

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE EDUCACIÓN

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales



**APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN
DE PROBLEMAS COMO UNA INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO DE UN ENFOQUE CIENCIA –
TECNOLOGÍA – SOCIEDAD EN EL CURRÍCULO DE
BIOLOGÍA DE EDUCACIÓN SECUNDARIA**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

María Teresa Ibáñez Orcajo

Bajo la dirección de la doctora

María Mercedes Martínez Aznar

Madrid, 2003

ISBN: 84-669-2343-8



**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
CENTRO DE FORMACIÓN DEL PROFESORADO
DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES**

**APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DE
RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO UNA
INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO DE
UN ENFOQUE CIENCIA-TECNOLOGÍA-
SOCIEDAD EN EL CURRÍCULO DE BIOLOGÍA
DE EDUCACIÓN SECUNDARIA**

TESIS DOCTORAL

M^a TERESA IBÁÑEZ ORCAJO

Madrid, 2002



**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
CENTRO DE FORMACIÓN DEL PROFESORADO
DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES**

**APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DE
RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO UNA
INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO DE
UN ENFOQUE CIENCIA-TECNOLOGÍA-
SOCIEDAD EN EL CURRÍCULO DE BIOLOGÍA
DE EDUCACIÓN SECUNDARIA**

**Memoria presentada por
M^a TERESA IBÁÑEZ ORCAJO
para optar al grado de Doctor**

**Dirigida por
Dra. M^a MERCEDES MARTÍNEZ AZNAR
Profesora Titular de Universidad**

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE EDUCACIÓN - CENTRO DE FORMACIÓN DEL
PROFESORADO

DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS
EXPERIMENTALES

**APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA
DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS
COMO UNA INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO DE UN ENFOQUE
CIENCIA-TECNOLOGÍA-SOCIEDAD
EN EL CURRÍCULO DE BIOLOGÍA DE
EDUCACIÓN SECUNDARIA**

Memoria presentada por

M^a TERESA IBÁÑEZ ORCAJO

para optar al título de Doctor

DIRECTORA: Dra. M^a MERCEDES MARTÍNEZ AZNAR
Profesora Titular de Universidad

AGRADECIMIENTOS

Es difícil ordenar un listado de personas que me han acompañado a lo largo de mi proceso de formación como investigadora en didáctica, y sobre todo es imposible conocer qué personas y qué momentos me influyeron a la hora de decidir ser profesora.

En primer lugar, tengo que agradecer a mi directora de Tesis, la Dra. M^a Mercedes Martínez Aznar, no sólo su magnífico trabajo como guía en el desarrollo de este trabajo y la dedicación que me ha prestado, sino, también, la valentía de aceptar el reto de dirigir a una extraña, con unas poquitas referencias y, además, ‘bióloga’.

A lo largo de este trabajo he estado acompañada y arropada por la Dra. M^a Paloma Varela y otros compañeros de tesis, Ana Isabel Bárcena y Andrés Raviolo, con los que, además de compartir esfuerzos e intereses, he tenido momentos muy bonitos. Igualmente quiero agradecer al Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales la posibilidad de realizar esta Tesis.

Volviendo la vista atrás, no puedo olvidar que mis inicios en la Didáctica fue de manos del IEPS. Fue durante mi formación en el Master de Educación Secundaria Obligatoria (1992/94), cuando supe que yo también quería aportar mi grano de arena en esta difícil tarea de la enseñanza. En especial, dentro de todas las personas con las que trabajé en el IEPS, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a la Dra. Berta Marco-Stiefel porque, además de ser la directora de mi Tesis de Maestría, me ha ofrecido siempre su sabiduría y amistad.

Además quiero recordar que parte de este trabajo de investigación se ha desarrollado con una subvención del CIDE a través de la Convocatoria Nacional de Ayudas Educativas de 1997.

Por último, debo agradecer a la Dra. M^a Teresa Pérez Pérez, profesora titular de Escuela Universitaria del Departamento de Estadística Investigación Operativa III, su inestimable ayuda a la hora del análisis estadístico de los resultados. En recuerdo de un fin de semana atrapados por la nieve, que dedicamos a esta tesis entre otros muchos momentos, y a nuestra amistad, muchas gracias.

**Para Javi,
porque el tiempo que he dedicado
a este trabajo, también era tuyo.
Gracias por todo.**

ÍNDICE

PRESENTACIÓN

EL INICIO DE LA BÚSQUEDA DE UNA RESPUESTA: EL PROBLEMA A RESOLVER	3
CONSIDERACIONES INICIALES: RESOLVER UN PROBLEMA ES COMO JUGAR CON UNA MUÑECA RUSA	5
ESTRUCTURA DEL TRABAJO	8

PARTE I: MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 1. EL PUNTO DE PARTIDA

INTRODUCCIÓN	19
1.1. VISIÓN ACTUALIZADA DE LA CIENCIA	20
1.2. ¿CÓMO SE APRENDE? MODELOS CONSTRUCTIVISTAS	25
1.2.1. La distintas caras del constructivismo	26
1.2.2. Las concepciones alternativas de los estudiantes	29
1.2.3. Los modelos de cambio conceptual	34
1.3. EL CONTEXTO CURRICULAR	41

CAPÍTULO 2. LA METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO UNA INVESTIGACIÓN (MRPI) Y LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

INTRODUCCIÓN	55
2.1. UNA CUESTIÓN DE CONCEPTOS: ¿QUÉ ES UN PROBLEMA?	56
2.2. APORTACIONES DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS	62
2.2.1. ¿Cómo resuelven problemas los expertos?	63
2.2.2. Tipos de problemas para trabajar en el aula y habilidades de resolución	66
A. Tipos de problemas	
B. Habilidades que se desarrollan en la resolución de problemas	
C. El proceso de enseñanza aprendizaje de resolución de problemas y sus dificultades	

2.3. MODELOS DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS	84
2.3.1. Problemas algorítmicos o problemas-ejercicio de enunciado numérico	84
El modelo de resolución de Polya	
P.A.M. (Programa de acciones y métodos)	
Los mapas direccionales	
2.3.2. Problemas investigativos	88
A.P.U. (Assesment of Performance Unit)	
Modelo PROPHY	
Modelo de resolución de problemas como una investigación	
2.4. LA METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO UNA INVESTIGACIÓN (MRPI)	91

CAPÍTULO 3. APROXIMACIÓN AL ENFOQUE CIENCIA-TECNOLOGÍA-SOCIEDAD (C-T-S)

INTRODUCCIÓN	101
3.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL MOVIMIENTO C-T-S	103
3.2. LAS METAS DEL ENFOQUE C-T-S Y DE LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS	109
3.3. APROXIMACIÓN CURRICULAR A LA EDUCACIÓN C-T-S	113
3.3.1. Los temas sociales y la alfabetización científica y tecnológica	115
A. Alfabetización básica, escolar o funcional	
B. Alfabetización cívica o ciudadana	
C. Alfabetización científica cultural	
3.3.2. Los aspectos sociales de la ciencia y su naturaleza	123
3.3.3. Las diferencias entre los cursos de ciencias estándar y los cursos de ciencias C-T-S.	133

PARTE II: DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO 4. DISEÑO Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

INTRODUCCIÓN	141
4.1. SECUENCIA DE LA INVESTIGACIÓN	145
4.1.1. Fase preliminar	145
4.1.2. Fase experimental	147
4.1.3. Fase de análisis de resultados	148

4.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	150
4.2.1. Hipótesis Inicial	153
4.2.2. Hipótesis de Intervención en el aula	154
4.2.3. Hipótesis Final I	156
4.2.4. Hipótesis Final II	157
4.3. NATURALEZA Y ENTORNO DE LAS MUESTRAS	158
4.4. METODOLOGÍA E INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN	161
4.4.1. Metodología y tipo de investigación	161
4.4.2. Instrumentos de recogida de información	164
A. Pruebas para el contraste de la Hipótesis Inicial	
B. Pruebas para el contraste de las Hipótesis de Intervención en el aula	
C. Pruebas para el contraste de la Hipótesis Final I	
D. Pruebas para el contraste de la Hipótesis Final II	
E. Prueba sobre la actitud de los estudiantes hacia la Metodología de Resolución de Problemas como una Investigación	
4.4.3. Técnicas de análisis	203
CAPÍTULO 5. ELABORACIÓN DE LA UNIDAD DIDÁCTICA: “¿SOY ASÍ POR PURO AZAR?”	
INTRODUCCIÓN	209
5.1. EL MODELO DE UNIDAD DIDÁCTICA	210
5.2. ANÁLISIS CIENTÍFICO DE LOS CONTENIDOS DE GENÉTICA	214
5.2.1. La importancia de la Genética en la Sociedad actual	215
5.2.2. La unidad didáctica dentro del currículo de la Educación Secundaria Obligatoria	218
A. Los contenidos de Genética en la E.S.O.	
B. Introducción de la Metodología de Resolución de Problemas como una Investigación en la E.S.O.	
C. Introducción de un enfoque C-T-S en la E.S.O.	
5.2.3. Construcción de los conocimientos científicos relativos a la Genética y su desarrollo histórico	229
5.2.4. Selección y estructuración de contenidos escolares	233
A. Conceptos trabajados en la unidad didáctica	
B. Procedimientos trabajados en la unidad didáctica	
C. Actitudes trabajadas en la unidad didáctica	
5.3. ANÁLISIS DIDÁCTICO DE LOS CONTENIDOS DE GENÉTICA	249
5.3.1. Las dificultades de la enseñanza-aprendizaje de la Genética	250
5.3.2. Las ideas alternativas de los estudiantes sobre la herencia	254

5.3.3. Las ideas alternativas de los estudiantes sobre la Naturaleza de la Ciencia y las relaciones C-T-S	259
5.3.4. La influencia en el aprendizaje de la actitud hacia el estudio de la Ciencia	261
5.3.5. El nivel de desarrollo cognitivo de los estudiantes de Secundaria y las exigencias cognitivas de los contenidos de Genética	265
5.3.6. ¿Qué aporta de novedoso la unidad didáctica “Soy así por puro azar”?	267
5.4. SELECCIÓN DE OBJETIVOS DE LA UNIDAD DIDÁCTICA	271
5.5. SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS	273
5.5.1. Planteamiento metodológico	273
5.5.2. Diseño y secuencia de actividades para la unidad didáctica	275
A. Diseño de actividades	
B. Secuencia de actividades	
5.6. SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE EVALUACIÓN	283

PARTE III: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN Y RESULTADOS

CAPÍTULO 6. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

INTRODUCCIÓN	289
6.1. FASE PRELIMINAR: PRUEBAS PILOTO	289
6.2. FASE EXPERIMENTAL PREVIA: APRENDIZAJE DE LA METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO UNA INVESTIGACIÓN	268
6.2.1. Justificación del proceso de aprendizaje previo	268
6.2.2. Diseño y secuencia del proceso de aprendizaje previo	270
6.3. FASE EXPERIMENTAL EMPÍRICA: TRABAJO EN EL AULA	286
6.3.1. Descripción general del trabajo en el aula con el grupo experimental	286
6.3.2. Diferencias en el trabajo de aula de los grupos de investigación	303

CAPÍTULO 7. RECOGIDA DE INFORMACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

INTRODUCCIÓN	335
7.1. LA HOMOGENEIDAD DE LOS GRUPOS INVESTIGADOS: HIPÓTESIS INICIAL	340

7.1.1. Subhipótesis Inicial 1: Contraste de la homogeneidad en relación a los conocimientos sobre Genética y herencia humana	342
7.1.2. Subhipótesis Inicial 2: Contraste de la homogeneidad en relación a los conocimientos sobre la Naturaleza de la Ciencia	349
7.1.3. Subhipótesis Inicial 3: Contraste de la homogeneidad en relación a los procedimientos de resolución de un problema abierto	355
7.1.4. Subhipótesis Inicial 4: Contraste de la homogeneidad en relación a las actitudes relacionadas con la Ciencia	359
7.1.5. Subhipótesis Inicial 5: Contraste de la homogeneidad en relación a las actitudes relativas a las relaciones C-T-S	366
7.2. LA EVOLUCIÓN EN EL APRENDIZAJE A TRAVÉS DE UNA METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO UNA INVESTIGACIÓN: HIPÓTESIS DE INTERVENCIÓN EN EL AULA	371
7.2.1. Hipótesis 1 de Intervención en el Aula: Contraste del aprendizaje de la Metodología de Resolución de Problemas como una Investigación	374
A. Primer análisis: estudio global de todos los problemas y variables	
B. Segundo análisis: evolución del aprendizaje a lo largo de la resolución de problemas	
C. Conclusiones acerca de la Hipótesis 1	
7.2.2. Hipótesis 2 de Intervención en el Aula: Contraste del cambio conceptual	387
A. Estudio de la evolución en el aprendizaje de las variables de contenido	
B. Estudio de las interacciones mutuas de las variables de contenido	
C. Conclusiones acerca de la Hipótesis 2	
7.2.3. Hipótesis 3 de Intervención en el Aula: Contraste de la influencia del estilo cognitivo Dependencia-Independencia de Campo (DIC)	403
A. Subhipótesis 3.1: Contraste de la influencia del estilo cognitivo DIC en la realización de las variables metodológicas y de verbalización	
B. Subhipótesis 3.2: Contraste de la influencia del estilo cognitivo DIC en la realización de las variables de contenido	
C. Conclusiones acerca de la Hipótesis 3	
7.3. DIFERENCIAS EN EL APRENDIZAJE DE LOS GRUPOS INVESTIGADOS: HIPÓTESIS FINAL I	416
7.3.1. Subhipótesis Final I-1: Contraste de las diferencias en el aprendizaje de los contenidos conceptuales de Genética y herencia humana	417
A. Análisis de la prueba final de contenidos de Genética	
B. Análisis del uso de esquemas conceptuales en la prueba final de resolución de un problema abierto	
7.3.2. Subhipótesis Final I-2: Contraste de las diferencias en el aprendizaje de los contenidos conceptuales sobre la Naturaleza de la Ciencia	430
7.3.3. Subhipótesis Final I-3: Contraste de las diferencias en el aprendizaje de los procedimientos de resolución de problemas abiertos y cerrados	440
A. Estudio de la resolución de problemas abiertos	
B. Estudio de la resolución de problemas cerrados	

7.3.4. Subhipótesis Final I-4: Contraste de las diferencias en las actitudes relacionadas con la Ciencia	452
7.3.5. Subhipótesis Final I-5: Contraste de las diferencias en las actitudes hacia las relaciones C-T-S	458
A. Análisis de la prueba final de actitudes respecto a las relaciones C-T-S	
B. Análisis de la situación problemática personalizada	
7.3.6. Conclusiones acerca de la Hipótesis Final I	474
7.4. PERMANENCIA EN EL TIEMPO DE LOS APRENDIZAJES REALIZADOS: HIPÓTESIS FINAL II	477
7.4.1. Subhipótesis Final II-1: Contraste de la permanencia en el tiempo del cambio conceptual sobre Genética y herencia humana	479
A. Análisis de la prueba final II de contenidos de Genética	
B. Análisis del uso de esquemas conceptuales en la prueba final II de resolución de un problema abierto	
7.4.2. Subhipótesis Final II-2: Contraste de la permanencia en el tiempo del cambio conceptual sobre la Naturaleza de la Ciencia	484
7.4.3. Subhipótesis Final II-3: Contraste de la permanencia en el tiempo del cambio de metodología de resolución de problemas abiertos	489
7.4.4. Conclusiones acerca de la Hipótesis Final II	493
7.5. LA ACTITUD DE LOS ESTUDIANTES HACIA LA METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO UNA INVESTIGACIÓN: ASPECTOS METACOGNITIVOS	494

PARTE IV: CONCLUSIONES

CAPÍTULO 8. SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS E IMPLICACIONES DIDÁCTICAS

INTRODUCCIÓN	513
8.1. SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	515
8.2. IMPLICACIONES DIDÁCTICAS	520

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO I: UNIDAD DIDÁCTICA “¿SOY ASÍ POR PURO AZAR?”	555
ANEXO II: PROBLEMAS ABIERTOS DE GENÉTICA	617

PRESENTACIÓN

Este trabajo pretende **ligar la práctica educativa con la teoría didáctica** en relación con la enseñanza-aprendizaje de la Genética y la herencia humana para estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria, en concreto del curso de 4º de E.S.O. La investigación, que recoge esta memoria, tiene como finalidad estudiar la eficacia del desarrollo de una **metodología de resolución de problemas como investigación** (MRPI) en la consecución de contenidos de tipo conceptual, de procedimientos y de actitudes englobados dentro de **un enfoque educativo Ciencia-Tecnología-Sociedad** (C-T-S).

A lo largo de esta presentación se exponen cuáles han sido los supuestos de partida de este trabajo que aportan una visión general tanto de nuestras pretensiones, como de los obstáculos que se han ido superando en el proceso de diseño y realización de la investigación. También, se presenta un resumen de cada uno de los apartados en los que se ha estructurado esta memoria.

EL INICIO DE LA BÚSQUEDA DE UNA RESPUESTA: EL PRIMER PROBLEMA A RESOLVER

En un principio, el origen de este trabajo fue aunar mi interés, como profesora investigadora, en el enfoque educativo C-T-S con los trabajos de investigación sobre la MRPI que se están desarrollando en el departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la UCM.

La MRPI ha sido desarrollada, inicialmente, por el equipo del profesor Daniel Gil de la Universidad de Valencia. Estos autores, y otros que han trabajado en esta misma línea, han validado que su uso continuado permite, a través de un cambio metodológico, un cambio conceptual y de actitudes en el alumnado. Por ello, la opción de apostar por la MRPI, como la estrategia de enseñanza-aprendizaje más adecuada para conseguir nuestros propósitos estuvo clara desde el principio. Sin embargo, no era tan evidente cómo traspasar esta metodología a una disciplina como la Biología que, en general, presenta sus contenidos de forma más descriptiva y no como base para ser utilizados en la realización de problemas o ejercicios de tipo algorítmico.

Por otra parte, consideramos que incorporar una perspectiva C-T-S permitiría, además de conseguir una alfabetización científica y tecnológica, como ya había comprobado en trabajos anteriores con unidades didácticas y actividades sobre los nuevos avances en Ingeniería Genética, afianzar una visión de la Ciencia más cercana a la que mantienen en la actualidad filósofos y epistemólogos.

En este trabajo se ha adaptado esta metodología, más utilizada en otras ciencias experimentales, al campo de la Biología, y se ha investigado hasta que punto el **cambio metodológico o de procedimientos**, necesario para enfrentarse a problemas abiertos,:

- ✓ puede generar en los estudiantes un **cambio conceptual**, que se mantenga en el tiempo, sobre contenidos de Genética y de la naturaleza de la Ciencia,
- ✓ y un **cambio de actitudes relacionado con la Ciencia y con las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad**.

Además, hemos considerado importante realizar:

- ✓ un análisis sobre las **correlaciones entre los diferentes esquemas conceptuales** relativos a la herencia humana;
- ✓ y, también, analizar las interacciones que una característica individual, importante en el proceso de aprendizaje como es el **estilo cognitivo Dependencia-Independencia de Campo** (DIC), tiene en el aprendizaje y uso de la metodología aplicada.

Nuestra intención durante el desarrollo de la investigación ha sido elaborar:

- ✓ una **propuesta didáctica** novedosa, útil, y con proyección en el campo de la Biología;
- ✓ además de **aportar materiales de aula** que puedan ser utilizados por el profesor, tanto si desea investigar sobre su práctica docente y sobre el aprendizaje de su alumnado, como si desea motivar y favorecer la tarea de los estudiantes y la suya propia.

CONSIDERACIONES INICIALES: RESOLVER UN PROBLEMA ES COMO JUGAR CON UNA MUÑECA RUSA

Nos encontramos ante una investigación didáctica y, como cualquier otro tipo de investigación realizada en otros campos de la Ciencia, debe apoyarse en unas teorías didácticas consensuadas y, seguir una determinada metodología que avale los resultados que se vayan a obtener. Por otra parte, dentro de este trabajo se pretende valorar la utilidad educativa que tiene el trabajar en el aula de una manera en particular, resolviendo problemas abiertos como una investigación, que acerca al alumnado a una metodología de trabajo más cercana a la de los científicos. Por lo tanto, la forma en la que se ha desarrollado esta investigación, y como se presenta, es la misma con la que los estudiantes debían abordar el trabajo dentro del aula.

La metodología de resolución de problemas como investigación sigue las huellas de lo que debe ser una investigación científica. Tomando las palabras de Bunge (1987), *“en Ciencia no hay un camino real pero sí brújulas (método) que permite saber si se está en buen camino..... El método científico no es ya una lista de recetas sino el conjunto de procedimientos por los cuales se plantean los problemas científicos y se ponen a prueba las hipótesis científicas”*.

El conjunto de procedimientos, que nos han guiado como una brújula, tiene en cuenta que toda investigación debe empezar con una representación del problema donde se debe realizar un *“Análisis cualitativo”* para comprenderlo y restringir las condiciones y variables, y del cuál emane la *“Emisión de hipótesis”*, cuyo contraste guiará el resto del proceso. Una vez planteadas las hipótesis, se debe abordar la resolución del problema; primero, con la *“Elaboración de estrategias”* que sean las más adecuadas para la confirmación de las hipótesis; y, segundo, llevando a cabo su *“Resolución”*. Una vez obtenidos los resultados se debe proceder a su *“Análisis”* que nos permitirá interpretarlos a la luz de las hipótesis y del marco teórico utilizado.

Nuestro trabajo comienza con un problema al que le siguen otros a los que hay que dar una respuesta; por eso, decimos que realizar esta investigación ha sido, y así se ha planteado desde el principio, como jugar con una muñeca rusa. Un problema nos

lleva a otro y todos han sido tratados bajo la misma visión de lo que debe ser una investigación de tipo científico.

