3 y C4.

Sea cual sea el marco horario en el que se desarrolló la docencia, siempre se utilizó el modelo de enseñanza que correspondía y con el mismo número de horas. El otro profesor que participaba en la investigación desarrollaba la propuesta didáctica basada en el modelo tradicional usando el libro de texto como referencia en dos de los grupos control (C3 y C4) y no existía interferencia con la propuesta experimental que aplicábamos nosotros durante los mismos cursos en los grupos experimentales (E4 y E5). El resto de grupos recibieron la docencia por nosotros mismos, utilizando una metodología u otra según fuese una agrupación control o experimental.

Puede pensarse que en algunos grupos de alumnos el tamaño muestral sea pequeño, pero hay que tener en cuenta que algunos de ellos no han mostrado diferencias significativas entre si y han podido hacerse agrupaciones, por lo que se ha aumentado el tamaño muestral. En cualquier caso, hay numerosos estudios en didáctica de la genética en los que los investigadores han trabajado con un número menor de individuos: Longden (1982) con 10 alumnos; Stewart (1983) con dos grupos de 12 y 15 alumnos; Hackling y Treagust (1984) con 10 alumnos; Smith (1988) con 20 alumnos; Stewart y Dale (1989) con 50 alumnos; Kindfield (1991) con 15 alumnos; Ayuso et al. (1996) con 30 alumnos Ayuso (2000) con 50 alumnos. Por tanto, nuestro tamaño de muestra final supera con creces al observado en la bibliografía más relevante sobre el tema.

Los alumnos y alumnas de los cuatro grupos Control y los cinco grupos Experimentales no fueron seleccionados sino que formaban parte del grupo-clase de cuarto de ESO correspondiente o bien fueron alumnos que se distribuyeron al azar entre los diferentes créditos variables que se ofertaban en los cursos en los que se desarrolló la investigación.

Por tanto, al no producirse ningún tipo de selección, el alumnado presente en las aulas de los grupos Control y Experimental partía de los mismos condicionantes, como por ejemplo que ninguno había estudiado los temas de la herencia biológica.

Consideramos que la formación de grupos al azar y el no haber estudiado previamente los temas de genética hace que todos los alumnos se enfrenten a los modelos didácticos en idénticas condiciones. Los resultados obtenidos en el pretest corresponden a las concepciones del alumnado y no pueden

considerarse debidos a sesgos voluntarios en la muestra ni a información conceptual facilitada en el centro escolar.

No obstante, siempre que hemos realizado análisis estadísticos (ver capítulo 5) hemos comprobado previamente si los diferentes grupos en estudio eran homogéneos en las concepciones que manifestaban. Al haber trabajado con muestras diferentes en diferentes momentos, no podemos considerar que los cuatro grupos Control constituyen un gran grupo, ni los cinco grupos Experimentales pueden formar una única agrupación.

Hemos encontrado diferencias significativas en el pretest entre grupos de un mismo modelo didáctico, lo cual no quiere decir que exista un error muestral, sino que había una heterogeneidad en la muestra que debía ser convenientemente tratada. Cada grupo puede estar formado por estudiantes que manifiesten concepciones diferentes a las de otros grupos, aun estando formadas todas las agrupaciones al azar. Es decir, el grupo E1 puede tener diferencias con el grupo E2 en el pretest para determinadas concepciones, pero pueden tener las mismas para otras ideas objeto de investigación.

Las detecciones de concepciones y la validación de nuestra propuesta didáctica respecto del modelo tradicional, se han realizado sobre diferentes esquemas conceptuales, tales como la localización de los genes, la función de los cromosomas, etc. Por lo tanto, antes de proceder al análisis estadístico de las diferentes fases de la investigación, necesitábamos saber si los grupos eran homogéneos o bien presentaban diferencias entre ellos. Cuando se han detectado diferencias, se han formado nuevas agrupaciones, tales como Control Alto, Experimental Medio, etc. La calificación de Alto, Medio, Bajo, no indica necesariamente que el nivel conceptual de la clase sea de "notas altas" o "notas bajas", sino a qué distancia se encuentran las concepciones de los alumnos de dicho grupo respecto de las consideradas científicamente correctas.

4.3.2. Fases de la investigación

1) Pretest

Antes de iniciar la docencia se ha pedido al alumnado que conteste de manera individual un cuestionario elaborado por nosotros y previamente validado por expertos en la materia. De esta manera hemos podido obtener información sobre las concepciones del alumnado sobre la naturaleza, función y localización del material hereditario. Por otra parte, el cuestionario se ha constituido como una primera aproximación del alumnado a los conceptos que serán motivo de estudio en los próximos días.

Para la elaboración del cuestionario definitivo hemos seguido algunos pasos:

1) Selección de contenidos

A partir del análisis de las investigaciones sobre didáctica de la genética y nuestra propia experiencia, seleccionamos aquellos contenidos que consideramos que deben estar presentes en toda secuencia didáctica sobre los mecanismos de la herencia biológica.

2) Primer cuestionario

Diseñamos un cuestionario en el que puedan quedar recogidas las ideas del alumnado sobre los aspectos que serán trabajados durante la secuencia didáctica. Por tanto, nos darán información sobre las concepciones del alumnado sobre los principales aspectos de la herencia biológica.