A continuación se realiza un breve repaso de los problemas, sus planteamientos y soluciones, que constituyen el grueso de este trabajo:

El **problema inicial a resolver** es el propio trabajo de investigación que está en la base de esta memoria: *“¿Cómo enseñar la Genética de forma distinta para que los estudiantes, además de mejorar los resultados que se obtienen con la enseñanza tradicional de la misma, basada en planteamientos teóricos y en problemas cerrados convencionales, puedan conseguir una alfabetización científica y tecnológica significativa en temas de actualidad científica, y una visión de la naturaleza de la Ciencia más próxima a la real?”*

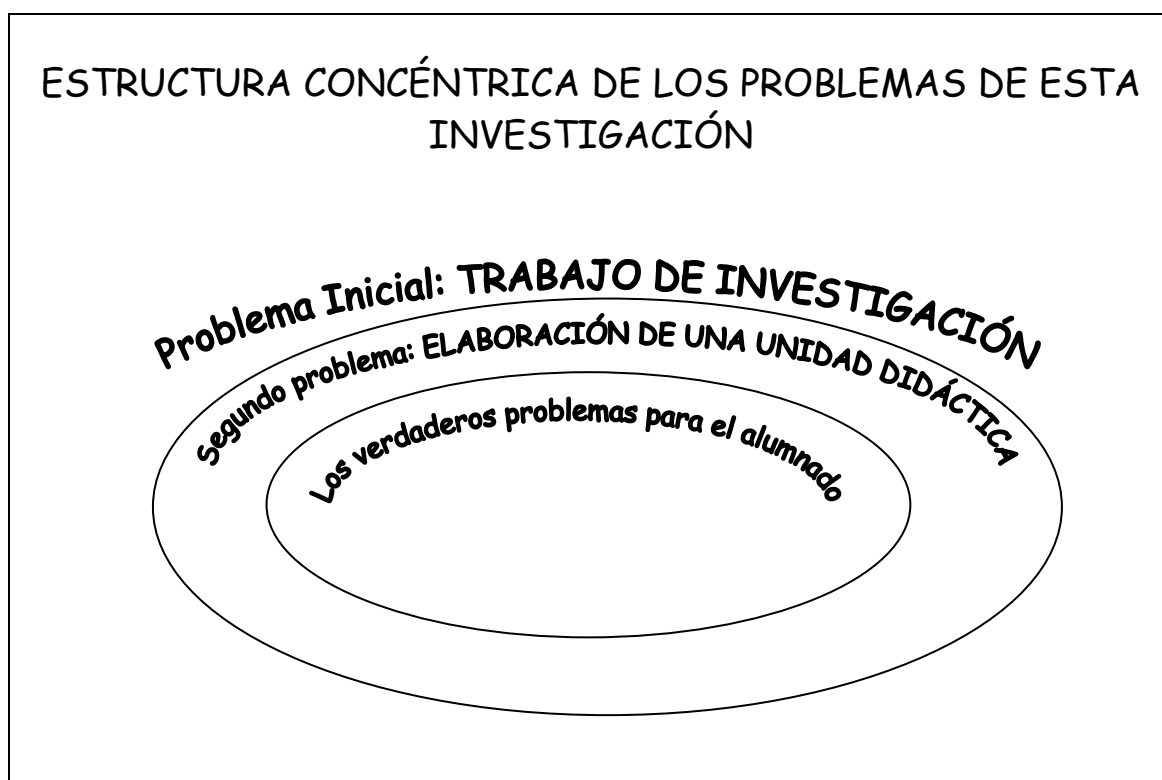
Tras el “Análisis cualitativo del problema”, apoyado en la práctica docente y en las teorías didácticas, llegamos a la “Emisión de hipótesis” sobre los resultados que esperamos obtener al aplicar la MRPI en la enseñanza-aprendizaje de la Genética para un nivel de 4º de E.S.O. Al plantearnos la “Elaboración de una estrategia de resolución” detectamos la necesidad de que el trabajo de los estudiantes en el aula a través de problemas debe estar guiado por una unidad didáctica coherente con el marco teórico en el que nos movemos y con las hipótesis de partida.

El **segundo problema**, *“¿Cómo construir una unidad didáctica coherente con un enfoque (C-T-S), basada en una metodología (MRPI), y dentro de un modelo de enseñanza-aprendizaje constructivista?”*, nos lleva a revisar diversos modelos de unidad didáctica, y los resultados obtenidos en diversas investigaciones en el campo de la didáctica de la Genética (“Análisis cualitativo del segundo problema”). Todo ello nos hace plantearnos de forma muy minuciosa enfoques, objetivos, contenidos, estrategias, materiales, tiempos y evaluación de la unidad didáctica que debe permitir la comprobación de nuestras hipótesis de trabajo. La puesta en práctica en el aula de la misma permitirá la “Resolución” de nuestro problema inicial.

Por último, la unidad didáctica está conformada por otros **verdaderos problemas para los estudiantes**, que deben resolverse siguiendo las etapas de la

MRPI. La cuestión para la elaboración de cada uno de ellos ha sido: “¿Cómo diseñar problemas abiertos, y cómo valorar la resolución de los mismos que hagan los estudiantes?”. Los problemas abiertos diseñados se ajustan a la MRPI y permiten alcanzar todos los objetivos que se persiguen en este trabajo.

En el siguiente esquema se da una visión general del proceso de resolución de problemas dentro de la investigación, donde queremos reflejar esta idea de que la resolución de un problema encierra el planteamiento de otros. Igual que en cualquier otra investigación científica, el proceso de creación consiste en ir quitando las distintas capas (obstáculos) que rodean el hecho que se investiga, igual que se van quitando los distintos elementos que conforman una muñeca rusa.



En conclusión, todo el desarrollo de esta investigación ha girado de forma concéntrica en torno a la metodología de trabajo. Tenemos interés en recalcar esta circunstancia porque si apoyamos todas nuestras hipótesis de trabajo en una determinada metodología de investigación, ésta debe ser adecuada en los procesos tanto fuera como dentro del aula.

ESTRUCTURA DEL TRABAJO

En el siguiente organigrama, que contempla las etapas de la MRPI, quedan reflejadas las diferentes parte de esta memoria:

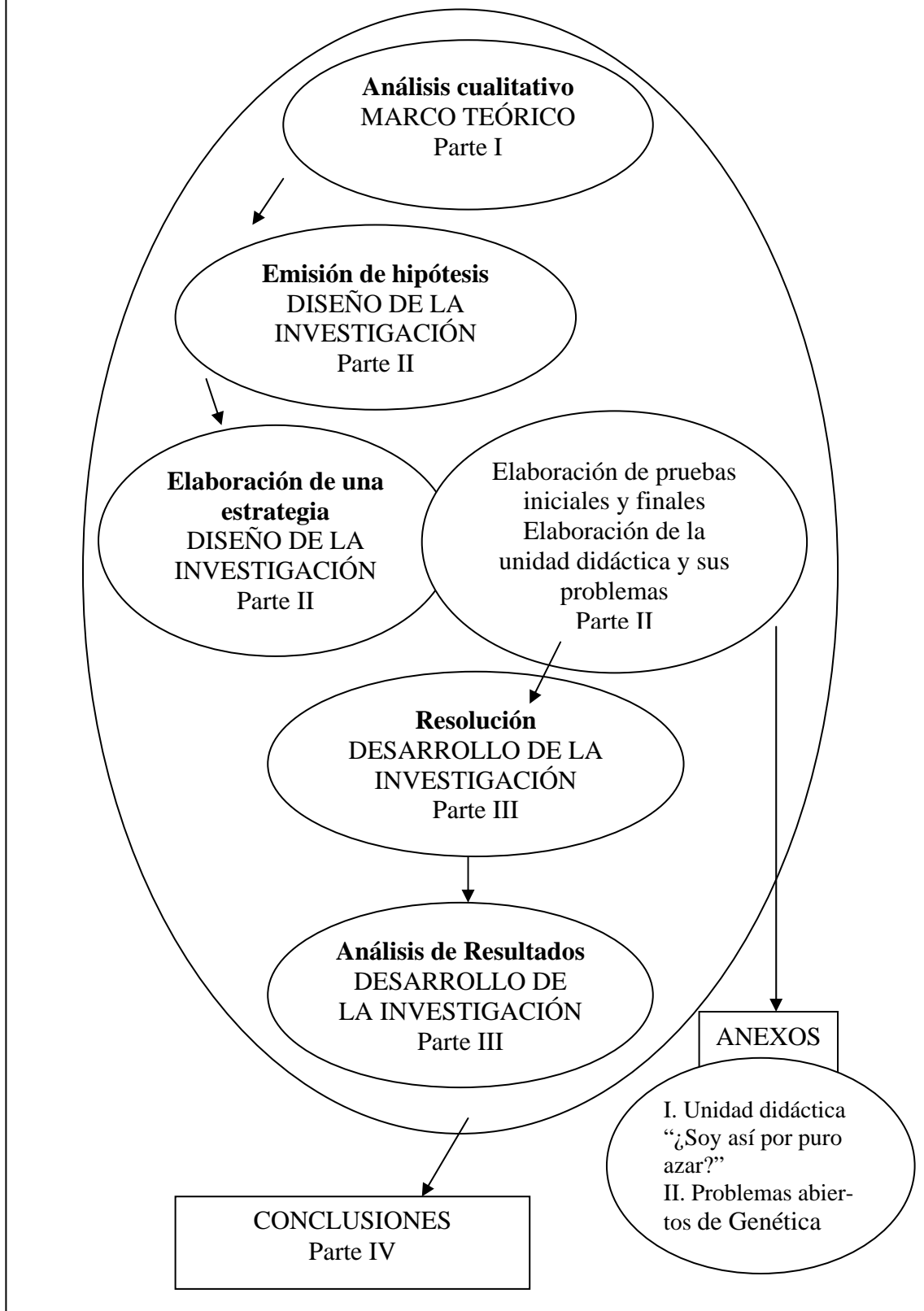
Parte I: **Marco teórico**, o el análisis cualitativo del problema a resolver

Parte II: **Diseño de la investigación**, o el conjunto de las hipótesis que se formulan y la elaboración de la estrategia de resolución.

Parte III: **Desarrollo de la investigación y resultados**, donde se recoge el proceso de puesta en práctica de la unidad didáctica, los resultados obtenidos y su análisis y discusión.

Parte IV: **Conclusiones**

ESQUEMA GENERAL DE ESTA MEMORIA



A continuación se realiza un breve resumen de los contenidos que se recogen en cada una de estas partes.

PARTE I. MARCO TEÓRICO

En el **Capítulo 1: El punto de partida**, se presentan los planteamientos que originan la investigación. Este panorama consiste en ir perfilando, primero, la dificultad que plantea la enseñanza de las ciencias y las respuestas que desde la epistemología, la psicología y la didáctica surgen. Segundo, el modelo didáctico con el que se trabaja, lo que nos obliga a delimitar lo que vamos a entender por constructivismo. Y, tercero, el contexto educativo en el que nos encontramos.

En el **Capítulo 2: La metodología de resolución de problemas como una investigación (MRPI) y la enseñanza de las ciencias**, se hace una síntesis sobre la resolución de problemas en la práctica educativa. Se discuten los conceptos de problema y de resolución de problemas desde el punto de vista cognitivo del aprendizaje; es decir, qué tipo de estrategias o procesos cognitivos están implicados en la resolución de los mismos; y desde el punto de vista didáctico; es decir, cómo enseñar a resolverlos. También, se realiza una revisión de los diferentes modelos de resolución de problemas abiertos disponibles en la bibliografía para terminar con el asumido por nosotros.

En el **Capítulo 3: Aproximación al enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad (C-T-S)**, se intenta dar una visión general del mismo, sus orígenes y objetivos. Al analizar la aproximación de este enfoque al currículo escolar incidimos en las dos grandes vertientes del mismo, primero el tratamiento de temas de incidencia social y la alfabetización científica y tecnológica y, segundo los aspectos sociales de la Ciencia y su naturaleza. Terminamos con una comparación entre las características de un curso de ciencias estándar y un curso de ciencias C-T-S.

PARTE II. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El **Capítulo 4: Diseño y metodología de la investigación** recoge las hipótesis de trabajo y el diseño y secuencia seguida por la misma.

Las hipótesis están estructuradas según los momentos de recogida de la información:

1. Inicial. La hipótesis es de carácter diagnóstico y se refiere a la homogeneidad del grupo experimental y control en sus conocimientos iniciales sobre conceptos de Genética y herencia humana y de la Naturaleza de la Ciencia, procedimientos de resolución de problemas abiertos, y actitudes relacionadas con la Ciencia y las relaciones C-T-S.
2. Intervención en el aula. Las hipótesis son de comprobación sobre el aprendizaje de la MRPI; si los estudiantes son capaces de reestructurar los conceptos que intervienen en los problemas y, analizar la repercusión que el estilo cognitivo Dependencia-Independencia de Campo (DIC) tiene en cada tipo de aprendizaje.
3. Final I. La hipótesis de este momento pretende comprobar que el aprendizaje de los contenidos (conceptos, procedimientos y actitudes) logrado por el grupo experimental es desde el punto de vista estadístico significativamente superior al del grupo control.
4. Final II. La hipótesis se refiere a la estabilidad en el tiempo del cambio conceptual y de procedimientos producido en el grupo experimental gracias a la aplicación de una MRPI.

Para cada uno de estos momentos se presentan las pruebas elaboradas para indagar el proceso de enseñanza y aprendizaje llevado a cabo con estudiantes de 4º de E.S.O.

En el **Capítulo 5: Elaboración de la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?”**, se recoge el diseño de la misma que se experimentará en el aula. Se ha optado por un modelo constructivista que surge tras un análisis científico y didáctico de los contenidos lo que nos lleva a justificar el por qué de su diseño y lo novedoso de la misma.

La descripción del cuerpo de la unidad didáctica es un apartado amplio ya que se delimitan y justifican la selección de los distintos tipos de contenidos; su secuencia, la forma de trabajarlos, y su evaluación. La unidad didáctica, con el conjunto de los materiales, y los problemas abiertos se recogen en los dos anexos de esta memoria.

PARTE III. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN Y RESULTADOS

El **Capítulo 6: Desarrollo de la investigación**, contiene la descripción de todo el proceso realizado en el aula con los estudiantes. La valoración de los efectos que una determinada metodología de trabajo tenga en los aprendizajes de los estudiantes sólo es factible si ésta se conoce o domina. Por ello, se ha hecho necesario un proceso para familiarizar a los estudiantes en la MRPI.

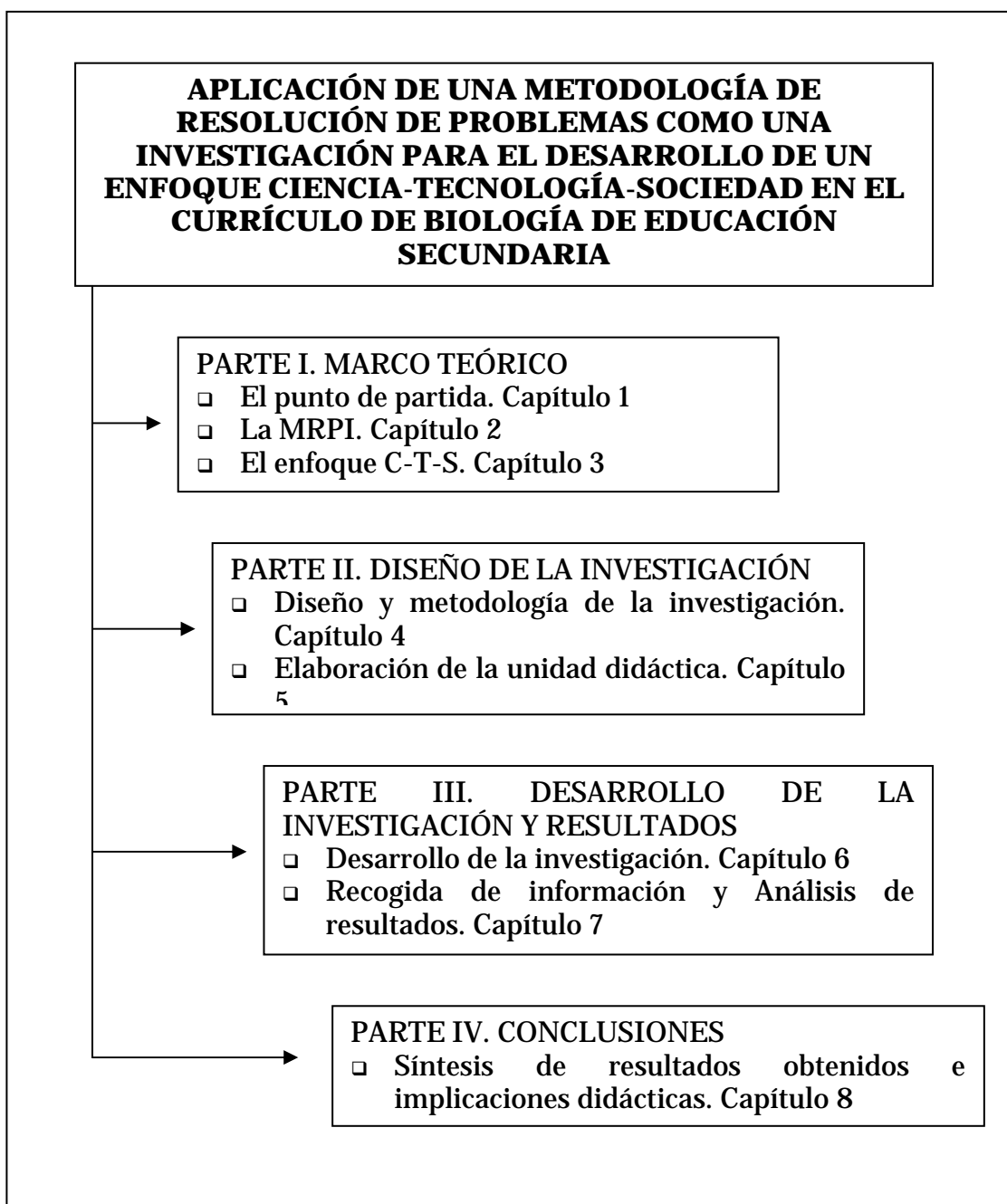
A continuación, se describe cómo se ha organizado el trabajo de aula, tanto para la profesora-investigadora como para los estudiantes. En este apartado, va a ser de gran ayuda la transcripción de los diarios de clase de las profesoras, tanto del grupo experimental como del control, porque nos va a revelar las diferencias entre una y otra metodología de trabajo (MRPI frente a tradicional) en el tipo de actuaciones que profesorado y alumnado tienen en el aula.

En el **Capítulo 7: Recogida de información y Análisis de los resultados**, se presenta el conjunto de resultados organizados en torno a las hipótesis de investigación (Inicial, Intervención en el aula, Final I y Final II), y los análisis estadísticos llevados a cabo para el contraste de las mismas. Toda la información necesaria para comprender este capítulo (conjunto de datos, pruebas, muestras, hipótesis y estadísticos) aparece de forma esquemática en la introducción del capítulo.

PARTE IV. CONCLUSIONES

El último capítulo de esta memoria **Capítulo 8: Síntesis de los resultados obtenidos e implicaciones didácticas**, supone el colofón a este trabajo recogiendo una síntesis global de los resultados ya pormenorizados en el capítulo anterior, y las posibles implicaciones didácticas escolares que se desprenden de los mismos.

En el siguiente esquema se exponen los contenidos de este trabajo de investigación y su disposición en las páginas que siguen:



PARTE I.

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 1

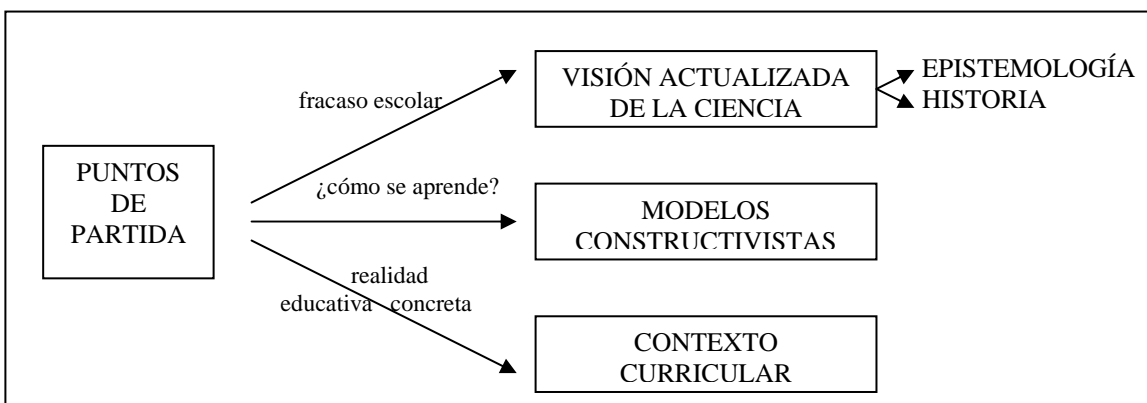
EL PUNTO DE PARTIDA

INTRODUCCIÓN

En esta memoria de tesis doctoral se recoge el desarrollo y los resultados de un trabajo de investigación sobre la aplicación de la metodología de resolución de problemas como investigación (MRPI), con un enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad (C-T-S), dentro de la enseñanza de las ciencias y en un contexto escolar formal de Educación Secundaria Obligatoria. Como cualquier investigación, ésta surge del intento de dar respuesta a un problema, la dificultad de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias; se desarrolla dentro de un marco de conocimientos y teorías que conforman la disciplina de la didáctica de las ciencias experimentales; y de un contexto, una realidad educativa concreta.

Para ubicar el marco teórico de la investigación, en primer lugar hablamos del fracaso escolar en la enseñanza de las ciencias y de cómo una visión actualizada de la ciencia, desde su epistemología y su historia, permite vislumbrar cuál debe ser la respuesta ante la problemática de la enseñanza y aprendizaje de esta disciplina escolar. En segundo lugar, planteamos cómo se aprende ciencias, y lo hacemos desde el modelo constructivista que emerge desde la psicología y que está en la base de la concepción actual sobre el aprendizaje escolar. Por último, revisamos el contexto curricular actual, las demandas que desde el mismo se realizan a la enseñanza de las ciencias y sus implicaciones.

En el siguiente esquema se presentan los puntos de partida de esta investigación que van a configurar el marco teórico en el que nos movemos.



Cuadro 1.1: Puntos de partida de la investigación.

1.1. VISIÓN ACTUALIZADA DE LA CIENCIA Y SU ENSEÑANZA

Quizás el tema más relevante, para el profesorado, es cómo conseguir un mayor aprendizaje por parte de los estudiantes. Éste es precisamente el “problema” que desencadena ésta y otras investigaciones didácticas. Antes de que empezasen a emerger las didácticas específicas, ya la psicología se había planteado el problema de los procesos de enseñanza aprendizaje.

Las diversas escuelas psicopedagógicas han desarrollado modelos sobre cómo aprenden los estudiantes y, en consecuencia, cómo deben enseñar los profesores. Sin embargo, no se puede definir un modo de aprendizaje general que sirva a cualquier individuo, en cualquier situación y para cualquier contenido específico escolar (Shulman, 1987; Pozo, 1989). Los distintos tipos de contenidos, que conforman las disciplinas escolares, son pues relevantes a la hora de definir el proceso de enseñanza-aprendizaje. Por lo tanto, es evidente que los mecanismos de enseñanza y aprendizaje de un idioma, de la historia, del dibujo o de la ciencia, deben diferir.

En nuestro caso, se pretende mejorar el aprendizaje realizado por estudiantes de E.S.O. sobre contenidos científicos, asumiendo que esta enseñanza plantea unas dificultades inherentes con su propia naturaleza. Reflejo de las mismas son, por una parte, el grave fracaso escolar y, por otro, el creciente rechazo de los estudios científicos y la presencia de actitudes negativas hacia la ciencia, situación que, según nos muestra la investigación, se incrementa con la edad de los estudiantes (Schibeci, 1984; Giordan, 1985; James y Smith, 1985; Welch, 1985; Yager y Penick, 1983, 1986; Simpson y Oliver, 1990; Simpson y otros, 1994; Espinosa y Román, 1991; Ortega y otros, 1992; Solbes y Vilches, 1997; Vázquez y Manassero, 1997).

Como posible causa de esta situación, y de acuerdo con un estudio reciente de Fernández González y otros (2001) sobre los diferentes modelos didácticos en relación con la enseñanza de las ciencias, podemos considerar la tardía incorporación, en el siglo XVIII, de los estudios de ciencias en la educación no universitaria. Además, la introducción de estos nuevos contenidos se hace siguiendo la tradición escolar sobre

cómo se debe enseñar, que sugiere el carácter acumulativo del conocimiento, aportado por los grandes autores, de generación en generación y, que la escuela va transmitiendo y perpetuando en los nuevos estudiantes:

“La tradición de la enseñanza en el aula es muy anterior al método científico, que se convierte en un incómodo añadido que el profesor debe asumir. Como suele ocurrir en un sistema social de gran inercia, la escuela y la universidad absorben la entrada de novedades, modificándolas y adaptándolas a su manera: las ciencias se continúan enseñando en el aula bajo los mismos esquemas de leyes y conceptos que las demás disciplinas. Se añade parte del nuevo elemento: el laboratorio, en el que se trabajan los aspectos manuales y los métodos de la ciencia. Parece nacer así un sistema intrínsecamente contradictorio, que caracteriza la enseñanza de las ciencias. Mientras la ciencia se genera mediante unos métodos que integran trabajo conceptual y manual, medición y abstracción sistemática, paciencia e imaginación, la enseñanza de la ciencia separa el trabajo experimental del laboratorio y el trabajo intelectual del aula” (Fernández González y otros, 2001, p. 60)

Sin embargo, la escuela tradicional, con sus métodos, creencias y tradiciones, es una institución social muy arraigada y, por lo tanto, difícil de cambiar a pesar de los intentos manifiestos de las diferentes reformas educativas (L.G.E. y L.O.G.S.E.). Una de las creencias, todavía muy extendida, es que enseñar es una actividad simple de “sentido común” para la que bastan los conocimientos científicos (“conocer la materia”), algo de práctica (“tener tablas”), y quizás un pequeño barniz de conocimientos pedagógicos (“empatía con el alumnado”). Según estas creencias, si el profesor se prepara muy bien su clase el alumno debe aprender. Este tipo de concepciones aún persisten en nuestra sociedad, e incluso en las autoridades académicas y en los mismos docentes (Gil, 1991; Gil y otros, 2000).

Las evidencias de los resultados escolares demuestran que, este modelo hegemónico de enseñanza-aprendizaje, no es válido para conseguir un aprendizaje de los contenidos científicos por parte de los estudiantes; e incluso, genera rechazo y abandono de los mismos.

La enseñanza de las ciencias debe realizarse siguiendo los propios métodos de la ciencia. Esta idea no es novedosa y sugiere que la forma en la que se generan los conocimientos científicos es la pauta de cómo se debe trabajar con los mismos en un contexto escolar. Sin perder de vista que la ciencia escolar es distinta a la ciencia de los expertos:

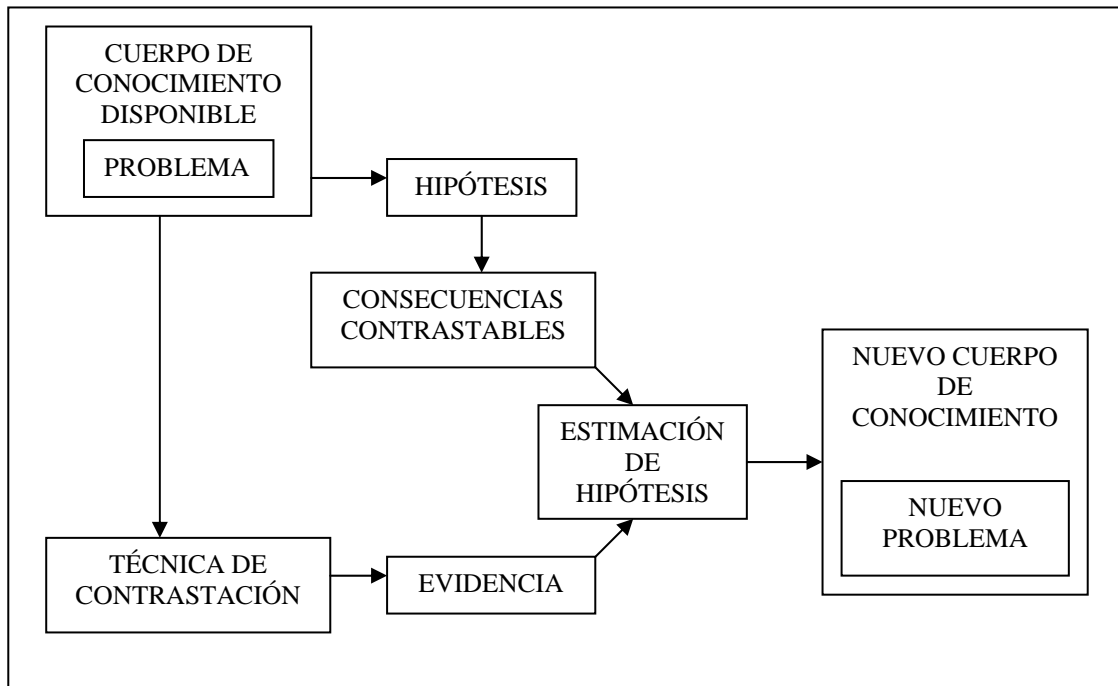
“Consideramos el conocimiento escolar como el conocimiento que se elabora en la escuela ... que aunque tiene como marco de referencia el conocimiento científico, no es un conocimiento científico en sí, sino una elaboración de este conocimiento que se ajusta a las características propias del contexto escolar” (Cubero y García cit. Gil, 1994a, p. 17)

Todo esto nos lleva a considerar que **la mejora de la enseñanza-aprendizaje de las ciencias parte de la introducción de una metodología científica didáctica para la enseñanza en el aula**, que debe involucrar por tanto al profesorado y que deberá tener presente los avances del campo de la didáctica específica y de otros más fundamentales a los que nos referimos a continuación.

A. En primer lugar, para resolver el problema de cómo debe llevarse a cabo el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias, y que los estudiantes realicen un aprendizaje más significativo, nos obliga a **revisar la epistemología y la historia de la propia ciencia, para identificar qué ciencia se debe enseñar**, lo que Ziman (1980) recogía en estas palabras: *“Enseñar un poco menos de ciencia como tal y un poco más sobre la ciencia”*.

Así, es necesario partir de una visión de la **epistemología** más actualizada en la que la actividad científica es considerada como una actividad humana de creación. El cuerpo de ideas o conocimientos, que constituyen las teorías científicas, se generan en procesos de investigación para la resolución de problemas, en los que se plantean hipótesis que hay que contrastar. Sin llegar a hablar de método científico, porque no existe un modelo único de construcción de conocimiento científico, Bunge (1987) identifica fases generales, que no pautas, que se sigan mecánicamente, en la investigación científica: primero se parte del planteamiento de un problema; segundo, se construye un modelo teórico donde se tienen en cuenta factores pertinentes y la invención de hipótesis; tercero, se deducen consecuencias particulares buscando

soportes racionales o empíricos; cuarto, se prueban las hipótesis diseñando y ejecutando diseños experimentales de los que se obtienen datos y conclusiones; y, por último, se introducen las conclusiones en la teoría reajustando el modelo teórico si es necesario. En el siguiente cuadro se recoge un ciclo de investigación tal y como lo elabora el autor.



Cuadro 1.2: Un ciclo de investigación, según Bunge (1987, p. 26)

Si comparamos la ciencia de los expertos con la ciencia escolar, podemos ver que ambas son un cuerpo de conocimientos, y la resolución de problemas es una actividad común y central. Sin embargo, los científicos cuando se plantean un problema lo hacen desde las teorías científicas en las que se mueven, y al resolverlo se apoyan en este conocimiento, lo reestructuran y así generan nuevo conocimiento. Los estudiantes cuando resuelven problemas tradicionales lo hacen con la intención de realizar una aplicación concreta de la teoría que ha sido transmitida como un conjunto de hechos y principios presentados de forma aséptica, sin un contexto, definitivos e inalterables (Gil, 1993a). Sin embargo, desde la epistemología uno de los aspectos que definen a la ciencia es el proceso de cambio y evolución en las teorías científicas, y que no sólo ha consistido en rupturas de tipo conceptual con el paradigma vigente, revolución científica según Kuhn, sino que, además se ha logrado con ayuda de un cambio de tipo metodológico (formas de proceder) y epistemológico (formas de razonar) (Hashew, 1986).

Así, podemos afirmar que lo que se hace en el aula tradicional no es coherente con la epistemología, con una visión actual de la ciencia (Hodson, 1993; Porlán, 1993). Por ello, se puede establecer la hipótesis de que el aprendizaje de los estudiantes, entendido como cambio conceptual, no se producirá sino se acompaña de un cambio metodológico profundo (Gil y Carrascosa, 1985). Por otra parte, el modelo constructivista, en el que se mueve la educación actual, es coherente con una enseñanza que intente **aproximar el aprendizaje de las ciencias a las características de una investigación científica dirigida** (Gil y Martínez-Torregrosa, 1987; Burbules y Linn, 1991; Duschl y Gitomer, 1991; Porlán, 1993). Diversas investigaciones que han trabajado con la metodología de resolución de problemas como una investigación (MRPI) han podido constatar que el cambio metodológico genera un cambio conceptual y de actitudes en los estudiantes (Martínez Torregrosa, 1987; Ramírez, 1990; Reyes, 1991; Oñorbe, 1993; Varela 1994; Martínez y Varela, 1996; Varela y Martínez, 1997, 1998).

B. En segundo lugar, podemos buscar soluciones al fracaso escolar en las aportaciones que provienen de la **historia de la ciencia**. En una reciente revisión realizada por Fernández González, sobre fundamentos históricos de la enseñanza de las ciencias, se recoge:

“En las últimas décadas hemos asistido a un cambio de perspectiva en la historiografía de la ciencia, donde un enfoque tradicional, internalista, esto es el de la historia centrada sobre la misma ciencia, e interpretada además desde el presente, ha perdido fuerza a favor del enfoque contextualista, el cual presta una atención especial a la interacción permanente entre la ciencia y la sociedad, y sus implicaciones a muy diversos niveles: económico, sociológico, ideológico, estético, etc.” (Fernández González, 2000, p. 71).

Este cambio hacia una perspectiva contextualista de la historia de la ciencia, ya propuesta por otros autores (Kragh, 1987; Jones, 1989), promueve **la emergencia del enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad** para la enseñanza de las ciencias. La visión actualizada de la ciencia, uno de los puntos de partida de esta investigación, nos permite aventurar dos ejes en los que debe asentarse la enseñanza de las ciencias: una metodología de resolución de problemas como una investigación y un enfoque C-T-S.

1.2. ¿CÓMO SE APRENDE? MODELOS CONSTRUCTIVISTAS

La preocupación por la enseñanza-aprendizaje de los distintos contenidos escolares, y en concreto de los científicos, ha generado numerosas investigaciones para mejorar el aprendizaje y los resultados académicos. Desde la psicología, donde surgen en principio estos estudios, y hasta la mitad de la década de los setenta, los trabajos sobre aprendizaje se desarrollan, en gran medida, sobre dos modelos: la teoría piagetiana del desarrollo cognitivo y los tipos de aprendizaje gagetiano, de corte conductista. Estos modelos entran en crisis ante la constatación de la existencia de los llamados esquemas conceptuales propios de los alumnos, previos a la instrucción e inalterables tras la misma. En palabras de Pozo:

“Si la década de los 70 fue para la enseñanza de las ciencias la “edad de Piaget”, la recién terminada década de los 80 puede calificarse muy bien como la época de las concepciones alternativas” (Pozo, 1993, p. 193).

La existencia de estas preconcepciones provoca el desarrollo de un modelo teórico de aprendizaje, que no de enseñanza, sobre cómo el individuo genera su propio conocimiento y se le denomina constructivista teniendo en cuenta los trabajos del psicólogo Kelly (1955) sobre los “constructos personales”. Sin embargo, el constructivismo no es un modelo en sí, es más bien una tendencia o enfoque que presenta numerosas caras o facetas:

“El núcleo original del constructivismo es una teoría psicológica sobre cómo se desarrollan las creencias, no sobre qué hace que sean verdad o se consideren conocimiento científico. Desde este núcleo el constructivismo se ha expandido para incorporar una visión sobre epistemología, enseñanza, currículo, teoría educativa, ontología y metafísica” (Matthews, 1997, p. 6)

La influencia del constructivismo se refleja en las investigaciones didácticas que desde los años 80 buscan identificar y categorizar las concepciones alternativas de los estudiantes y, en el desarrollo de distintos modelos de enseñanza por cambio conceptual que permitan el uso, por parte de los mismos, de concepciones más cercanas a las posturas científicas actuales. El hecho de que se trate de un modelo teórico sobre el

aprendizaje hace que sea “*muy difícil ser constructivista en el aula*” (Moreira, 2000, p. 90). Los pobres resultados a la hora de conseguir el cambio conceptual en los estudiantes ha originado una corriente de críticas sobre el modelo constructivista; pero, ¿qué entendemos por constructivismo?

Para movernos con seguridad, evitando simplificaciones o ambigüedades dentro de los modelos constructivistas sobre el aprendizaje, vamos a ir revisando, paso a paso, cada uno de los aspectos que hemos mencionado. En primer lugar, planteamos la gran variedad de formas o tipos de constructivismo, según cuál sea la perspectiva desde la que se hable. En segundo lugar, recogemos las características de las ideas previas de los estudiantes, para, en último lugar, revisar los diferentes modelos de cambio conceptual que se han propuesto, la evolución que el propio término de “cambio conceptual” está sufriendo, y las implicaciones didácticas que de todo lo expuesto se puedan extraer.

1.2.1. LAS DISTINTAS CARAS DEL CONSTRUCTIVISMO

El constructivismo, como concepción del aprendizaje, presenta diversas tendencias. Las “*muchas formas del constructivismo*”, que aparecen en la literatura, son recogidas en un editorial de la revista *Journal of Research in Science Teaching* por Ron Good (1993). El término constructivismo se puede encontrar modificado o “sazonado” por términos como: “contextual, dialéctico, empírico, humanístico, procesamiento de la información, metodológico, moderado, piagetiano, postepistemológico, pragmático, radical, racional, realista, social y sociohistórico”. Más recientemente, Geelan (1997), a partir de una exhaustiva revisión bibliográfica, identifica seis formas de constructivismo. Estas seis formas serían: el constructivismo personal de Kelly y Piaget, el constructivismo radical de Von Glasersfeld, el constructivismo social de Solomon, el construccionismo social de Gergen, el constructivismo crítico de Taylor y el constructivismo contextual de Cobern.

Sin entrar en una descripción de cada una de los enfoques que define Geelan, todos ellos pueden agruparse en relación a dos aspectos: primero, **si el aprendizaje es individual o social**; y, segundo, **si la visión de la naturaleza de la ciencia es objetivista o relativista**. Definiendo cada uno de estos parámetros, los constructivismos *individuales* consideran que son los propios sujetos de forma aislada los que construyen

Las perspectivas iniciales del constructivismo, donde se considera que cada individuo, como un ente aislado, debe construir un conocimiento científico definido, están en la base de la mayoría de las propuestas de enseñanza que buscan el cambio conceptual. Estas formas están más conectadas con la enseñanza de las ciencias que con la epistemología, porque la idea de “cambio conceptual”, entendida como la sustitución de un conocimiento por otro, refleja una idea del mismo como algo definitivo y más correcto, que cualquier otro tipo de conocimiento, razón por la que el alumno debe aprenderlo. Por ello, tanto desde supuestos epistemológicos como en la práctica educativa, el constructivismo así entendido ha cosechado diversas críticas (Millar, 1989; Suchting, 1992; Matthews, 1993; Solomon, 1994a; Phillips, 1995; Osborne, 1996).

En este momento, **un modelo de enseñanza-aprendizaje constructivista debe reflejar**, por una parte, **una visión de la ciencia más cercana a las corrientes epistemológicas actuales**, porque la ciencia es dinámica y la enseñanza de las ciencias lo debe tener presente; y, por otra parte, debe **aceptar que cualquier tipo de conocimiento se genera dentro de un contexto social**. A este respecto la postura más radical sería la de Gergen (1995) para quien el conocimiento no crece en las cogniciones individuales (endogénesis) o en el “mundo real” (exogénesis), sino en las sociedades.

Podemos terminar este repaso, sobre lo que se entiende por constructivismo, diciendo que aún está vigente la calificación del mismo como “*un cuerpo teórico fragmentado pero convergente*”, realizada por Aliberas y otros (1989); así como, el hecho, que también indican estos autores, de la necesidad de consensuar un modelo teórico sobre el aprendizaje de las ciencias. Por el momento, en lo que sí hay consenso es que el constructivismo es un modelo de cómo se aprende pero sin estar ligado forzosamente a un determinado modelo de instrucción (Millar, 1989), y que es una referencia para pensar sobre enseñanza y aprendizaje (Tobin, 1990). En términos de Kuhn, la investigación en didáctica de las ciencias que se realiza en la actualidad se mueve dentro del paradigma constructivista aceptado por toda la comunidad científica como marco de referencia.

1.2.2. LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE LOS ESTUDIANTES

Las primeras investigaciones, desarrolladas principalmente en la década de los 80, dentro del paradigma constructivista de la didáctica de las ciencias, sirvieron para identificar y caracterizar las ideas alternativas de los estudiantes. Los numerosos estudios y sus revisiones (Driver, 1986; Driver y Erickson, 1983; Driver y otros, 1994; Oliva, 1999a; Osborne y otros, 1983; Serrano, 1988a), permiten decir que las concepciones de los estudiantes se originan en las experiencias y observaciones de la vida diaria, en el uso del lenguaje y en creencias culturales, y se caracterizan por ser:

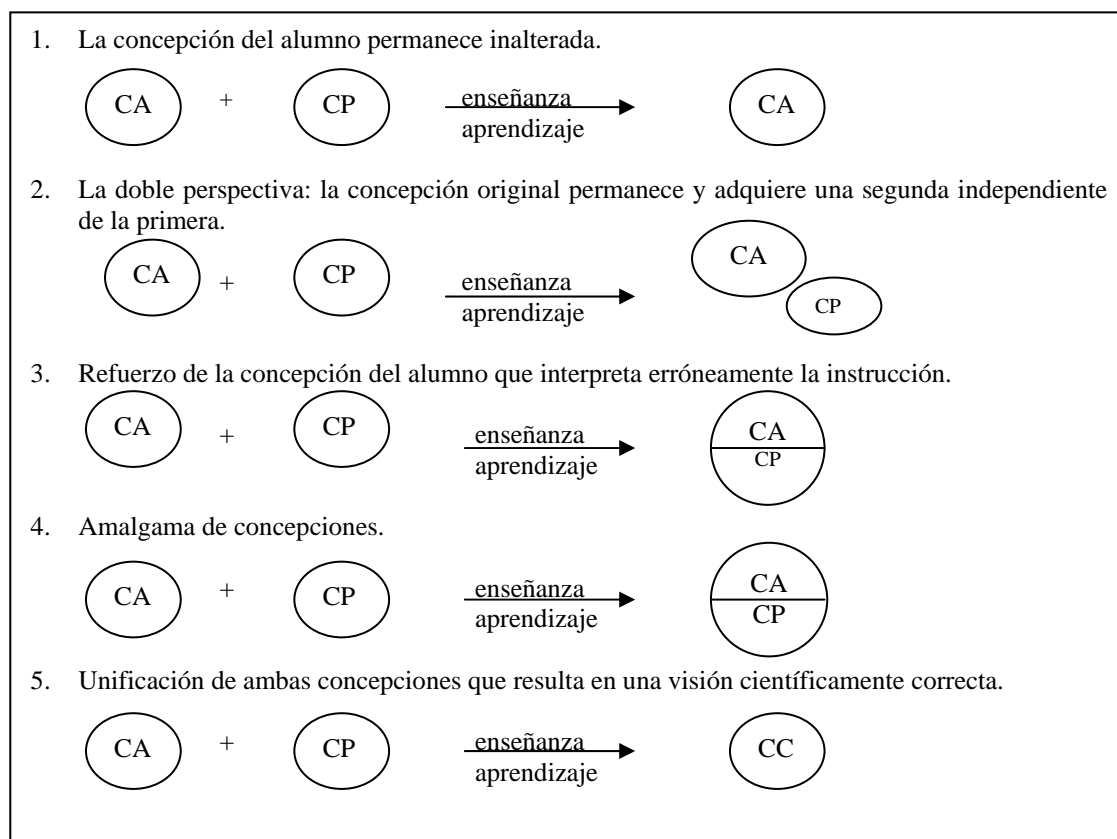
- Construcciones personales que han sido elaboradas por el sujeto a partir de su experiencia de modo que sean coherentes para él, pero incoherentes desde el punto de vista de la ciencia
- Estructuras mentales con cierto grado de coherencia interna, y cierto grado de validez para explicar fenómenos observables y, por lo tanto, útiles.
- Compartidas por los sujetos, así los estudiantes de distintas edades y contextos culturales y sociales, mantienen el mismo tipo de concepciones.
- Muy estables y resistentes al cambio. No se modifican fácilmente mediante la enseñanza habitual, aún cuando ésta se repita de forma reiterada. El hecho de que tengan cierto nivel de validez y sean compartidas por un amplio colectivo las refuerza.
- Implícitas, porque las ideas que los estudiantes manifiestan son sólo algunas de las manifestaciones de las concepciones que pueden coexistir en un sujeto sobre una misma cuestión.
- Semejantes a concepciones que estuvieron vigentes o fueron utilizadas por científicos a lo largo de la historia de la ciencia.