3) Primera validación del cuestionario

Antes de administrar el cuestionario al alumnado, ha sido examinado por tres biólogos, dos de ellos profesores de biología en activo, para localizar posibles incongruencias o dificultades en la comprensión. A partir de aquí se diseñó un segundo cuestionario que fue el que se aplicó a un grupo de alumnos.

4) Validación del segundo cuestionario

Se aplicó a un grupo de alumnos el segundo cuestionario, lo que nos permitió acabar de definir el cuestionario definitivo y que será el utilizado a lo largo de la investigación.

5) Administración del cuestionario definitivo

Finalmente, se administró el cuestionario definitivo a todos los grupos en estudio, tanto Control como Experimental.

2) Fase de docencia

Es la fase de intervención didáctica directa por parte del profesor y de una manera diferenciada en los dos tipos de grupos establecidos: Control y Experimental.

En ambos tratamientos se ha utilizado el mismo número de horas, diferenciándose del material didáctico utilizado en clase y de la opción didáctica.

Mientras que en los grupos Control, el modelo didáctico utilizado era el tradicional de transmisión de conocimientos ya elaborados, en los Experimentales, el modelo didáctico era el basado en los principios del constructivismo y concretados en una secuencia didáctica propuesta por nosotros.

La intervención didáctica se concretó en 29 sesiones de 55 minutos.

3) Postest

Después de la finalización de la intervención didáctica y sin previo aviso, se administró nuevamente el mismo cuestionario al alumnado. Al no haber hecho un advertencia previa se minimiza el riesgo de que el resultado del cuestionario pudiera ser atribuido a un proceso de memorización por parte del alumnado. Por el contrario, lo que se consiguió es que las respuestas fuesen atribuibles a las nuevas construcciones conceptuales que los alumnos pudieran haber creado después de las horas de intervención didáctica.

El cuestionario que se administró era el mismo, con las mismas preguntas que en el pretest. Al trabajar con las mismas variables, los resultados pueden ser comparables y los resultados que se obtengan en el tratamiento estadístico muy fiables. Si bien existe un riesgo de acomodación al instrumento, consideramos que se ve compensado por el hecho de que la utilización de un nuevo cuestionario podría medir otros aspectos distintos y podría enmascarar la medida de la capacidad de retención.

4) Recordatorio

Nueve meses después de la realización del postest y también sin previo aviso, se pidió al alumnado que contestase nuevamente el cuestionario. Con los resultados obtenidos pretendemos evaluar el grado de permanencia de las estructuras conceptuales modificadas durante la fase de docencia meses después. Si utilizáramos un símil farmacológico, podríamos decir que durante la docencia hemos aplicado un tratamiento para corregir las deficiencias observadas en el pretest y cuya mejora se debe observar en el postest. Ahora bien, ¿cuánto dura el tratamiento?, si nuestra propuesta didáctica es eficiente, la duración de su efecto debería permanecer en el tiempo.

Dado que la fase de docencia se hizo en alumnos de último curso de Educación Secundaria Obligatoria (ESO), la fase de Recordatorio tiene lugar cuando los alumnos están cursando Bachillerato, que es un estudio postobligatorio. Algunos de los alumnos estaban matriculados en la modalidad de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud, otros en la de Tecnología y el resto en la modalidad de Humanidades y Ciencias Sociales.

Por una parte, muchos de los alumnos que recibieron la docencia no continuaron estudiando (ver tablas 4.3. y 4.4.), con lo que no se ha podido seguir su progresión en el tiempo y no tenemos datos sobre su Recordatorio. Por otra parte, nos encontramos con que alumnos que respondieron al Recordatorio no estaban cursando la modalidad de Ciencias de la Naturaleza y de la Salud, por lo que creemos que su motivación podía ser diferente a la hora de contestar y los resultados del Recordatorio pueden verse enmascarados, como se comentará en el apartado de resultados y discusión.

En otros estudios similares en los que se investiga la retención meses después de la docencia, el periodo entre el postest y el recordatorio es de tres meses (Ayuso, 2000), con lo que durante el mismo curso escolar se puede practicar el pretest, el postest y el recordatorio.

A nuestro juicio, un periodo de tiempo tan corto entre el posttest y el recordatorio, dentro del mismo curso escolar y siendo el mismo profesor el que lo aplica puede proporcionar resultados poco fiables. En nuestra investigación hemos esperado nueve meses, es decir, todos los alumnos que respondieron se encontraban en otro curso y, por tanto, fuera del contexto en el que se desarrolló la intervención didáctica.

Si verdaderamente se ha producido retención, consideramos que debe transcurrir un espacio de tiempo suficiente para que el alumno se encuentre fuera del contexto.

Por encontrarse los alumnos en etapa postobligatoria, el número de estudiantes de cada grupo es menor. Especialmente conflictivo es el caso del grupo C1, donde tan sólo dos alumnos han podido contestar al cuestionario recordatorio.

Los alumnos que pudieron responder al Recordatorio y el porcentaje respecto del total inicial son los siguientes:

Grupo	Número de alumnos	%
C1	2	14.3
C2	10	90.9
C3	6	37.5
C4	7	41.2
Total: 25 alumnos		43.1

Tabla 4.3. Alumnos Control en el Recordatorio.

Grupo	Número de alumnos	%
E1	14	82.3
E2	10	71.4
E3	13	76.5
E4	9	52.9
E5	8	36.4
Total: 54 alumnos		62.1

Tabla 4.4. Alumnos Experimental en el Recordatorio