Las investigaciones sobre concepciones de los estudiantes no pueden limitarse a indicar cuáles son estas y lo difícil que es cambiarlas. Una vez conocidos los esquemas alternativos hay que orientar el aprendizaje a generar un cambio en los mismos. Este cambio debe perseguir la construcción, por parte de los estudiantes, de esquemas conceptuales más cercanos a la postura científica, sin olvidar que la ciencia de los científicos no es la ciencia que se reelabora en el ámbito escolar, y mucho menos la ciencia que los estudiantes pueden construir. A este respecto, Osborne y otros (1983)

indican tres grandes diferencias entre el modo en que los científicos se enfrentan a la realidad y la manera en que lo hacen los estudiantes:

1. El carácter abstracto del razonamiento científico. Los científicos pueden acercarse a un nuevo conocimiento de forma abstracta mientras que los estudiantes necesitan acercarse desde lo concreto y observable.
2. La coherencia teórica de las explicaciones científicas. Los científicos utilizan teorías generales que les permiten explicar diversos fenómenos y relacionarlos entre sí. Los estudiantes ven los fenómenos de forma aislada, pudiendo utilizar explicaciones diferentes, que a ellos les resultan válidas, para darles sentido; aún cuando estos fenómenos estén relacionados y existan incoherencias entre las distintas explicaciones.
3. El uso de un lenguaje formalizado por la ciencia. Los científicos han desarrollado un lenguaje muy específico para definir cada elemento o proceso, lenguaje que utiliza toda la comunidad científica. Los estudiantes se encuentran en contextos sociales donde las palabras se emplean con más de un significado y no suele coincidir con el científico, en caso de que el término se utilice también en la ciencia.

Gilbert y otros (1982) se han preguntado qué tipo de interacciones pueden darse entre la ciencia de los alumnos y la ciencia del profesor que pretende que el estudiante observe los fenómenos bajo la óptica de la ciencia de los científicos. En su trabajo con estudiantes de 10 a 17 años, estos autores describen cinco patrones o resultados de las interacciones que se producen durante la instrucción y en relación a las concepciones previas. A continuación recogemos un cuadro tomado de Serrano (1988a) donde aparece una expresión gráfica de los mismos:



Cuadro 1.4: Resultado de la interacción de la ciencia de los alumnos (CA) con la ciencia del profesor (CP) en la instrucción. (Gilbert y otros, 1982). El cambio de tamaño de letra indica que la ciencia del profesor tiene menos peso en el marco conceptual del alumno; sólo se usa en contextos de ciencias como los exámenes (resultado 2), o de forma errónea para reforzar las representaciones iniciales (resultado 3).

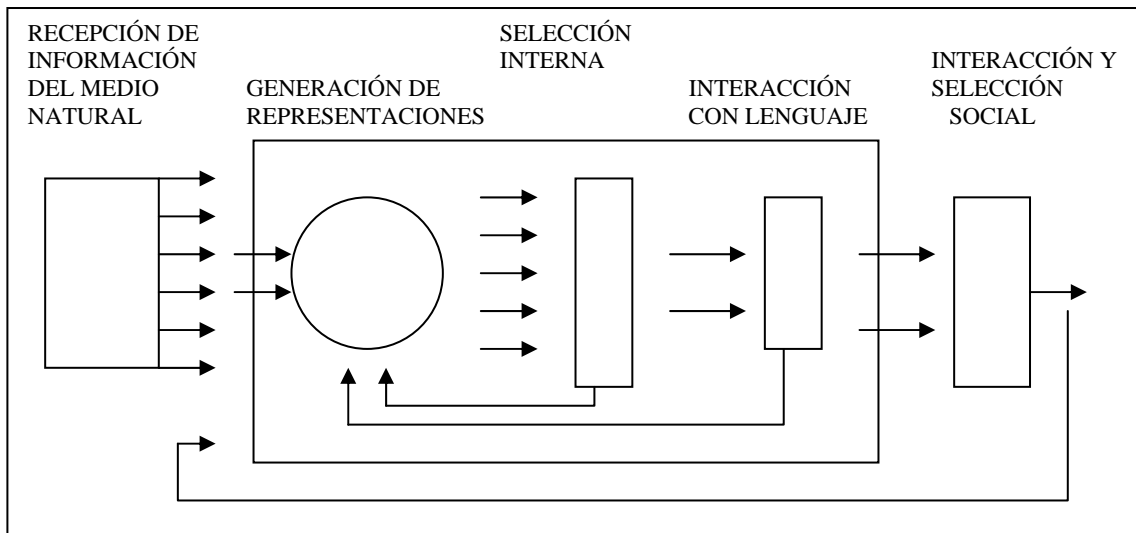
La enseñanza de las ciencias pretende a través de la interacción entre la ciencia del profesor y del alumno llegar a la unificación de ambas concepciones, de forma que, la nueva concepción del alumno, sea más cercana al conocimiento científico actual.

Luffiego (2001), recientemente, realiza una propuesta de reconstrucción del constructivismo hacia “**un modelo evolutivo del aprendizaje de conceptos**”. El punto de partida de la misma es que no se puede entender el proceso de aprendizaje sino se conoce cómo se construye el conocimiento; y, para ello, hay que basarse en las aportaciones que han hecho las investigaciones en neurociencia de los últimos años:

- El aprendizaje implica modificación sináptica, es decir, se forman nuevas conexiones o se refuerzan las ya existentes.
- Los procesos de debilitamiento de las sinapsis por falta de su activación son lentos, por lo que el olvido del conocimiento antiguo es también lento.

- Los conocimientos se encuentran codificados en patrones de actividad, similares a esquemas, generados por neuronas del córtex que tienen múltiples conexiones entre sí. Es un sistema de representaciones que se genera continuamente.
- La codificación del conocimiento es dispersa y se distribuye en múltiples regiones del córtex.
- El sistema de representaciones y el del lenguaje son autónomos, aunque están comunicados. Tanto evolutiva como ontogenéticamente es anterior el sistema de representaciones al del lenguaje.
- El lenguaje contribuye a categorizar el mundo y a reducir la complejidad de las estructuras representacionales a una escala manejable. Varias representaciones pueden reducirse en una sola palabra.

En el siguiente esquema, el autor al que nos referimos, representa un diagrama de flujo del pensamiento donde se produce la generación de representaciones como consecuencia de la interacción de la entrada de información con los esquemas anteriores. A continuación hay un proceso de selección de los mismos antes de ser comunicados, y posteriormente una selección social. El sistema generador de representaciones es retroalimentado continuamente desde los sistemas de selección de lenguaje y desde la sociedad.



Cuadro 1.5: Diagrama del flujo de pensamiento (Luffiego, 2001, p. 385)

Desde esta perspectiva de generación o evolución de los conceptos, se definen diferentes relaciones entre los nuevos conocimientos y los previos que acotan o delimitan las interacciones entre la ciencia de los alumnos y del profesor, descritas por

Gilbert y otros (1982). Para Luffiego (2001), las posibles situaciones de enseñanza-aprendizaje son:

1. No hay interacción entre el conocimiento cotidiano y el aprendido en la escuela, ni en el campo teórico ni en el de aplicación. *Compartimentación* de los conocimientos.
2. Existe interacción o activación conjunta:
 - a. *Integración*. Se produce una reestructuración débil al integrarse el nuevo conocimiento en el esquema viejo y aumentar su campo de aplicación.
 - b. *Incompatibilidad*:
 - b1. Los dos conocimientos coexisten sin relaciones a nivel teórico; pero si hay competencias a nivel de aplicación.
 - b2. Los dos conocimientos coexisten de forma que el conocimiento previo se ve reforzado por uno nuevo poco fijado.

En el último supuesto, según el autor, es posible la sustitución de conocimientos incompatibles pero tan solo tras un largo periodo de activación de un conocimiento y lenta extinción de otro.

La conclusión a la que llegan, los numerosos trabajos sobre concepciones de los estudiantes, es que el aprendizaje debe entenderse como un cambio conceptual evolutivo, dinámico y continuo. Teniendo presente que, la idea de cambio o sustitución de unas ideas por otras, está siendo sustituida por la noción de *reestructuración* o generación de nuevas formas de organización conceptual. Ya no interesan tanto las ideas de los alumnos como profundizar en *la naturaleza representacional del conocimiento*; es decir, saber cómo se organizan y qué procesos de cambio requieren (Pozo, 1999; Pozo y Rodrigo, 2001).

1.2.3. LOS MODELOS DE CAMBIO CONCEPTUAL

Si, como se acaba de concluir, el aprendizaje debe entenderse como un cambio conceptual; entonces, se deben desarrollar modelos para la enseñanza. Éstos, fundamentados en supuestos psicológicos y/o epistemológicos, pretenden explicar cómo interacciona el conocimiento del alumno sobre un fenómeno y la nueva interpretación desde la perspectiva científica; y los mecanismos que permiten que el nuevo conocimiento se integre en la estructura cognitiva del alumno. En conjunto, los modelos de cambio conceptual que vamos a mencionar, tienen en común la necesidad de provocar un cierto conflicto cognitivo entre las concepciones alternativas del alumno y el nuevo conocimiento; y el hecho de tener presente que el proceso es gradual y lento. Como indica Moreira (2000), no hay que olvidar que las concepciones alternativas de los estudiantes se han aprendido de forma significativa desde el punto de vista de Ausubel. Por lo tanto, una vez que estos aprendizajes significativos se han hecho “*no son borrables*” fácilmente.

En primer lugar, revisamos el modelo de cambio conceptual que más ha influido en la enseñanza de las ciencias, el de *Posner, Strike, Hewson y Gertzog* (1982), quizá debido a que, además de desarrollar una teoría sobre el aprendizaje, propusieron una aplicación didáctica del mismo. Este modelo se fundamenta en la filosofía de la ciencia y en una visión kuhniana y lakatosiana de la epistemología. El cambio conceptual es entendido como una actividad racional de reemplazo de una concepción por otra y, los pasos que se deben seguir se corresponden con los del cambio de paradigma científico cuando la ciencia normal entra en *crisis* y revolución. Para ello, primero debe darse una *insatisfacción*, tiene que haber una nueva concepción *inteligible*, que sea *plausible* y *verosímil* y que sugiera la posibilidad de un programa de investigación *fructífero*. Estos autores, entre otras implicaciones de su modelo, indican algunas estrategias didácticas, para conseguir los procesos de *acomodación* de los nuevos conocimientos, como desarrollar actividades para crear conflictos cognitivos, diagnosticar las ideas de los alumnos para tratarlas, y ayudar a los estudiantes a dar sentido al contenido científico.

Diversos autores (Brumby y otros 1985; Pines y West, 1986; West y Pines, 1983, 1985) critican este modelo por la excesiva racionalidad atribuida al cambio, y por olvidar la influencia de aspectos no cognitivos del aprendizaje.

Strike y Posner, posteriormente, en 1993, realizan una autocrítica revisando esa propuesta tan racional desde la epistemología y radical desde el punto de vista del cambio conceptual. De esta forma, proponen una modificación del modelo donde los aspectos psicológicos se tengan más en cuenta. Así, desde un punto de vista epistemológico, se adhieren a las ideas de Toulmin adoptando la terminología de ecología conceptual para referirse a las características cognitivas del sujeto. Las modificaciones al modelo original pueden resumirse en:

- La ecología conceptual de un individuo es más compleja y está determinada por numerosos factores, no sólo epistemológicos.
- Las concepciones alternativas y científicas son parte de la ecología conceptual del individuo, dinámica y en constante interacción y desarrollo.
- Las concepciones alternativas y científicas ya no están tan claramente articuladas; existiendo distintos modos de representación y niveles de complejidad.

Con anterioridad a la publicación de este modelo de cambio conceptual, uno de sus autores, Hewson (1981), ya lo amplía al considerar que algunas ideas nuevas pueden ser compatibles con las concepciones previas del alumno. A esta modalidad la llama captura conceptual. En sucesivos trabajos, este autor y otros colaboradores, distinguen tres tipos de cambio conceptual (*Hewson y Hewson, 1992*), que son:

1. El cambio conceptual como *extinción* o “sustitución de ideas”. La concepción antigua deja de existir y surge una nueva.
2. El cambio conceptual como *intercambio* o “captura conceptual”. La idea antigua se amortigua sin desaparecer y surge una nueva coexistiendo con la anterior.
3. El cambio conceptual como *extensión*, “canje o intercambio”. La nueva concepción amplía la anterior; aunque no logra extinguirla y termina conviviendo con ella.

Otra aportación que hacen estos autores es identificar el cambio conceptual como algo que experimenta el sujeto de manera intencional y no algo que realiza el que enseña. Por lo tanto el objetivo de la enseñanza de las ciencias:

“no es obligar a los estudiantes a renunciar a sus concepciones, alternativas a las de los profesores o los científicos, sino, más bien, ayudarles tanto a formar el hábito de cuestionar una idea con otra, como a desarrollar las estrategias

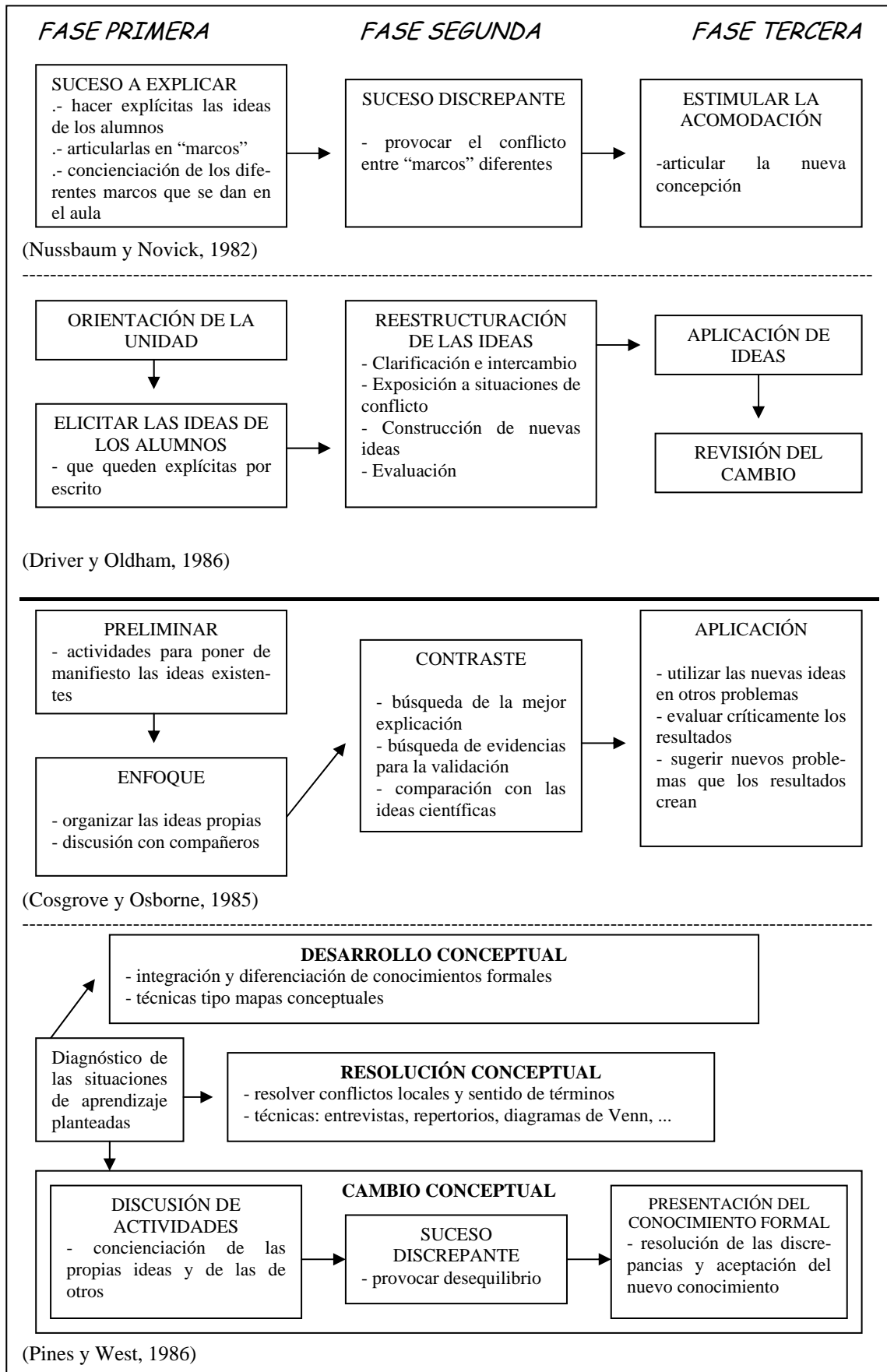
adecuadas para aceptar y contrastar concepciones alternativas de cara a su aceptación” (Hewson, 1992; p. 13).

Otros autores han realizado diversas aportaciones sustentadas en la filosofía de la ciencia. Por ejemplo, Hodson (1988) aporta la necesidad de que un currículo escolar correcto considere las relaciones entre la naturaleza de la ciencia y la naturaleza del aprendizaje, o Nussbaum (1989) que considera que el cambio conceptual se produce manteniendo elementos sustanciales de la antigua concepción mientras incorporan gradualmente elementos de la nueva.

Centrándonos más en los procesos de enseñanza, recogemos otros modelos de cambio conceptual que subrayan las implicaciones didácticas, y cuya fundamentación procede básicamente de la psicología cognitiva. Aunque, estos modelos de instrucción emplean estrategias distintas, tienen una estructura común, todos pueden referirse a un modelo en tres fases con las características generales siguientes (Serrano, 1988b, 1992):

1. La fase primera tiene como finalidad la exploración y articulación de las ideas de los alumnos, de modo que sean conscientes de sus puntos de vista personales y, de los de otros compañeros, en relación con el tema en cuestión.
2. La fase segunda se propone crear algún tipo de conflicto cognitivo o insatisfacción de los sujetos respecto de las ideas que mantienen, provocándose así la necesidad de una reestructuración de las mismas; o bien, se orienta a establecer diferentes tipos de relaciones de integración, diferenciación, ajuste, etc., entre las nociones existentes y las nuevas.
3. La fase tercera está orientada a completar las modificaciones que se hayan producido a lo largo de las fases anteriores, a estabilizar las nuevas ideas en la estructura cognitiva y a aplicarlas en diferentes contextos.

A continuación se recogen sólo algunas de las representaciones que esta autora realiza para esquematizar diferentes modelos de cambio conceptual. Las dos primeras corresponden a ejemplos de propuestas de autores más comprometidos con el cambio conceptual como reestructuración fuerte, por lo que se centran en promover, en la segunda fase, un conflicto cognitivo como paso necesario para el cambio. Las dos últimas son ejemplos de propuestas que dejan más abierta la fase segunda del proceso, sin reducirla al conflicto como único modo de modificar los conocimientos existentes.



Cuadro 1.6: Esquemas de diversas estrategias para el cambio conceptual según una estructura común trifásica (Serrano, 1992, 1993)

Para terminar con la revisión de modelos de cambio conceptual, vamos a referir otras aportaciones e ideas que son muy relevantes a la hora de entender este proceso:

Hashweh (1986) explica la estabilidad de las concepciones de los alumnos basándose en su origen, en las experiencias cotidianas repetitivas, lo que hace que los estudiantes las generalicen al aplicar la **metodología o epistemología del “sentido común”**, también llamada metodología de la “superficialidad” por Carrascosa y Gil (1985). Para el autor, como debe producirse una reestructuración cognitiva en la mente del alumno, en las clases se debe cuestionar la metodología del sentido común y familiarizar a los alumnos con la epistemología científica.

Cosgrove y Osborne (1985) y Osborne y Wittrock (1985) proponen el cambio conceptual dentro de su teoría del **aprendizaje generativo**. Estos autores describen las fases del proceso de enseñanza aprendizaje (preliminar, enfoque, confrontación y aplicación) tanto desde el punto de vista de las actividades del profesor como del alumno. El cambio conceptual requiere, por parte del profesor, que comprenda los puntos de vista de los científicos, de los alumnos y los suyos propios y, por parte de los alumnos, que puedan explorar y discutir sus puntos de vista así como aplicar los nuevos conocimientos en problemas prácticos.

La exigencia de que los alumnos se impliquen en la clarificación de sus ideas y en la aplicación de las nuevas en diversas situaciones y problemas, también es recogida desde el campo de la enseñanza de las matemáticas por *Wheatley (1991)* y su modelo de **aprendizaje centrado en problemas**. La secuencia de trabajo en el aula de este modelo consistiría en diseñar situaciones problemáticas sobre ideas centrales de las disciplinas y trabajarlas en grupos cooperativos que ponen en común sus conclusiones. Este autor incorpora la importancia de la interacción social en la construcción del conocimiento.

Acorde con esta idea de aprender a través de situaciones problemáticas, a partir del **modelo evolucionista del aprendizaje de conceptos** y la naturaleza representacional del conocimiento, *Luffiego (2001)* también propone un modelo de enseñanza-aprendizaje en tres fases:

- Fase de *problematización*: selección de problemas o conflictos cognitivos.
- Fase de *retención por teorización*, en la que se trabaja siguiendo un modelo de resolución de problemas como investigación tal y como lo propone Daniel Gil y colaboradores.
- Fase de *retención por aplicación*, en la que se transfiere el conocimiento adquirido en la resolución de problemas a otros contextos.

Los resultados experimentales, de las investigaciones que han puesto en práctica algunas de estas estrategias de cambio conceptual, aún siendo mejor que los obtenidos en la enseñanza habitual por transmisión, no generan ni el cambio esperado ni la permanencia en el tiempo del mismo (Engel y Driver 1986; Hewson y Thorley, 1989; White y Gunstone, 1989; Duschl y Gitomer, 1991). La dificultad de transformar los esquemas conceptuales, usando estas estrategias de cambio conceptual, hace necesario revisar la base teórica de estos modelos y no olvidar las creencias arraigadas que sobre el contexto educativo se siguen manteniendo.

En un trabajo reciente (Oliva, 1999a), se recogen las aportaciones más relevantes y actuales de los aspectos que están en debate sobre los mecanismos de cambio conceptual:

- *La existencia de más de un mecanismo de cambio conceptual*. Este hecho estaría de acuerdo con los distintos mecanismos de aprendizaje postulados por diversos autores.
- *El carácter gradual y paulatino de dicho proceso*. El desarrollo del conocimiento científico, desde ciertas visiones epistemológicas, es un proceso evolutivo. Por lo tanto, la adquisición de conceptos debe entenderse como un proceso de incorporación y eliminación paulatina de ciertos aspectos de la idea inicial sin que ésta sea totalmente modificada.
- *La naturaleza más o menos general o específica del proceso de cambio*. Se pueden producir cambios en algunas concepciones una vez que se han cambiado otras con las que comparte algunos elementos de las estructuras implícitas.
- *El cuestionamiento de la sustitución de ideas como mecanismo de aprendizaje*. Desde una óptica constructivista la idea de sustitución de una concepción

intuitiva por otra científica es insostenible. Las concepciones alternativas son la base sobre la que se construye el nuevo conocimiento.

- *Las críticas vertidas sobre el conflicto conceptual como estrategia idónea para el cambio de ideas.* El uso del conflicto conceptual como eje de propuestas didácticas consume más tiempo del deseado, desanima a los alumnos, y puede reafirmar las ideas previas de los mismos.

En la enseñanza de las ciencias se están diseñando estrategias de cambio conceptual, entre las que está nuestra propuesta de trabajar con la **metodología de resolución de problemas como investigación**. Los trabajos realizados en este campo resaltan la idea de que todo cambio conceptual se genera a partir de un cambio metodológico que permite a los estudiantes desarrollar destrezas metacognitivas. Además, en todo este proceso, el cambio de actitudes del alumnado es, también, un elemento a tener en consideración. (Carrascosa y Gil, 1985; Gil y Carrascosa, 1985; Gil y Martínez-Torregrosa, 1986; Gil, 1994a; Martínez Aznar y Varela, 1996; Varela y Martínez-Aznar, 1997, 1998).

El desarrollo de una metodología de trabajo que se asemeje a una investigación científica permite a los estudiantes crear sus nuevos conocimientos a partir de los que ya poseen y, a través de los análisis cualitativos de las situaciones problemáticas y de las hipótesis y resultados que vayan obteniendo en sus resoluciones. No es una sustitución o cambio brusco en el sentido original del término ‘cambio conceptual’. Como ocurre en la evolución del conocimiento científico, las nuevas teorías surgen al entrar en crisis las anteriores y lo hacen a partir de las mismas y no al margen de ellas.

Por otra parte, esta metodología de trabajo, favorece el proceso de metacognición en el alumno, imprescindible para que se produzca la reestructuración de sus esquemas conceptuales.

Por último, señalar que este tipo de metodología genera una actitud favorable de los alumnos hacia la ciencia como conocimiento y hacia el estudio de la misma en un contexto de aula.

1.3. EL CONTEXTO CURRICULAR

El contexto curricular en el que va a tener lugar la investigación, la Educación Secundaria Obligatoria, tiene su origen en la última reforma del sistema educativo español, la LOGSE (Ley Orgánica 1/1990 de 3 de Octubre). La creación de la etapa de E.S.O., de 12 a 16 años, marca una diferencia fundamental entre esta reforma educativa y los modelos educativos anteriores (Plan de 1953 y la LGE de 1970). Por un lado, la educación obligatoria se amplía hasta los 16, definiéndose, al mismo tiempo, como una etapa comprensiva y de atención a la diversidad; y, por otro lado, la finalidad educativa de esta etapa, además de la preparación propedéutica propia de sistemas educativos anteriores, se enfoca a la formación de ciudadanos por su carácter terminal.

“La ampliación de la educación obligatoria y gratuita hace posible la configuración de una etapa de educación secundaria con identidad propia entre los doce y los dieciséis años, en la que fundamentalmente se lleve a cabo la preparación de los adolescentes para ser en el futuro ciudadanos de una sociedad plural, democrática y tecnológicamente avanzada” (DCB, 1989, p. 71)

Podemos tener una visión panorámica sobre el contexto curricular actual acudiendo a las fuentes de información apropiadas:

1. Los documentos oficiales:

- Diseño Curricular Base (DCB, 1989)
- Documentos que desarrollan las distintas áreas y se recogen en las famosas Cajas rojas (Ciencias de la Naturaleza, Secundaria Obligatoria, 1992)
- Reales decretos que desarrollan la LOGSE e identifican las características y metas de la Enseñanza Secundaria Obligatoria y, en concreto, las de la enseñanza de las ciencias.

2. La realidad escolar que se vive en la práctica diaria, y que aparece reflejada en las diversas modificaciones a la LOGSE propuestas por el gobierno, en los foros de discusión de los medios de comunicación, y en algunos informes sobre resultados académicos.

Todo sistema educativo tiene que plantearse cuáles son los ámbitos de actuación o facetas del desarrollo de la persona, ligadas a la cultura en la que está inmerso y en las que debe ser formada y, en qué va a consistir su intervención. Por ello, el currículo incluye, tanto el proyecto que recoge las intenciones y el plan de acción, es decir el qué, cómo y cuándo enseñar, y evaluar (Diseño del currículo), como su puesta en práctica (Desarrollo del currículo). De esta forma se hacen explícitas las intenciones del sistema educativo y sirve de guía para orientar la práctica pedagógica.

A través de los distintos documentos que definen el currículo de E.S.O., y en especial para el área de Ciencias de la Naturaleza, vamos a ir perfilando las características del contexto curricular actual.

El DCB (1989) nos marca las primeras pautas y nos acerca a las fuentes de las que surge el currículo, que se enmarcan dentro de los ámbitos sociológico, psicológico, pedagógico y epistemológico. Cada una de estas fuentes realiza una aportación y proporciona una información específica que intenta dar respuestas a las necesidades identificadas en sistemas educativos anteriores. Recorrer las aportaciones y necesidades, a las que dan respuesta cada una de estas fuentes del currículo, nos permitirán entender la fundamentación teórica del mismo.

1. La **fuentes sociológica**

Se refiere a las demandas sociales y culturales acerca del sistema educativo, a los conocimientos que contribuyen a la socialización de los alumnos. La escuela es una institución y sistema social y responde a las demandas de la sociedad en la que está inmersa. Dentro de estas demandas está la de formar futuros ciudadanos responsables, con unos determinados valores sociales que les permita ser capaces de desarrollar su papel dentro del entramado social y en una sociedad pluralista. Así queda recogido en el DCB; pero ¿qué cambios en nuestra sociedad actual han propiciado una reforma curricular?

La sociedad actual está afectada por los cambios generalizados que se han producido, en los últimos años, en todos los niveles: social, político, económico, cultural e ideológico. Este paso del modernismo al postmodernismo ha sido provocado por el gran desarrollo tecnológico y científico de la última mitad del siglo XX, lo que nos permitiría hablar de una nueva revolución en la historia de la humanidad, la

denominada Era de la Tecnología y del Desarrollo. Una de las características principales de este cambio social es la globalidad; los problemas (contaminación, superpoblación, salud, enfrentamientos armados...) y, su solución, se han generalizado, afectando a cualquier ciudadano del mundo.

El hecho de que los problemas de este mundo deban ser solucionados por consensos entre países nos obliga a ser mucho más comunitarios y solidarios, y a tener un mayor conocimiento de los avances científicos y tecnológicos, de la naturaleza de los mismos, así como de los beneficios y perjuicios que pueden ocasionar al hombre y su entorno. La nueva sociedad está necesitando de **ciudadanos con unos conocimientos científicos y tecnológicos que les permita entender el mundo en el que viven; y tomar postura, como ciudadanos socialmente responsables, frente a problemas generados por el gran desarrollo científico-técnico.** Y, los currículos escolares, deben incorporar este tipo de conocimientos y habilidades sociales.

2. La **fente psicológica.**

Se relaciona con los procesos de desarrollo y de aprendizaje de los alumnos, indispensables para establecer el qué, cómo y cuándo aprender. Los principios psicopedagógicos de intervención educativa, que subyacen en el DCB (1989, pp. 31-34), se enmarcan en una **concepción constructivista del aprendizaje** y son:

- *Partir del nivel de desarrollo del alumno*, es decir atender a su nivel de competencia cognitiva o nivel de desarrollo, y a los conocimientos previos que ha construido anteriormente.
- *La construcción de aprendizajes significativos*, tanto de tipo conceptual como de procedimientos y actitudes. Para asegurar este aprendizaje el alumno debe tener una actitud favorable al estudio y el contenido deber ser potencialmente significativo, tanto desde el punto de vista de la estructura lógica de la disciplina o área como desde el punto de vista de la estructura psicológica del alumno.
- *Realizar aprendizajes significativos por sí solos*, es decir, ser capaces de *aprender a aprender*, adquiriendo estrategias cognitivas de planificación y regulación de la propia actividad de aprendizaje. En la actualidad, ha desaparecido la separación que existía entre el periodo de nuestra vida en el que somos estudiantes y en el que somos trabajadores. El cambio social y cultural que se ha producido requiere de personas que, además de aprender, pensar y

trabajar de forma diferente respecto al pasado, sean capaces de aprender a lo largo de toda su vida.

- *Modificar los esquemas de conocimiento.* La estructura cognitiva del individuo se concibe como un conjunto de esquemas de conocimiento más o menos organizados, y más o menos cercanos a la realidad, que deben ser modificados cuando al recibir nueva información se rompe el equilibrio inicial.
- El aprendizaje significativo *supone una intensa actividad por parte del alumno.* Esta actividad es principalmente interna, de reflexión sobre la acción.

3. La **fente pedagógica.**

Recoge tanto la fundamentación teórica existente, como la experiencia educativa adquirida en la práctica docente. Las nuevas propuestas metodológicas y sus resultados, frente a un modelo didáctico tradicional como el transmisivo, generan nuevas perspectivas educativas que deben tenerse en cuenta.

Centrándonos en la enseñanza de las ciencias, como ya indicamos en el Apartado 1 de este capítulo, los resultados de la misma son, por un lado, un elevado grado de fracaso escolar y, por otro lado, un creciente rechazo de los estudios científicos y la presencia de actitudes negativas hacia la ciencia que, según nos muestra la investigación, se incrementa con la edad de los estudiantes (Schibeci, 1984; Giordan, 1985; James y Smith, 1985; Welch, 1985; Yager y Penick, 1983, 1986; Simpson y Oliver, 1990; Simpson y otros, 1994; Espinosa y Román, 1991; Ortega y otros, 1992; Solbes y Vilches, 1997; Vázquez y Manassero, 1997).

La enseñanza de las ciencias plantea unas dificultades inherentes con su propia naturaleza; pero, también, es cierto que la ciencia que se enseña está alejada de la ciencia real que avanza vertiginosamente. Este alejamiento, entre lo que es la ciencia escolar y la ciencia que el alumno ve reflejada en los medios de comunicación y en su vida diaria, favorece la falta de motivación en los estudiantes. Otro aspecto que genera la pérdida de interés en los alumnos es una metodología de enseñanza tradicional basada, principalmente, en la transmisión de contenidos de tipo conceptual siguiendo una secuencia, lógica desde el punto de vista de la disciplina, pero no desde el punto de vista de favorecer el aprendizaje.

Además, nos encontramos en un momento en que los nuevos avances y descubrimientos científicos han generado tal cantidad de conocimientos que, los didactas que trabajan sobre los contenidos del currículo, se plantean cómo ordenar, seleccionar y transmitir toda esa información. En los últimos años, desde la didáctica de las ciencias se ve la imposibilidad de que un currículo basado en la información sea viable, y se apunta a un currículo que busque más el conocimiento de procedimientos a través del cuál se adquieran los conceptos y actitudes. Las nuevas concepciones psicopedagógicas sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje deben reflejarse en **cambios metodológicos en la enseñanza de las ciencias**.

4. La **fuerza epistemológica** reside en los propios conocimientos científicos de cada área. En este caso el de las ciencias.

La ciencia y la sociedad actúan recíprocamente la una sobre la otra de forma muy diversa. La ciencia influye en la historia del hombre por los cambios que suscita en los métodos de producción y por el impacto de sus descubrimientos e ideas en la ideología de la época (Bernal, 1967).

Sería interesante profundizar en los distintos aspectos sociológicos de la ciencia (Merton, 1990), y cómo las grandes revoluciones sobre la concepción humana del Universo se deben en gran medida a la ciencia. Sin embargo, el interés sobre estos aspectos se va a limitar, en este momento, a los cambios producidos en la ciencia del siglo XX (Sánchez Ron, 2000), lo que ha venido en llamarse la Gran Ciencia o Ciencia Post-Moderna (Hurd, 1993). Estos cambios pueden resumirse en los siguientes:

- Cambio en la localización de los centros científicos. Tras la Segunda Guerra Mundial se desplazan desde Europa hacia EEUU, Rusia y posteriormente Japón.
- Los científicos y técnicos dejan de trabajar de forma más o menos aislada y libre para convertirse en empleados o directores de organismos gubernamentales. A veces no tienen el control sobre sus investigaciones, e incluso pueden desconocer el fin último de las mismas.
- Gran incremento del número de científicos y de las inversiones en producción científica. Un ejemplo claro es el Proyecto Genoma Humano. Incluso se

producen luchas económicas entre científicos para optar a subvenciones y se introduce el ‘marketing’ a la hora de presentar las investigaciones.

- Aplicación mucho más rápida y directa de los descubrimientos científicos, incluso antes de comprobar todas las repercusiones que puedan tener para el hombre y el medio ambiente.
- Hasta el siglo XX los aparatos que se creaban eran cercanos y se entendía su funcionamiento, tenían ruedas, mecanismos visibles; pero, a partir de este siglo, los mecanismos son interiores, hay cables o incluso éstos desaparecen por el uso de campos electromagnéticos. Por un lado la ciencia crece a medida que la sociedad se desarrolla, y viceversa, pero por otro lado la ciencia se aleja más del entendimiento público de la misma. Los nuevos mecanismos no se comprenden y se transforman en algo mágico.
- Las disciplinas científicas, por un lado se han fraccionado en el uso de sus lenguajes y procedimientos de forma que han mitificado el “método científico” como criterio de demarcación entre Ciencia y no-Ciencia. Sin embargo, por otro lado las disciplinas científicas se han interconectado en campos limítrofes dando lugar a nuevas áreas de conocimiento como la astrofísica, la ingeniería genética, y más recientemente la genómica o la proteómica.
- Se desarrolla el rol social del científico ante la importancia de los nuevos avances científicos y técnicos. Los temas científicos rebasan los límites de las disciplinas científicas y llegan a terrenos sociales y éticos.

¿Cómo se reflejan estos cambios en la visión que la sociedad tiene de la ciencia?:

Por un lado, a partir de los años 50 y 60, la actitud hacia la ciencia es de desconfianza o recelo (Eztioni y Nunn, 1974). Ha dejado de ser considerada como algo mágico capaz de dominar la Naturaleza, para transformarse no sólo en la fuente de mejoras para los hombres sino también en la causante de la mayoría de los problemas de la sociedad actual. La gente reconoce que gracias a los avances científicos y tecnológicos se ha mejorado considerablemente la calidad de vida; sin embargo también sabe que ese gran desarrollo permite un estilo de vida que está destruyendo la Biosfera y, por lo tanto, también afecta a la humanidad. A la preocupación por los problemas

medioambientales generados por una sociedad tecnológicamente desarrollada, se ha sumado en la última década del siglo XX, y los inicios del siglo XXI, los miedos por los nuevos avances en ingeniería genética, y sus posibles implicaciones sociales, económicas, políticas y éticas. El temor de la sociedad gira en torno a quién controla o debe controlar los descubrimientos científicos y su aplicación.

Por otro lado, la impresión popular sobre el carácter de la ciencia es su poder explicativo y predictivo, su objetividad y su superior fiabilidad en comparación con otras formas de conocimiento (Chalmers, 1991). Esta visión inductivista, equivocada, e incluso peligrosamente engañosa, se refleja tanto en la forma de enseñar ciencia (currículo implícito), como en las campañas publicitarias de cualquier producto que se vende mejor si se utiliza una terminología con connotaciones científicas.

Sin embargo, esta visión de la ciencia no se corresponde con la realidad, ni con la que mantiene la comunidad científica. Por ello, el tema de la visión que de la naturaleza de la ciencia transmiten, tanto el profesorado como los materiales curriculares, ha pasado a ser centro de preocupación de los diseñadores de currículos.

La enseñanza de cada disciplina debe realizarse usando la metodología propia, aquella que permite la generación del conocimiento. Por lo tanto, refiriéndonos al conocimiento educativo, los procesos fundamentales básicos o estructuras profundas de cualquier materia deben salir a la luz desde el mismo principio de la enseñanza. **En la enseñanza de las ciencias, por lo tanto, la mejor forma de acceder al conocimiento sería a través de la metodología científica.** Esto implicaría la necesidad de conocer cómo trabajan y generan sus conocimientos los científicos.

Las enseñanzas mínimas correspondientes a la E.S.O. se recogen en RD 1007/1991. Con posterioridad ha sido modificado en el RD 894/1995 y RD 3473/2000. En cuanto al desarrollo de su currículo, se encuentra en el RD 1345/1991 que se modifica y amplía en el RD 1390/1995 y en el RD 937/2001.

Las modificaciones hacen referencia a reforzar áreas optativas o instrumentales, con la ampliación de su carga horaria. En cuanto a objetivos generales de etapa se desglosa el primero (comprender y producir mensajes orales y escritos) en dos, respecto

a la lengua materna y a una lengua extranjera. El resto se mantienen con ligeros cambios de redacción.

En el caso de la enseñanza de las Ciencias de la Naturaleza, las modificaciones se reflejan en la separación en 4º de E.S.O. de las materias de Biología y Geología y, más recientemente en el nivel de 3º de E.S.O. También, hay pequeñas diferencias en la distribución de algunos contenidos o la inclusión de algún aspecto novedosos como los alimentos transgénicos dentro del bloque de contenidos de ‘las personas y la salud’. En cuanto a los objetivos generales de área, éstos cambian en su redacción y ordenación pero no en sus metas.

Limitándonos al estudio del **currículo del área de Ciencias de la Naturaleza**, podemos identificar los aspectos que lo definen a partir de los diferentes Reales Decretos que lo desarrollan. El primer dato que se puede recoger en estos documentos es la visión de la ciencia dentro del contexto educativo:

“A lo largo del último siglo las Ciencias de la Naturaleza han ido incorporándose progresivamente a la sociedad y a la vida social, convirtiéndose en una de las claves esenciales para entender la cultura contemporánea, por sus contribuciones a la satisfacción de necesidades humanas”. (RD 1345/1991; MEC, 1992; RD 1390/1995)

“En la sociedad actual la ciencia es un instrumento indispensable para comprender el mundo que nos rodea y sus transformaciones, así como para desarrollar actitudes responsables sobre aspectos ligados a la vida y la salud, y los referentes a los recursos y el medio ambiente. Es por ello que los conocimientos científicos se integran en el saber humanístico que debe formar parte de la cultura básica de todos los ciudadanos”. (RD 3473/2000; RD 937/2001)

Esta visión de la ciencia es la que aparece recogida en los objetivos generales de área que, en resumen, pretenden que los estudiantes tengan un conocimiento de la ciencia, y su metodología, útil para interpretar los procesos naturales y poder aplicarlos en su vida diaria.

En cuanto a los contenidos que se desarrollan en esta área, podemos abordarlos desde su triple tipología:

Conceptos. Éstos se organizan alrededor de cuatro ejes fundamentales, energía, materia, interacción y cambio. Los contenidos conceptuales se organizan en once bloques “que no constituyen un temario” (RD 1345/1991; MEC, 1992). En el último Real Decreto sobre enseñanzas mínimas se recalca la meta principal de esta etapa educativa, la formación de ciudadanos:

“Los contenidos que se trabajan en esta área no deben estar orientados a la formación de biólogos, geólogos, físicos o químicos, sino a la adquisición por parte del alumnado de las bases propias de la cultura científica, haciendo especial énfasis en la unidad de los fenómenos que estructuran el mundo natural, en las leyes que los rigen y en la expresión matemática de estas leyes, obteniendo con ello una visión racional y global de nuestro entorno con la que puedan abordar los problemas actuales relacionados con la vida, la salud, el medio y las aplicaciones tecnológicas” (RD 3473/2000).

Procedimientos. Los procedimientos que se recogen se refieren a los propios de la actividad científica en el proceso de resolución de problemas. Éstos deben recibir la misma consideración que los contenidos conceptuales. Recogemos el texto de los Reales Decretos donde la redacción de los mismos es más clara y concisa:

*“Al sistema conceptual altamente organizado de la ciencia está indisolublemente vinculadas pautas y reglas que caracterizan métodos científicos de indagación de la realidad. Por ello, los alumnos han de **conocer y utilizar algunos métodos habituales en la actividad científica a lo largo del proceso investigador:** planteamiento de problemas y formulación clara de los mismos; utilización de fuentes de información de manera sistemática y organizada; formulación de hipótesis pertinentes a los problemas; contraste de hipótesis mediante la observación rigurosa y, en ciertos casos, la planificación y realización de experimentos; recogida, organización y análisis de los datos; discusión de conclusiones; comunicación de resultados mediante el oportuno informe”* (RD 1345/1991; MEC, 1992; RD 1390/1995)

Actitudes. Las actitudes que se recogen se relacionan con la ciencia desde la perspectiva del estudio de estos conocimientos, como desde la propia naturaleza de la ciencia y sus interacciones con la Sociedad y la Tecnología. Transcribimos la redacción del RD donde las actitudes quedan mejor definidas, aunque difiere poco del original (RD 1345/1991; MEC, 1992):

“Debe estimularse el desarrollo de actitudes de curiosidad e interés por las implicaciones sociales y ambientales de la ciencia, por el funcionamiento del mundo físico y por todo lo relativo al mundo natural y su conservación; así como fomentarse actitudes de flexibilidad intelectual, de gusto por el conocimiento, de aprecio del trabajo en equipo, de exigencias de razones y argumentaciones en la discusión de las ideas y en la adopción de posturas propias fundamentadas, para distinguir los hechos comprobados de las meras opiniones, etc.”. (RD 1390/1995)

Terminamos esta revisión del currículo de las Ciencias de la Naturaleza con la idea central de lo que debería ser. Ésta se recoge, con algunas diferencias en su concreción, en cada uno de los documentos que lo desarrollan. Aquí presentamos la redacción más cercana a la original, donde eran más evidentes las fuentes del currículo:

“El currículo de esta área (Ciencias de la Naturaleza) ha de corresponderse con la naturaleza de la ciencia, como actividad constructiva y en proceso, en permanente revisión. Esta concepción de la ciencia debe estar acompañada de un planteamiento didáctico que realce el papel activo y de construcción cognitiva del aprendizaje de la misma. En ese proceso, desempeñan un papel importante los preconceptos, suposiciones, creencias y, en general, marcos previos de referencia, de los alumnos, ya que éstos suelen construir el conocimiento a partir de sus ideas y representaciones previas. La enseñanza de las Ciencias de la Naturaleza debe promover un cambio o evolución en dichas ideas y representaciones mediante las actividades que se programen en el aula (mediante los procedimientos de la actividad científica, RD 1345/1991). El profesor debe pasar de transmisor de conocimientos elaborados a agente que plantea interrogantes y sugiere actividades, y el alumno, de receptor pasivo a constructor de conocimientos en un contexto interactivo. En particular, el currículo del área ha de contribuir a que los alumnos sean capaces de aprender de manera más autónoma, para lo cual es importante propiciar en ellos la reflexión sobre su propio proceso de aprendizaje”. (RD 1390/1995)

Todo este recorrido por el currículo de ciencias nos permite asegurar que la propuesta de actuación en el aula que se investiga en este trabajo se enmarca dentro del contexto curricular en el que nos encontramos: una concepción constructivista de la enseñanza, una metodología de resolución de problemas como una investigación y un enfoque educativo que resalte las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad.

Sin embargo, la realidad escolar actual parece indicar que algo falla en este sistema educativo. Las diversas modificaciones curriculares y, en especial, las ideas que se están barajando desde la última propuesta de mejora de la calidad educativa (Febrero de 2002), pretenden atajar los problemas que se están detectando en el día a día de la práctica docente: falta de motivación del alumnado y del profesorado, graves problemas de disciplina en el aula, pobres resultados académicos.

En cuanto a los resultados académicos en el área de ciencias contamos con datos nada halagüeños recogidos tanto en informes nacionales (Orden Hoz, INCE, 1997), como internacionales (OECD, 2000).

Existen aspectos relacionados con la problemática social que afecta al aula que es muy difícil de abordar desde la enseñanza. Sin embargo, sí se puede actuar en la mejora del sistema educativo llevando a la práctica los principios de intervención psicopedagógicos y los objetivos y contenidos recogidos en los currículos, en nuestro caso del área de Ciencias de la Naturaleza. Diversas investigaciones reconocen la importancia de la implicación del profesorado en la implantación de las reformas educativas y el hecho constatado de que las ideas de los mismos sobre para qué enseñar ciencias no han variado respecto a sistemas educativos anteriores (Gil y otros, 1988c; Cronin-Jones, 1991; Furió y otros 2001). Por lo tanto, si se sigue trabajando en el aula bajo los mismos supuestos que en épocas anteriores; es decir, sin introducir los conocimientos que la investigación en didáctica, las teorías psicológicas sobre aprendizaje, y la epistemología nos aportan, no podemos achacar los males de la educación a un sistema educativo que aún no se ha puesto en práctica.

En diversos contextos curriculares se están planteando reformas y se sugieren nuevas metas en la formación científica. Hurd (1997) recoge en 27 puntos un resumen de las recomendaciones nacionales, para la reforma del currículo de ciencias en Estados Unidos, que se han ido incluyendo en informes como “*Education 2005: the role of research and development in an overwhelming campaign for education in America*” (Ford, 1991) o “*Designing the Science Curriculum: a report on the implications of standars and benchmarks for science education*” (BSCS, 1995).

Sin pretender llegar a estos niveles de desarrollo de las tareas a las que debe enfrentarse la enseñanza de las ciencias en la actualidad, pero coincidiendo con las mismas, hemos recogido, en el siguiente cuadro, las metas u objetivos educativos que emanan del análisis anterior sobre el currículo de Ciencias de la Naturaleza en nuestro contexto:

1. La necesidad de que los estudiantes tengan un conocimiento básico de los avances científico-tecnológicos, de la naturaleza de los mismos, así como de los beneficios y perjuicios que pueden ocasionar al hombre y a su entorno.
2. La necesidad de enseñar que la resolución de los problemas sociales, debidos a la aplicación de los descubrimientos científicos, es responsabilidad de todos; y por lo tanto, debe participar en la resolución de los mismos, tomando sus propias decisiones de forma solidaria.
3. Acercamiento de la ciencia escolar a la vida diaria de los alumnos.
4. La elaboración de currículos que no estén basados únicamente en la adquisición de conocimientos conceptuales, sino también de procedimientos.
5. Partir del modelo constructivista sobre el aprendizaje, y diseñar estrategias y metodologías que favorezcan la construcción de conocimientos por parte de los estudiantes y el cambio conceptual.
6. La utilización de la metodología científica como la más idónea para facilitar el aprendizaje de los conocimientos científicos.
7. La inclusión, dentro de los contenidos científicos, de la historia, la filosofía y la sociología de la ciencia, aspectos que ayudarán al alumno a entender la verdadera naturaleza del conocimiento científico.

Cuadro1.7: Metas de la enseñanza de las ciencias para el siglo XXI.

CAPÍTULO 2

LA METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO UNA INVESTIGACIÓN (MRPI) Y LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

INTRODUCCIÓN

El problema al que se pretende dar una solución o respuesta en este trabajo, y que recogíamos en la presentación, es: *¿Cómo enseñar la Genética de forma distinta para que los estudiantes, además de mejorar los resultados que obtienen con el aprendizaje clásico de la misma, basado en planteamientos teóricos y en problemas cerrados convencionales, puedan conseguir una alfabetización científica y tecnológica significativa en temas de actualidad científica, y una visión de la naturaleza de la Ciencia más próxima a la real?* Nuestra propuesta se centra en la utilización de una metodología específica de resolución de problemas en el ámbito de la Biología, una metodología de investigación, que permita mejorar el aprendizaje de contenidos y desarrollar un enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad (C-T-S).

La resolución de problemas se ha convertido en una de las líneas de investigación más importantes dentro de la didáctica de las matemáticas y de las ciencias experimentales, en concreto de la Física y la Química (Gabel, 1994). El desarrollo de modelos de resolución de problemas se inicia en el primer tercio del siglo XX, aunque su despegue definitivo vendría de la mano de las grandes reformas educativas de los años 70, que recogen la resolución de problemas como un proceso clave en la enseñanza de las ciencias experimentales. Desde el principio, la diferencia entre las distintas propuestas metodológicas, ha venido marcada por la idea de lo que era un problema.

Empecemos por concretar nuestra visión de lo que es un problema “verdadero”, para luego realizar un breve repaso de los diversos modelos o propuestas metodológicas para la enseñanza de la resolución de problemas, sus aportaciones y sus limitaciones.

Terminaremos por plantear la resolución de problemas “verdaderos” dentro del campo de la Biología, y más concretamente de la Genética.

2.1. UNA CUESTIÓN DE CONCEPTOS: ¿QUÉ ES UN PROBLEMA?.

La definición de lo que es un *problema* podemos buscarla en el campo de la Psicología Cognitiva o en el de la Didáctica; aunque ambas perspectivas están íntimamente ligadas.

Dentro de la **Psicología Cognitiva** recogemos las siguientes definiciones de problema:

“Una persona se enfrenta a un problema cuando acepta una tarea, pero no sabe de antemano como realizarla. Aceptar una tarea implica poseer algún criterio que pueda aplicarse para determinar cuando se ha terminado la tarea con éxito.”
(Simon, 1978, p.198).

“Un problema es una situación en la que se intenta alcanzar un objetivo y se hace necesario un medio para ello” (Chi y Glaser, 1986)

Desde el campo de la **Didáctica de las Ciencias**, la pregunta ¿Qué es un problema?, sería contestada por los estudiantes indicando que es:

cualquier situación que se les plantea dentro del contexto escolar y a la cual tienen que dar una solución.

Algunos expertos en didáctica, y en el trabajo con problemas, utilizan el término en el sentido de:

“Un desafío, una situación sin solución que no se puede resolver inmediatamente”
(Watts, 1994, p.9)

Desde una perspectiva más actual, que pone el acento en el carácter investigativo de esta actividad, un problema es:

“Una situación o tarea que de entrada no tiene solución evidente y exige investigación” (Mettes y otros, 1980; Gil y Martínez Torregrosa, 1983; APU, 1984; Caillot y Dumas-Carré, 1987).

En ambos casos, la definición de problema está acompañada de la idea de incertidumbre ante la posible solución. La forma de resolver una situación problemática es lo que se llama **resolución de problemas (problem-solving)**. Este término procede del campo de las matemáticas y fue introducido por Polya (1934). Posteriormente se ha extendido al campo de las ciencias como término que define una de las actividades más representativas de la enseñanza de las mismas.

Desde la Psicología, dos grandes líneas o ideas sobre lo que se entiende por resolución de problemas, han marcado las teorías sobre enseñanza-aprendizaje de este tipo de actividad. Ambas presentan posturas opuestas a la hora de enfrentarse a un problema: el ensayo-error, frente a la comprensión y reorganización del problema; el pensamiento reproductivo frente al productivo; el trabajar siguiendo un guión aprendido frente a la construcción de nuevo conocimiento.

La primera aproximación a la resolución de problemas se ajusta a un determinado tipo de problema que, como comentaremos más adelante, para nosotros no es un ‘problema verdadero’, y surge de **paradigmas o perspectivas asociacionistas**. Los problemas se resuelven usando estrategias de ensayo y error hasta que se encuentra la adecuada, y siempre se siguen unas pautas prefijadas y jerarquizadas (un algoritmo) que llevan a la solución, que es única. Este tipo de ideas se han aplicado en la enseñanza proponiendo a los estudiantes un tipo de actividades, a veces con el nombre de problemas, en el que una vez que se ha aprendido a resolver el primero todos los demás se hacen igual. De hecho el problema, a nivel educativo, sólo lo es, para el alumno, la primera vez porque desconoce la solución. Para el profesor, que conoce el camino para hallar la solución, y la misma, el problema es un mero ejercicio. Una vez aprendido el mecanismo para resolver ese tipo de problema, el alumno, podrá aplicarlo a otros del mismo tipo, es decir, en los que sólo se varía la magnitud de algunos datos. Utilizando la jerga familiar ‘quien hace un cesto hace cientos’. Los resultados de aprendizaje obtenidos en la resolución de estos problemas, desde de esta perspectiva, no han sido muy halagüeños. En principio, el aprendizaje se limita a reproducir un patrón que no sirve para cualquier tipo de problema. Además, reproducir algo no significa comprender el conocimiento involucrado en el proceso, tal y como lo demuestran diariamente los estudiantes que no saben como resolver el mismo problema cuando se cambia un dato, o no se les dan todos los datos que ellos esperan, o cuando utilizan datos que no influyen

en la resolución pero que aparecen en el enunciado del mismo (Gilbert, 1980; Selveratnam, 1983).

Recogiendo las ideas de autores que trabajan dentro del campo de la Biología (Smith, 1988a), podemos concluir que: *desarrollar la habilidad o capacidad para reproducir un patrón y hacerlo apropiadamente puede ser, en efecto, aprendizaje, pero la realización o ejecución de la labor no es resolución de problemas.*

La segunda aproximación a la resolución de problemas surge de paradigmas propios de la Psicología de la Gestalt y, más recientemente, de la **Psicología Cognitiva**, en especial dentro de corrientes como el procesamiento de la información o el constructivismo. Sin entrar en las diferencias de los enfoques de cada una de estas escuelas, la idea de resolución de problemas no se limita a reproducir experiencias anteriores o pautas, sino que genera o construye nuevos conocimientos y estrategias. Por supuesto, el tipo de problema no se ajusta a un tipo de actividad repetitiva. Los problemas deben ser situaciones cuya solución no es evidente y ni tan siquiera única. Por ello, los estudiantes deben comprender el problema, reestructurarlo y representar el “espacio del problema” o ambiente de la tarea, lo que supone plantear los estados iniciales, intermedios y finales del mismo (Simon, 1978). Los estudiantes deben poner en juego sus conocimientos y reorganizarlos para poder integrar la información que le aporta el problema y llegar a una solución.

Desde esta perspectiva, diversos autores (Mettes y otros 1980; Gil y Martínez Torregrosa 1983), que trabajan en el campo de la didáctica de las ciencias, identifican la resolución de problemas como: *Un proceso mediante el cuál la situación incierta es clarificada e implica por parte del resolvente la aplicación de conocimientos y procedimientos, así como la reorganización de la información almacenada en la estructura cognitiva, con todo lo que esto tiene que ver en el proceso de metacognición y de construcción del conocimiento.*

En un análisis sobre la resolución de problemas como estrategia de enseñanza de la Biología, se realiza la siguiente síntesis sobre lo que debe ser un problema y su resolución:

“El problema en el contexto del aula y como componente base de una estrategia de enseñanza basada en su resolución puede definirse como una situación cuya solución requiere que el sujeto analice unos hechos y desarrolle razonadamente una estrategia que le permita obtener unos datos (numéricos o no), procesar estos datos (relacionarlos entres sí y con los hechos), interpretarlos y llegar a una conclusión (respuesta). Este análisis y razonamiento debe basarse en la comprensión del tema o del campo al que pertenece la situación. Un problema no podrá ser resuelto mediante el recuerdo, el reconocimiento, la reproducción o la aplicación de un único algoritmo. De este modo el problema vendrá definido por el proceso de resolución que deberá seguir la persona que intenta alcanzar su solución y no por el grado de dificultad que presente para esa persona” (Sigüenza y Sáez, 1990, p. 225)

Además de preguntarnos que se entiende por problema y por resolución de problemas, deberíamos cuestionarnos el **por qué realizar actividades de resolución de problemas** en el aula. La respuesta dada por los didactas y diseñadores de currículos, que consideran la resolución de problemas como una actividad de aprendizaje relevante, se apoyan en los siguientes argumentos (Martínez Aznar, 1990):

1. **Educativos:** La resolución de problemas es un procedimiento activo de aprendizaje, donde el alumno es el verdadero protagonista.

Desde la perspectiva de la psicología cognitiva es un tipo de enseñanza altamente motivadora y relevante o significativa para el alumno. También ha sido avalada como una metodología que posibilita el cambio conceptual, modificando las ideas previas de los alumnos y, favoreciendo la adquisición adecuada de conocimientos.

2. **Científicos:** La resolución de problemas es una actividad básica en la investigación científica y en el desarrollo de conceptos y teorías.

Cada ciencia debe ser enseñada utilizando sus métodos específicos que facilitan la aproximación del alumno a la naturaleza de la ciencia. El trabajo que el alumnado va a desarrollar resolviendo problemas le acercará a la metodología científica y le permitirá una mejor visión de cómo se hace ciencia. También podrá comprobar que actitudes como la perseverancia, la originalidad, la creatividad y el entusiasmo, son propias del trabajo científico.

3. **Ideológicos:** Ante la repercusión que la sociedad tiene en la escuela, y por otra parte, la función social de la escuela; la resolución de problemas se plantea como un nexo que una la escuela y las situaciones reales de la vida diaria. En este sentido, los problemas que se trabajen en el aula deben proceder del mundo real y, por lo tanto serán relevantes desde un punto de vista científico y social; es decir, deben incluir aspectos C-T-S.

4. **Vocacionales:** Una enseñanza-aprendizaje de las ciencias, que permita al alumno adquirir estrategias de resolución de problemas, proporciona un tipo de profesional idóneo de acuerdo con las necesidades sociales y económicas.

Uno de las metas educativas que se persiguen desde las reformas de los años 70 y 80 es que el alumnado sea capaz de “aprender a aprender”. El cambio de sociedad, y del mundo laboral, implica que las personas van a necesitar hacer nuevos aprendizajes a lo largo de toda su vida. Por lo tanto, es tan importante, o más, el aprendizaje de procedimientos como el de conceptos.

Como podemos ver, el desarrollo, por parte del alumnado, de estrategias relacionadas con la resolución de problemas debe ser una meta básica en el proceso de enseñanza aprendizaje; y, así, queda recogida en el Diseño Curricular Base (DCB, 1989), y en el resto de documentos que han ido definiendo las enseñanzas mínimas y el currículo escolar. Centrándonos en la etapa de Enseñanza Secundaria Obligatoria, la resolución de problemas como objetivo educativo en la enseñanza de las ciencias queda reflejado en los siguientes términos:

“El alumno debe elaborar y desarrollar estrategias personales de identificación y de resolución de problemas en los principales campos de conocimiento mediante la utilización de unos hábitos de razonamiento objetivo, sistemático y riguroso, y aplicarlas espontáneamente a situaciones de la vida diaria”. (Objetivo general de la etapa de ESO, DCB, 1989; y que, con una redacción más concisa, se recoge en el RD 1345/1991 y sus modificaciones RD 3473/2000 y RD 937/2001)

“Aplicar estrategias personales, coherentes con los procedimientos de la Ciencia en la resolución de problemas: identificación del problema, formulación de hipótesis, planificación y realización de actividades para contrastarlas,

sistematización y análisis de los resultados y comunicación de los mismos” (Objetivo general de área, DCB, 1989; RD 1345/1991; RD 1390/1995; en la última modificación, RD 937/2001, se recoge de forma más ambigua como “*conocer y aplicar el método científico*”)

“Pero igual importancia que a los conceptos debe concederse a los procedimientos. Al sistema conceptual altamente organizado de la ciencia están indisolublemente vinculadas pautas y reglas que caracterizan métodos científicos de indagación de la realidad. Los alumnos han de conocer y utilizar algunos métodos habituales en la actividad científica a lo largo del proceso investigador: planteamiento de problemas ...” (RD 1345/1991; MEC, 1992; RD 1390/1995)

Los argumentos que apoyan la introducción de una metodología de resolución de problemas en el aula, también nos marcan los objetivos o metas de aprendizaje que podemos esperar. Los aprendizajes que se derivan del trabajo en la resolución de problemas se refieren a:

- Conceptos, es una metodología que genera cambio conceptual;
- Procedimientos, se trabaja con procesos propios de la actividad científica, lo que permiten una visión más real de la naturaleza de la Ciencia;
- Actitudes, esta metodología genera un cambio actitudinal relacionado con la Ciencia como tipo de conocimiento y como materia de estudio.

2.2. APORTACIONES DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Al tratar sobre las distintas formas de entender la resolución de problemas, hemos indicado la existencia de dos líneas de trabajo desde la Psicología Cognitiva: la teoría del procesamiento de la información y el constructivismo. Los intereses de ambas líneas difieren en el objeto de sus investigaciones.

1. Los investigadores que se enmarcan dentro de la teoría del procesamiento de la información se centran en el estudio de estrategias y métodos empleados en la resolución de problemas y, por lo tanto, se interesan por las diferencias entre expertos y novatos a la hora de resolverlos.
2. Los investigadores más interesados por la construcción de conocimientos por parte del alumno, realizan estudios sobre tipos de problemas y la importancia de la creatividad, la motivación, el nivel cognitivo y estrategias como la metacognición en su resolución y, por ello, profundizan en el desarrollo de métodos de enseñanza que faciliten el aprendizaje por parte de los estudiantes de las habilidades para resolver problemas.

A continuación pasamos a recoger, de forma general, las principales aportaciones de estas dos vertientes de investigación en la resolución de problemas.

2.2.1. ¿CÓMO RESUELVEN PROBLEMAS LOS EXPERTOS?

La identificación de las estrategias de resolución de problemas se ha realizado a través de dos métodos muy diferentes. Uno se ha centrado en estudiar la actuación de los expertos; el otro en intentar dar a los ordenadores la capacidad de resolver los problemas. Las expectativas de estos estudios es encontrar la clave para ayudar a los novatos a convertirse en expertos.

Los resultados obtenidos en estos estudios pueden resumirse en (Flavell, 1976; Larkin y Reif, 1979; Chi y otros 1981; Pozo, 1989, López Rupérez, 1991; Snyder, 2000):

- **Conocimiento de la materia.** La diferencia no está sólo en el hecho de que los expertos tengan un mayor conocimiento sino en la forma en la que organizan la información, y la relevancia o no de la misma. Esto se debe a que este conocimiento está más estructurado de modo que usan la información esencial. Los expertos categorizan sobre principios generales y los novatos sobre aspectos superficiales.
- **Procedimientos.** Los expertos dedican más tiempo a la planificación de la resolución y a la posterior verificación y reformulación del problema. Determinan la viabilidad de una posible solución antes de ponerla en práctica. Aplican su experiencia en situaciones parecidas y utilizan destrezas metacognitivas, es decir reflexionan sobre su propio proceso cognitivo.

Estas diferencias hacen que, ante un problema, los expertos y novatos adopten distintas estrategias. Los expertos adoptan una “estrategia hacia delante”, reconocen antes el problema y tienden hacia la meta o solución. Los novatos adoptan una “estrategia hacia atrás”, parten de la meta para determinar los datos. Por lo tanto, la metodología de resolución de problemas que facilite a los estudiantes llegar a ser “expertos” debe tener en consideración estas diferencias: ¿cómo trabajar con la información? y, ¿cómo facilitar el análisis y la reflexión de los estudiantes?

Los expertos han tardado años de estudio y trabajo en conseguir ser ‘expertos’ y esta es una limitación a tener en cuenta en la utilidad de este tipo de investigaciones. No podemos pretender que los estudiantes se transformen en expertos.

Por otra parte, el estudio sobre cómo resuelven problemas los expertos no nos garantiza que los aspectos más importantes de esta actividad sean visibles para el observador, porque, al igual que ocurre en el aula, “*Cuando un alumno observa a un profesor explicando un problema, ve los resultados del pensamiento del profesor, pero rara vez es testigo del proceso de pensamiento en sí*”. (Nickerson y otros 1990, p. 90).

Por lo tanto, es posible que estas investigaciones nos permitan ver los resultados del trabajo de los expertos pero no los procesos que permiten los mismos. A pesar de estas limitaciones, los resultados de las mismas nos aportan caminos o vías de trabajo que ayuden a los estudiantes a mejorar de forma significativa en la resolución de problemas.

La otra línea de investigación, la programación de ordenadores para ejecutar tareas de solución de problemas, pretende identificar las estrategias que emplea la gente y usarlas en la creación de programas informáticos que lleven a cabo tareas particulares, intelectualmente exigentes, y con los resultados esperados. Estas investigaciones se centran en obtener resultados, siendo secundario el hecho de que el ordenador utilice estrategias similares a las que utilizan las personas para resolver las mismas situaciones. Sin embargo, para investigadores de la conducta humana, y para los didactas interesados en la resolución de problemas en el aula, puede ser interesante revisar alguna de las características de estos programas.

Larkin (1980) identifica algunas estrategias generales de solución de problemas que aparecen repetidamente en programas de ordenador que resuelven problemas lógicos y aritméticos, incluidos los juegos de ajedrez:

1. El **análisis de medios y fines**, que implica la determinación de la diferencia que hay entre el presente estado de conocimiento de un problema y el estado requerido para obtener una solución, y la selección de alguna acción que reduzca la diferencia existente entre esos dos estados de conocimiento.

2. El **tipo de planificación**, que implica una sustitución del problema original por una versión simplificada que conserve sólo sus características centrales, la solución de ese problema abstracto y el empleo de ésta para dirigir la búsqueda de una solución del problema original.
3. La **sustitución de objetivos** temporalmente inasequibles por unos subobjetivos más sencillos.

Los resultados de las investigaciones sobre expertos, sean máquinas o no, identifica los elementos que hay que trabajar en la resolución de problemas con estudiantes, como la importancia de organizar y estructurar el conocimiento teórico; la necesidad de dedicar tiempo a la planificación y al análisis de la situación de partida y del estado final al que queremos llegar; reformular el problema, simplificarlo; y ser consciente de los procesos cognitivos que se están utilizando en la resolución.

2.2.2. TIPOS DE PROBLEMAS PARA TRABAJAR EN EL AULA Y HABILIDADES DE RESOLUCIÓN

El interés sobre la resolución de problemas, desde una perspectiva constructivista, se centra en qué tipo de problema permite la construcción de conocimiento por parte del alumno; qué habilidad se tiene que desarrollar para resolverlos, e identificar las dificultades que tienen los estudiantes en este aprendizaje.

A. TIPOS DE PROBLEMAS

Las clasificaciones de las diversas actividades escolares que se pueden considerar problemas, porque el alumno debe aplicar unos conocimientos o estrategias para llegar a una solución, reciben denominaciones muy diversas: ejercicio, problemas de lápiz y papel, trabajos prácticos, experiencias de laboratorio, trabajos de investigación, problemas cotidianos, problemas científicos, problemas tecnológicos, problemas cerrados, problemas abiertos, etc.

Algunos de estos términos se refieren al contexto en el que se desarrolla la actividad, al tipo de solución que se espera, al planteamiento de la situación o al tipo de procedimientos que se van a utilizar en la resolución. Todos estos aspectos dependen del modelo didáctico que esté en la base de la práctica educativa. En un trabajo reciente, a partir de la definición de los diferentes modelos didácticos realizada por sus autores (transmisor, tecnológico, artesano, descubridor y constructivista), se hace un análisis del tipo de situaciones problemáticas que se trabajan en cada uno de ellos (Fernández González y otros, 2001). Recogemos la correlación que establecen estos autores entre modelos y problemas, junto con uno de los ejemplos que utilizan para ilustrarla:

MODELOS	¿QUÉ SE ENTIENDE POR SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	EJEMPLOS
TRANSMISOR	Dificultad teórica que se resuelve utilizando uno o varios algoritmos.	Una bombilla de 40W se conecta a una corriente de 220V: a) Calcula la intensidad de la corriente que la atraviesa. b) Calcula la resistencia de la bombilla. c) Dibuja la bombilla y señala sus partes.
TECNOLÓGICO	Dificultad teórica o práctica que se resuelve utilizando algoritmos o experiencias de laboratorio.	Una bombilla de 40 W y 110 V se funde al conectarla a una corriente de 220V: a) Calcula la intensidad de corriente que la ha fundido. b) Calcula qué resistencia debería ponerse en serie con la bombilla para que ésta no se funda. c) Dibuja un esquema del circuito.
ARTESANO	Dificultad que se resuelve aplicando estrategias no formalizadas, espontáneas o “caseras”.	Una bombilla de 220 V y 60 W se funde. En un supermercado encuentras dos bombillas: una de 110 V y 60 W a 90 ptas. y, otra de 220 V y 45 W a 100 ptas. a) ¿Qué bombilla comprarías? b) ¿Qué pasaría con la otra bombilla que no has elegido? c) ¿Cuál de ellas emite más luz?
DESCUBRIDOR	Dificultad que se resuelve a partir de actividades de investigación libre o dirigida.	Una bombilla se conecta a una corriente: a) ¿Qué características deben tener la corriente y la bombilla para que ésta no se funda? b) Investiga todos los factores que determinan que la bombilla se funda
CONSTRUCTIVISTA	Dificultad que se resuelve de forma múltiple, de acuerdo a las variables y diseños establecidos por el alumno.	¿Se fundirá una bombilla al encenderla? a) Realiza un estudio sobre este caso. b) Analiza la influencia de los materiales que forman la bombilla en relación con su rendimiento.

Cuadro 2.1: Relación entre modelos didácticos y ejemplos de situaciones problemáticas que se trabajan en el aula (Elaborado a partir de cuadros informativos recogidos en Fernández González y otros, 2001)

Los diferentes matices de estas situaciones problemáticas, que se plantean en este ejemplo concreto sobre la corriente eléctrica, dejan vislumbrar los principales

aspectos del pensamiento docente y la práctica educativa, en especial, la concepción que se tiene de la ciencia y lo que se espera del proceso de enseñanza, en cada modelo.

Como hemos indicado en el apartado anterior, un problema viene definido por el proceso de resolución que debe seguir la persona que intenta llegar a su solución. Las diferentes modalidades y denominaciones de situaciones problemáticas que hemos ido indicando se diferencian precisamente en este aspecto. De esta forma, vamos a distinguir entre aplicar la memoria o la reproducción de algoritmos (modelo transmisor) hasta desarrollar estrategias creativas (Garrett, 1987; 1988) (modelo constructivista); es decir, **desde problemas más cerrados**, o ejercicios puzzle en palabras de Garrett, **a más abiertos**; o, según Frazer (1982), **desde problemas artificiales a problemas reales o verdaderos**. Para Frazer, los problemas artificiales son aquellos que tienen una o varias soluciones posibles, y los problemas reales, aquellos en los que la solución no es evidente y cuya resolución requiere de estrategias y comportamientos adicionales.

En el siguiente cuadro se recogen las diferentes situaciones problemáticas, con las que se trabaja en el aula, indicando su convergencia desde las más cerradas a las más abiertas, que realizan Fernández González y otros (2001):



Cuadro 2.2: Convergencia de situaciones problemáticas (Fernández y otros 2001)

El trabajo de investigación que se presenta en esta memoria se ha realizado en el campo de la Biología, y más concretamente en el estudio de la Genética. Tradicionalmente, los conocimientos de la Biología se han transmitido de forma descriptiva, como una retahíla de datos, principios y leyes. A diferencia de la enseñanza de otras ciencias experimentales, la finalidad de los datos teóricos no es conocer unos algoritmos con los que podamos resolver problemas-ejercicios sobre la velocidad de un móvil, o los moles de sustancia que intervienen en una reacción. Las cuestiones o ejercicios que suelen presentar los profesores de Biología, o los libros de texto, y normalmente al finalizar la exposición de unos determinados contenidos teóricos, buscan el refuerzo de lo aprendido (Ejemplos: “¿Qué organismos poseen células eucariotas?”, “¿Qué relación interespecífica se establece entre un cuco y sus padres adoptivos?”), o la capacidad de utilizar datos y razonar (Ejemplos: “¿Qué le ocurre a un glóbulo rojo si se encuentra en una solución hipotónica?, ¿le ocurrirá lo mismo a una célula vegetal?”).

El trabajo con resolución de problemas en Biología surge en los contenidos de Genética, y en determinados aspectos de Ecología y Bioquímica. Los problemas de Ecología y Bioquímica siguen el modelo de los problemas de Matemáticas en los que hay que aplicar un algoritmo. Son ejercicios en los que hay que calcular producciones de un ecosistema, o el porcentaje de alguna sustancia que interviene en una reacción o en un proceso (Ejemplos: “A partir de los datos sobre la cantidad de alimentos ingeridos, asimilados y no, los gastos en respiración, así como la productividad secundaria de dos especies A y B, ¿en cuál de las dos es mayor la productividad?” “Se ha analizado la composición de bases nitrogenadas de una molécula de ADN. El 20% de estas bases son Adenina, ¿puedes indicar los porcentajes de Citosina, Guanina y Timina que presenta esta molécula?”).

En el ámbito de la Genética se trabaja de forma habitual con problemas cuyo fin es el aprendizaje de las leyes de la herencia. La clasificación que se utiliza para identificar los distintos tipos de problemas es la realizada por Stewart (1988). Este autor diferencia dos grandes grupos de problemas, causa-efecto y efecto-cause, que se podrían englobar dentro de la clasificación más amplia de situaciones problemáticas que hemos recogido antes.

Estos dos **tipos de problemas de Genética** se caracterizan por:

- Los problemas **causa-efecto**, son problemas donde se conocen los datos (genotipos, tipo de herencia) y se busca una determinada solución (proporción de fenotipos de la herencia y sus genotipos); por lo tanto, son problemas cerrados al tener una única solución. Realmente, son ejercicios o puzzles donde se trata de completar un rompecabezas a partir de sus piezas. Estos problemas se realizan en un contexto de comprobación de unos conocimientos, y se resuelven aplicando algoritmos. Un ejemplo de este tipo de problemas sería: “El daltonismo es un carácter recesivo localizado en el cromosoma X. Un hijo varón con visión normal, ¿puede tener una madre daltónica?, y ¿un padre daltónico?”
- Los problemas **efecto-causa**, son problemas donde para encontrar su solución se debe razonar desde los efectos (fenotipos que se observan) a las causas (posibles genotipos), llegando a identificar el modelo de herencia implicado. Estos problemas son más abiertos (algunos de ellos pueden tener más de una solución y el enunciado no aporta todos los datos), y se pueden considerar problemas verdaderos. Estos problemas se realizan en un contexto de aprendizaje porque implica que el estudiante ponga en juego sus conocimientos, aventure hipótesis y aplique diversas estrategias de resolución. En cuanto a la forma de resolverse los estudiantes no utilizan de forma inmediata algoritmos y por lo tanto podríamos identificarlos como basados en procesos de investigación. Dentro de este tipo de problemas se podrían identificar otros dos tipos según la información de partida de los estudiantes y las estrategias de resolución que se potencian: a partir de un árbol genealógico dado y totalmente abiertos. Un ejemplo de este último tipo sería: “¿Cómo se hereda un carácter relacionado con el pelo?”

B. HABILIDADES QUE SE DESARROLLAN EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Esta clasificación de los diferentes tipos de problemas se debe contemplar acompañada de las habilidades y procedimientos que el alumno debe poner en juego en la resolución de los mismos. Vamos a analizar este aspecto concretando el estudio sólo en problemas cerrados y abiertos, tal y como los hemos ido definiendo.

Para identificar los procedimientos que utiliza un alumno al resolver un problema cerrado y uno abierto, hemos elegimos un problema de Genética, diseñado por nosotros en su versión abierta, y hemos tomado como ejemplo la clasificación de procedimientos y el tipo de estudio que realiza de Pro (1998). En este caso, el tipo de contenido conceptual involucrado en ambos problemas es el mismo; sin embargo, hay mucha diferencia en el tipo de procedimientos que el alumno debe manejar para la resolución de cada uno de ellos.

PROBLEMA	PROCEDIMIENTOS
<p>CERRADO El color de ojos marrón es dominante sobre el color de ojos azul. Una pareja en la que ambos tienen los ojos marrones, ¿podría tener un hijo de ojos azules?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de datos (identificación del modelo de herencia)
<p>ABIERTO ¿Podría aparecer un nuevo carácter en una familia?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación del problema (situación de partida, variables, partes del problema, etc.) • Predicciones e hipótesis (a partir de un marco teórico sobre la herencia) • Diseño experimental (selección de pruebas adecuadas y de una estrategia de resolución) • Transformación e interpretación de datos (organización y representación de datos en cuadros de Punnett o esquemas con cromosomas, obtención e interpretación de datos) • Análisis de datos (confirmar el modelo de herencia) • Elaboración de conclusiones (inferencias inmediatas a partir de los datos o del proceso, establecer generalizaciones, juicio crítico de los resultados y del proceso de obtención)

Cuadro 2.3: Ejemplo de las diferencias en cuanto a procedimientos o habilidades implicadas en la resolución de problemas cerrados o abiertos.

Podemos ver con este ejemplo, no sólo la riqueza en cuanto a tipos de procedimientos que se desarrollan en la resolución de problemas abiertos (problemas verdaderos), respecto a los problemas cerrados, sino el hecho de que se transmite una imagen de la ciencia y del trabajo de los investigadores más cercana a la epistemología actual.

Numerosas investigaciones que han trabajado con metodología de resolución de problemas abiertos, han constatado que los alumnos consiguen a través de este cambio metodológico un cambio conceptual y de actitudes relacionadas con la ciencia (Carrascosa y Gil, 1985; Gil y Carrascosa, 1985; Gil y Martínez-Torregrosa, 1986; Gil, 1994; Martínez Aznar y Varela, 1996; Varela y Martínez Aznar, 1997, 1998).

En un trabajo reciente (Taconis y otros, 2001), se han analizado los resultados de las investigaciones sobre resolución de problemas, publicadas entre 1985 y 1995 en las principales revistas internacionales, para identificar las estrategias de resolución de problemas de ciencias más eficaces. Dentro de la gran diversidad de tipos de problemas, estrategias empleadas, y variables tenidas en cuenta en estas investigaciones, los autores de este estudio extraen las siguientes conclusiones, coincidentes con los planteamientos de trabajar con problemas abiertos:

- Los resultados mejores se obtienen cuando las estrategias y procedimientos de resolución de problemas no se trabajan aisladas, sino que se estimula la construcción por parte del estudiante de un conocimiento base adecuado.
- Las condiciones de aprendizaje para obtener mejores resultados incluyen la realización de “feedback” o procesos de puesta en común entre los estudiantes de sus aprendizajes y resultados.
- El trabajo en pequeños grupos sólo genera mejores resultados si se combina con otras medidas como la atención a la construcción de esquemas conceptuales, la existencia de unas líneas de trabajo externas, y el proceso de reflexión y puesta en común con el resto de los estudiantes.

Hasta ahora hemos analizado las habilidades que se desarrollan en la resolución de problemas desde un punto de vista didáctico, donde el interés reside en qué tipo de aprendizaje se busca y en cómo obtener los resultados esperados. También podemos

analizarlo desde el punto de vista del que aprende. De esta forma, reflejamos la confluencia que se produce entre las didácticas y la psicología educativa en la investigación de los procesos de enseñanza-aprendizaje (Coll, 1993; Gil, 1993b; Pozo, 1993).

Desde un punto de vista cognitivo, interesa conocer **cómo el sujeto representa internamente las situaciones problemáticas y cómo afronta la resolución**. Llegar a este conocimiento puede ayudar a entender cómo cambian los modelos mentales de los alumnos y qué estrategias de enseñanza pueden favorecerlo. El concepto de modelo mental está siendo utilizado dentro de las ideas sobre representaciones del conocimiento que se utilizan en psicología cognitiva (Rodrigo y Correa, 2001). Los modelos permiten a los individuos hacer inferencias y predicciones, entender los fenómenos, y tomar decisiones. Los modelos mentales, a diferencia de los esquemas que son representaciones duraderas, se concretan para una situación y unos datos determinados.

Trabajando con alumnos que se enfrentaban a la resolución de distintos tipos de problemas de Genética, Sigüenza (2000) ha analizado la relación entre las representaciones mentales duraderas (esquemas mentales previos) y los modelos mentales que los sujetos de la investigación construyeron y, a partir de los cuales, elaboraron nuevas representaciones duraderas más consistentes (esquemas revisados). En su investigación, los estudiantes resolvieron problemas causa-efecto y efecto-causa referidos a diversos modelos de herencia (mendeliana, alelismo múltiple, ligada al sexo, etc.). Los resultados obtenidos muestran dos procesos de resolución totalmente diferentes:

1. Los problemas que requieren razonamientos causa-efecto (cerrados) son resueltos aplicando un determinado algoritmo o patrón de respuesta.
2. Los problemas que requieren razonamientos efecto-causa (abiertos) son resueltos generando e interpretando datos, e incluso decidiendo cuándo se obtiene la solución.

En palabras del autor del estudio, desde un punto de vista cognitivo:

“Estos problemas (efecto-causa) requieren que el alumno opere en un espacio problema experimental, realice inferencias de tipo causal y busque y emplee modelos con mayor poder explicativo y predictivo. Además, añaden otra complejidad al proceso, el efecto de la inclusión de fenómenos anómalos de forma que el repertorio de causas que posee el estudiante resulte insuficiente para explicar los fenómenos. (...) Nuestra hipótesis es que esa insuficiencia altera la coherencia interna del pensamiento determinístico causal del alumno, poniendo en peligro la estabilidad de los principios de constancia –siempre que se produce C (causa), sobrevendrá E (su efecto) invariablemente- y productividad –E es siempre producido por C-. Estos principios son inherentes al pensamiento causal humano (Bunge, 1959). (...) El resultado es un esquema mental de la genética mendeliana más consistente y complejo” (Sigüenza, 2000, p. 446)

En la resolución de problemas abiertos, los alumnos deben utilizar dos habilidades propias de procesos de investigación y creación: **la creatividad y la metacognición**.

La creatividad podría definirse como la capacidad de ver las cosas en una forma nueva y nada convencional (Nickerson y otros, 1990), o bien, como el resultado de la unión de originalidad y utilidad en la resolución de un problema (Garret, 1987, 1988).

Nickerson y otros (1990), a partir de una revisión bibliográfica de los resultados de diversas investigaciones sobre las habilidades implicadas en la resolución de problemas, identifican cuatro **componentes de la creatividad** que caracterizan a las personas creativas:

- Las capacidades creativas como: la fluidez de ideas apropiadas; la recuperación de información remotamente asociada porque se tiene una jerarquía asociativa más extendida; y la intuición o capacidad de conseguir conclusiones sólidas a partir de una evidencia mínima.
- El estilo cognitivo define los hábitos de procesamiento de información de los sujetos. Las personas creativas tienen tendencia a explorar muchas alternativas ante un problema antes de decidir un camino y son flexibles a la hora de cambiar la dirección de la resolución, a cuestionar y valorar cada nueva situación y, son

independientes de campo, es decir, tienden a percibir cosas encajadas en el contexto y escondidas parcialmente por éste.

- Las actitudes están asociadas a la creatividad en cuanto a que la originalidad, el gusto por lo ambiguo, lo incierto y lo abstracto y, el compromiso con el trabajo, entre otras, es una condición necesaria para la misma.
- Las estrategias que favorecen el trabajo creativo pueden ser: las búsquedas largas como resultado de un esfuerzo por encontrar un número grande de soluciones alternativas, la realización de analogías y el torbellino de ideas en la solución de problemas que se realiza en grupo.

La metacognición es el conocimiento sobre el propio conocimiento que, sobre las capacidades y limitaciones de los propios procesos de pensamiento, tiene cada persona. Las habilidades metacognitivas son aquellas necesarias para la adquisición, el empleo, y el control del conocimiento, y de las demás habilidades cognitivas. Precisamente, una de las diferencias entre expertos y novatos en la resolución de problemas, además de la cantidad de conocimientos, era la capacidad de acceder a los mismos y saber cómo utilizarlos.

Flavell (1978, cit. en Nickerson y otros 1990) define el conocimiento metacognitivo a través de tres tipos de variables: las variables personales, las variables de la tarea y las variables de la estrategia. Las *variables personales* abarcan todo lo que uno podría creer acerca del carácter de uno mismo y de las demás personas como seres cognitivos. Las *variables de la tarea* se refieren al conocimiento de lo que implican las características de una tarea cognitiva en cuanto a la dificultad de ésta y al mejor modo de enfocarla. Las *variables de la estrategia* implican el conocimiento de los méritos relativos de los diferentes enfoques de una misma tarea cognitiva. Para este autor, la mayor parte del conocimiento metacognitivo implica probablemente la existencia de interacciones entre dos o tres de estos tipos de variables.

Nickerson y otros (1990) recogen, a partir de los resultados de diversos autores, algunos ejemplos de **habilidades metacognitivas** como:

- La planificación y el uso de estrategias eficaces. Una de las diferencias de los expertos, frente a los novatos, a la hora de resolver problemas era que hacían un

análisis cualitativo de la situación y una planificación de su resolución antes de representarlo de forma cuantitativa.

- El control y la evaluación del propio conocimiento y desempeño. Es importante para poder adquirir nuevos conocimientos saber lo que ya se sabe. Por ello, se deben poseer las capacidades de valorar las propias aptitudes y limitaciones a la hora de enfrentarse a una tarea con determinadas exigencias cognitivas; así como la de controlar y evaluar la realización de las mismas y la de decidir si se sigue adelante, se modifica la estrategia, o se abandona la tarea.
- Reconocimiento de la utilidad de una habilidad. Para mantener una conducta o habilidad no sólo es necesario aprenderla sino conocer la importancia, eficacia o utilidad de la misma.

Ambas, creatividad y metacognición, como elementos implicados en una buena resolución de problemas abiertos, delimitan una serie de implicaciones en el proceso de enseñanza-aprendizaje de estas estrategias. Algunas de las dificultades de la enseñanza de procedimientos de resolución de problemas, y los resultados tan pobres obtenidos en el aprendizaje, tienen como base la no consideración del tipo de destrezas que deben desarrollar los estudiantes.

C. EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS Y SUS DIFICULTADES

A lo largo de diversos estudios, sobre el trabajo en el aula con resolución de problemas de diverso tipo, se ha constatado el alto índice de fracaso que se produce cuando los estudiantes tienen que realizar este tipo de tareas (García 2000; Gil y otros 1988b; Gilbert, 1980; Kempa, 1986; Kramers-Pal y Pilot, 1988; Oñorbe, 1993; Reigosa y Jiménez, 2000; Selveratnam, 1983; Smith, 1988b), y se han identificado una serie de dificultades en el proceso de enseñanza-aprendizaje que pueden condicionar estos resultados.

Oñorbe y Sánchez (1996 a y b), identifican una serie de obstáculos en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los problemas tradicionales de Física y Química, desde el punto de vista del profesorado y del alumnado. Los resultados más relevantes, a partir de las encuestas que se realizan a profesores y alumnos aparecen en el siguiente cuadro:

PROFESORES	ALUMNOS
<ul style="list-style-type: none"> • Falta de preparación didáctica • Falta de comprensión de lo que es la resolución de problemas • Problemas mal diseñados • Carencia de estrategias de resolución de problemas • Factores externos: tiempo, aula 	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas de memoria más que de cálculo • Asocian la aplicación de la teoría y la forma de resolver problemas • Problemas excesivamente complicados • Carencia de estrategias de resolución de problemas

Cuadro 2.4: Dificultades u obstáculos para profesores y estudiantes en las tareas de resolución de problemas.

En estas encuestas los profesores dan gran importancia a la falta de trabajo e interés de los alumnos, así como a los fallos en operaciones básicas. Los profesores responsabilizamos al alumno del fracaso, cuando deberíamos preguntarnos que se está haciendo mal para que tengan tantas dificultades en la resolución de problemas. No se puede pretender el éxito en una tarea si no se tienen en cuenta todos los aspectos (cognitivo, afectivo, diseño de problemas, estrategias de enseñanza...) involucrados en la misma y las dificultades que conlleva su puesta en práctica en el aula.

Vamos a revisar estas dificultades englobándolas en los siguientes apartados:

- Dificultades para el alumnado: aspectos cognitivos, afectivos y de contexto
- Dificultades para el profesorado: diseño de problemas, enseñar a resolverlos y evaluación de los mismos

C1. Dificultades para el alumnado: Aspectos cognitivos, afectivos y de contexto

Los estudios realizados sobre la resolución de problemas y los aspectos cognitivos (Linn y Levine, 1978; López Rupérez, 1986, 1991; Palacios y otros 1989; Palacios y López Rupérez, 1992; Oliva, 1999b; Varela, 1994) indican que las diferencias individuales, determinadas a partir del estilo cognitivo del alumno, inciden en la resolución de problemas. Al hablar de diferencias cognitivas del alumno nos referimos, principalmente, al nivel del desarrollo del pensamiento concreto y al estilo

cognitivo Dependencia-Independencia de Campo (DIC). Diversas investigaciones ponen de manifiesto que el pensamiento formal está influido por el estilo cognitivo (Carretero, 1982; Níaz, 1989; López Rupérez, 1991; Varela, 1994) y que, a su vez, la relación entre el estilo cognitivo DIC y la resolución de problemas abiertos es muy relevante (García Ramos, 1989; López Rupérez, 1991; Varela, 1994) porque el material de trabajo no tiene una estructura claramente perceptible. Por ello, no es de extrañar que los alumnos independientes de campo y con mayor nivel de desarrollo de pensamiento formal, presenten una mayor capacidad para resolver problemas de enunciado abierto. Por otra parte, en estos estudios el factor género es irrelevante a la hora de determinar diferencias en las capacidades de resolución de problemas.

En el aula no todos los alumnos van a presentar las mismas características cognitivas y debemos trabajar con ese presupuesto de partida. Nos encontraremos alumnos con dificultades en destrezas de cálculo, interpretación de gráficas, razonamiento deductivo, etc. Eso no quiere decir que no puedan desarrollar, en parte, sus capacidades cognitivas gracias a la resolución de problemas, pues se ven obligados a utilizar tanto sus conocimientos como sus metaconocimientos y sus capacidades de toma de decisiones.

En cuanto a los aspectos afectivos hay que remarcar que la resolución de un problema exige una inversión importante de esfuerzo y afectividad. El alumno se enfrenta a la frustración inicial ante el problema, la voluntad de resolverlo, la perseverancia en la investigación, el abandono, y la satisfacción personal al resolverlo.

Recogemos la clasificación que hace Watts (1994) de los distintos tipos de obstáculos que se puede encontrar quien vaya a resolver un problema:

- *Obstáculos psicológicos* como:
 - Necesidad de perseverancia y concentración
 - Disposición y actitud positiva hacia la realización y el éxito
 - Motivación y sentido de la competición
 - Estrategias sociales y de cooperación
 - Hacer frente a la ansiedad e inseguridad
- *Cambios en el conocimiento y comprensión* como:
 - Capacidad para reconocer y conceptualizar el problema

- Marco adecuado de conocimientos base
- Percepciones correctas o incorrectas sobre el contexto del problema
- Poca, o a veces demasiada, información sobre el problema
- Nivel de complejidad o abstracción del problema
- Apreciación de los modelos, analogías, metáforas y sus respectivos límites
- Nivel de las representaciones simbólicas involucradas
- Nivel de creatividad requerido
- La *necesidad de estrategias* como:
 - Aproximación metodológica a la experimentación
 - Herramientas gráficas
 - Numéricas y de cálculo
 - Manipulativas
 - Procesos de información
 - Lingüísticas, semánticas

C2. Dificultades para el profesorado: diseño de problemas, enseñar a resolverlos y evaluación de los mismos

Diseño de problemas.

La primera dificultad que nos encontramos al intentar diseñar problemas es cuestionarnos lo que se puede considerar como problema. Desde nuestra perspectiva de trabajo que está dentro de una concepción constructivista del aprendizaje, los verdaderos problemas son problemas abiertos. Existen propuestas de cómo transformar los ejercicios de Física en problemas prescindiendo de datos numéricos y de información adicional (Garrett y otros, 1990; Gil y Martínez Torregrosa, 1987; Gil y otros, 1988a), propuesta que puede ayudar o dar ideas en el diseño de los mismos.

Generalizando la elaboración de problemas a cualquier rama de las ciencias experimentales, Pozo (1994) propone una serie de criterios que permiten convertir las actividades escolares en problemas en vez de en simples ejercicios. Recogemos, en el siguiente cuadro, aquellos criterios que se refieren al diseño y elaboración de los problemas:

1. Plantear tareas abiertas, que admitan varias vías posibles de solución e incluso varias soluciones posibles, evitando las tareas cerradas.
2. Modificar el formato o definición de los problemas, evitando que el alumno identifique una forma de presentación con un tipo de problema.
3. Diversificar los contextos en que se plantea la aplicación de una misma estrategia, haciendo que el alumno trabaje los mismos tipos de problemas en distintos momentos del currículo y ante contenidos conceptuales diferentes.
4. Plantear las tareas no sólo con un formato académico sino también en escenarios cotidianos y significativos para el alumno, procurando que el alumno establezca conexiones entre ambos tipos de situaciones.
5. Adecuar la definición del problema, las preguntas y la información proporcionada a los objetivos de la tarea, utilizando, en distintos momentos, formatos más o menos abiertos, en función de esos mismos objetivos.

Cuadro 2.5: Pasos para la elaboración de problemas abiertos (Pozo, 1994)

Enseñar a resolver problemas.

El aprendizaje de la resolución de problemas, al igual que cualquier otro aprendizaje, no es una cuestión de transmisión y recepción. Además, no existe la 'heurística o receta' general, cada problema requiere unas estrategias de resolución y, también, cada alumno, según su estilo cognitivo, elegirá unas u otras.

En un apartado anterior ya hemos indicado la diferencia entre problema y ejercicio, y cómo esto marca distintas pautas de resolución y diferentes actitudes del alumno hacia uno u otro. La misma reflexión debemos hacernos ahora cuando el profesor y el alumno, frente a la misma actividad, contempla situaciones muy distintas, aún tratándose de problemas cerrados. Cuando, como docentes, nos cuestionamos el por qué del fracaso en la realización de estas actividades o ejercicios algorítmicos no nos planteamos que la dificultad está en reconocer que para el alumno ese ejercicio, la primera vez que lo hace, no es algo rutinario, es una situación problemática que no sabe cómo interpretar, y mucho menos como resolver.

Al enfrentarnos con la tarea de enseñar a resolver problemas debemos tener muy presente el trabajo de Oñorbe (1990) sobre las diferencias entre el profesor y el alumno cuando resuelven un problema cerrado en el aula.

PROFESOR/A	ALUMNO/A
⇒ Presenta un ejercicio del que conoce perfectamente la estrategia de resolución	⇒ Se enfrenta a un problema del que desconoce la estrategia o algoritmo de resolución.
⇒ Presenta un método para resolverlo	⇒ Comprende o memoriza el algoritmo correspondiente ⇒ Reconoce el problema y lo transforma en ejercicio
⇒ Presenta nuevos ejercicios, con algunas variaciones sobre el inicial	⇒ Se entrena en el algoritmo
⇒ Controla el resultado y evalúa	⇒ Es evaluado

Cuadro 2.6: Diferencias entre la visión de un profesor y un alumno frente a un ejercicio o problema cerrado. (Oñorbe, 1990)

Si el problema es abierto con mayor razón podemos esperar que el alumno no desarrolle, por sí mismo, mecanismos de resolución; por lo tanto, se hace necesario familiarizarle en la resolución de problemas verdaderos. Uno de los mayores problemas de la enseñanza de las ciencias, como ya se ha expuesto anteriormente, es el abismo que existe entre las situaciones de enseñanza-aprendizaje y el modo en que se construye el conocimiento científico. Daniel Gil y colaboradores plantean la metáfora del “*científico novel*”, que se integra en un equipo de investigación y desarrolla pequeñas investigaciones bajo la supervisión de un experto, para sugerir el aprendizaje de las ciencias como una *investigación dirigida*. Para llevarlo a cabo proponen una serie de estrategias (Gil, 1993a; Gil, 1994a; Gil y otros, 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 previas), elaboración de posibles estrategias de resolución y análisis y comparación con los resultados obtenidos por otros grupos de alumnos.
- d) Los nuevos conocimientos se manejan y aplican a nuevas situaciones para profundizar en los mismos y afianzarlos.

En esta misma línea, Wheatley (1991) propone un modelo de aprendizaje de las matemáticas y las ciencias centrado en los problemas que presenta tres componentes:

1. **Tareas.** El profesor debe buscar y preparar situaciones problemáticas que sean accesibles, en principio, para el alumno y que le inviten a tomar decisiones. Deben ser actividades que generen discusión y comunicación, que interesen al alumno y que se puedan ampliar.
2. **Grupos cooperativos.** Los estudiantes deben trabajar en pequeños grupos porque la socialización es uno de los factores que interviene en el desarrollo cognitivo.
3. **Interacciones.** Los alumnos deben tener tiempo para compartir con el resto de la clase los métodos utilizados en la solución del problema, sus ideas y aprendizajes.

Otro factor que afecta al proceso de enseñanza de los procesos de resolución de problemas es que estas actividades requieren una organización del trabajo en el aula y un tiempo de realización que condiciona la elaboración de los materiales curriculares y las unidades didácticas. Resolver un problema lleva tiempo; requiere una comprensión del mismo, el alumno debe ‘incubarlo’ hasta que pueda formular de nuevo el problema y plantear hipótesis y verificarlas. Por otra parte, la comunicación entre los grupos de trabajo de sus hipótesis y resultados es algo fundamental en un proceso de investigación; y, por ello, la organización del aula debe favorecer este trabajo en grupos.

Evaluación

La evaluación de un problema verdadero no puede fijarse exclusivamente en un resultado final, como si fuese un mero ejercicio, debe evaluarse todo el proceso de aprendizaje. El problema de evaluar el proceso de aprendizaje es la subjetividad que ello podría conllevar si no se marcan unos criterios previos; por ello, en cada problema, hay que establecer los contenidos que se van a trabajar y unos criterios de evaluación que valoren el nivel o profundidad con que se hace. De esta forma la evaluación del diseño de la resolución de los problemas será un proceso más objetivo y útil a la hora de valorar el aprendizaje realizado por los estudiantes. Además, se deben utilizar otras formas de evaluación como la observación en el aula o las entrevistas.

Este repaso por las dificultades que se encuentra el docente y el estudiante a la hora de enseñar y aprender a resolver problemas nos lleva a pensar en **el por qué del fracaso de la resolución de problemas en el aula**. Las investigaciones realizadas en torno a este tema dan algunas pautas. Además hay que distinguir en los resultados que se obtienen según el tipo de problema del que se esté hablando y el tipo de metodología de resolución que se esté desarrollando. La mayoría de los estudios se basan en el fracaso en la resolución de problemas cerrados a partir de estrategias reproductivas.

Gil y otros (1988 b), indican que el fracaso de la resolución de problemas puede encontrarse en los supuestos y presunciones que subyacen en las investigaciones experto/novato, que pretenden encontrar un método de resolución de problemas que se pueda enseñar en el aula. Esta suposición entra de lleno en la transmisión de la información de forma inductivista y, en la creación de algoritmos de resolución, algo que va en contra de la verdadera naturaleza de los problemas científicos.

Todo esto lleva a los autores a la observación de una serie de errores, tanto en profesores como alumnos, en la resolución de problemas:

- Falta de reflexión cualitativa previa, los problemas se operativizan pronto
- Tratamiento superficial que no se detiene en la clarificación de los conceptos. Los conceptos no se comprenden de forma que, en vez de favorecer el aprendizaje significativo, se afianzan las ideas previas.

Los autores, ante estos resultados, vuelven a incidir en la necesidad de dar un tratamiento científico a la resolución de problemas, utilizar nuevos enfoques que se aproximen a la metodología científica. El desarrollo de un modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación requiere que las actividades de aprendizaje se aproximen a las de construcción de conocimientos científicos, e incluir la historia y filosofía de la ciencia en el currículo de ciencias. La contribución de la historia, la filosofía y la epistemología, en un aprendizaje significativo de los conceptos científicos, es crucial; puesto que, las concepciones erróneas sobre la naturaleza de la ciencia transmitidas en la enseñanza impiden la correcta construcción de conocimientos (Gil, 1993a).

2.3. MODELOS DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

“Enseñar a resolver problemas no consiste sólo en dotar a los alumnos de destrezas y estrategias eficaces, sino también de crear en ellos el hábito y la actitud de enfrentarse al aprendizaje como un problema al que hay que encontrar respuesta. No se trata sólo de enseñar a resolver problemas sino también de enseñar a plantearse problemas como forma de aprender, a convertir la realidad en un problema que merece ser indagado y estudiado” (Pozo, 1994, pp.15-16)

En la búsqueda del modelo apropiado de resolución de problemas para la enseñanza de la Biología, estas líneas sobre lo que puede y debe abarcar la enseñanza de una metodología de resolución, van a estar muy presentes. Una revisión sobre los diversos modelos de resolución de problemas nos permite observar cómo la idea fundamental, ¿qué es un problema y cómo enseñar a resolverlo?, va variando según las concepciones psicopedagógicas de las que se parta y de las áreas de conocimientos a las que se aplique esta metodología.

Los diversos modelos de resolución de problemas se pueden encuadrar en dos grandes grupos, según el proceso seguido en su resolución, los problemas algorítmicos que ponen su énfasis en resolver problemas-ejercicio, usualmente de enunciado numérico, y los problemas como actividad en la que se debe emplear una metodología de tipo investigativo.

2.3.1. PROBLEMAS ALGORÍTMICOS O PROBLEMAS-EJERCICIO DE ENUNCIADO NUMÉRICO

Los modelos algorítmicos se diseñan para problemas basados en datos. Estos problemas, en general son cerrados, y los estudiantes los terminan resolviendo como ejercicios de ensayo y error o tipo puzzle. Sin embargo, los modelos algorítmicos están en la base de toda la resolución de problemas y, puede ser interesante mencionarlos,

aunque sea de forma muy generalizada, para ver mejor la evolución desde la concepción de la resolución de problemas como un proceso heurístico, o de reproducción de una forma de trabajo, hasta la de una actividad de investigación.

EL MODELO DE RESOLUCIÓN DE POLYA (Polya, 1945)

Polya elabora un modelo para las Matemáticas, donde se busca una heurística o 'receta', que se puede considerar el precursor de las ideas de resolución de problemas como estrategia a enseñar. El propio autor recomienda el plan de trabajo, que se recoge a continuación, para problemas donde aparecen situaciones concretas y con unos datos prefijados.

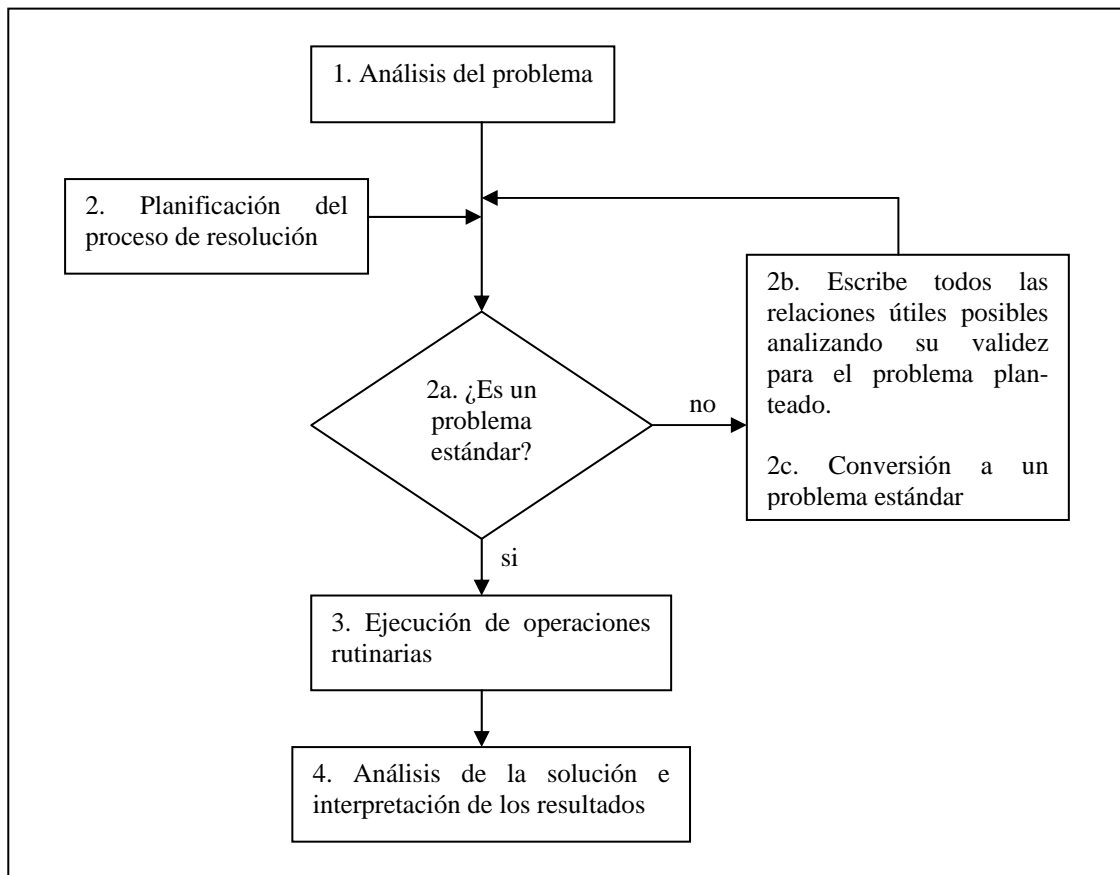
<p>1. Comprensión del problema</p> <ul style="list-style-type: none">- ¿Cuál es la incógnita?, ¿Cuáles son los datos?- ¿Cuál es la condición? ¿Es la condición suficiente para determinar la incógnita? ¿Es suficiente? ¿Redundante? ¿Contradictoria? <p>2. Concepción de un plan</p> <ul style="list-style-type: none">- ¿Se ha encontrado con un problema semejante?- ¿Conoce un problema relacionado con éste? ¿Conoce algún teorema que le pueda ser útil?- He aquí un problema relacionado con el suyo y que ya se ha resuelto: ¿podría usted utilizarlo? ¿Podría utilizar su resultado? ¿Podría emplear su método? ¿Le haría a usted falta introducir algún elemento auxiliar a fin de poder utilizarlo?- ¿Podría enunciar el problema de otra forma? ¿Podría plantearlo de forma diferente?- Si no puede resolver el problema propuesto, trate de resolver primero algún problema similar: ¿Podría imaginarse un problema análogo un tanto más accesible? ¿Un problemas más general? ¿Un problema más particular?- ¿Ha empleado todos los datos? ¿Ha empleado todas las condiciones? ¿Ha considerado usted todas las nociones esenciales concernientes al problema? <p>3. Ejecución del citado plan</p> <ul style="list-style-type: none">- Al ejecutar su plan de la solución, compruebe cada uno de los pasos.- ¿Podría usted ver claramente que el paso es correcto? ¿Puede usted demostrarlo? <p>4. Visión retrospectiva o revisión del resultado</p> <ul style="list-style-type: none">- ¿Puede verificar el resultado? ¿Puede verificar el razonamiento?- ¿Puede obtener el resultado de forma diferente? ¿Puede verlo de golpe?- ¿Puede usted emplear el resultado o el método en algún otro problema?

Cuadro 2.7: Modelo de resolución de problemas de Polya (1945)

El éxito de este modelo es muy relativo porque las pautas surgen de la observación de tareas muy concretas, de problemas bien definidos. Sin embargo, el modelo pretende que la heurística de resolución de problemas sea general y se pueda enseñar en el aula y, además, considera que la diferencia a la hora de aplicarlas bien está en los conocimientos que tiene el sujeto que resuelve. Esta idea ya ha sido contestada (Simon, 1978), porque las diferencias en la utilización de las estrategias no sólo depende de las personas, sino también de las estructura de la tarea y de las instrucciones que la acompañan.

P.A.M. (PROGRAMA DE ACCIONES Y MÉTODOS, Mettes y otros, 1980)

La finalidad de esta propuesta es transformar los problemas cuantitativos de ciencias, que se le plantean al alumno, en otros ya conocidos o problemas estándar; transformar el problema en un ejercicio que se resuelve de forma rutinaria.

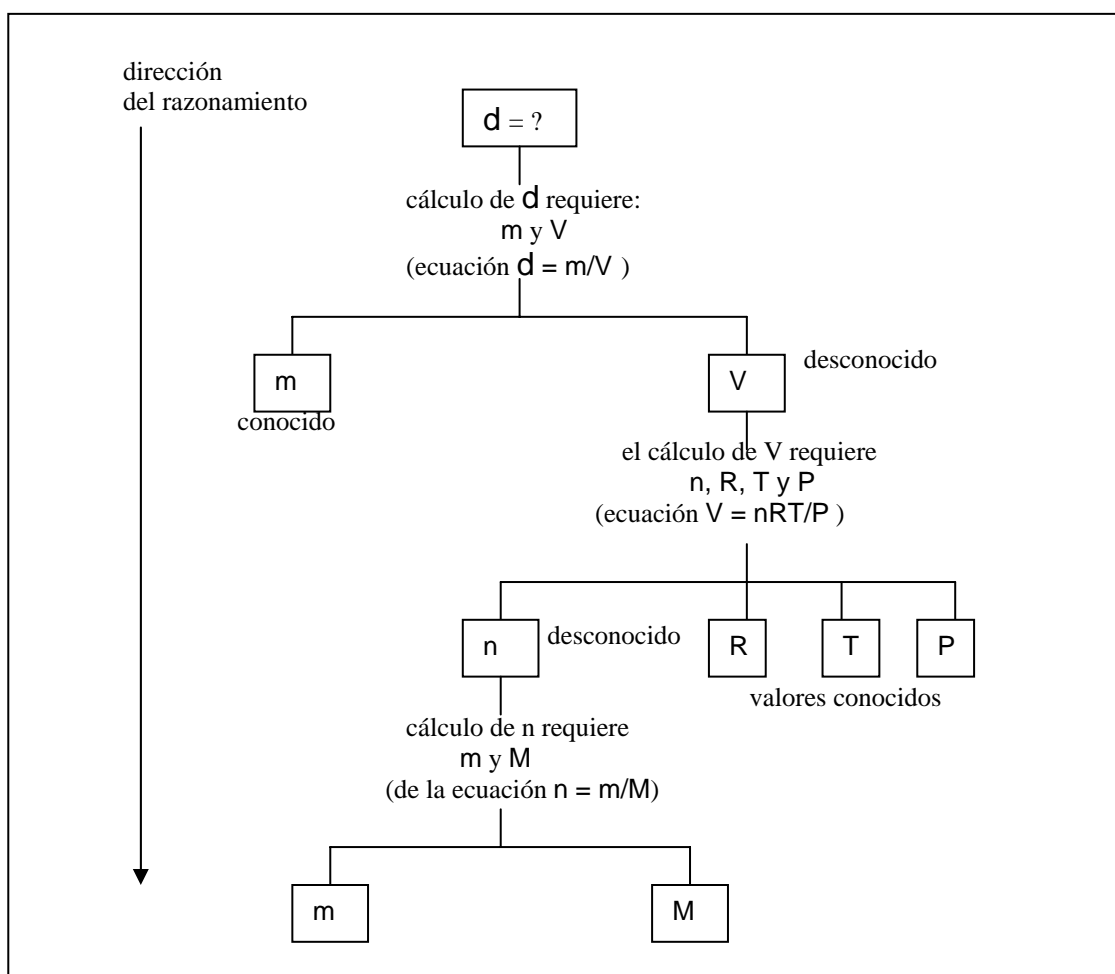


Cuadro 2.8: Fases principales del P.A.M. (Mettes y otros, 1980)

El modelo es diseñado, en un momento inicial, para la resolución de problemas de Química. Se basa en el seguimiento de una serie de etapas (muy similares en cuanto al enunciado a las de Polya) que te llevan por distintos caminos según cuáles sean las respuestas dadas en cada una de las etapas. Es un modelo que sigue la línea de los esquemas, que se usan en Inteligencia Artificial, para diseñar máquinas inteligentes.

LOS MAPAS DIRECCIONALES (Selveratnam, 1990)

Este modelo se crea para la resolución principalmente de problemas de Química; partiendo del manejo de los datos que aporta el problema y del conocimiento de algoritmos. La idea fundamental es adiestrar a los alumnos en la realización de “mapas direccionales” que les permita saber qué datos necesitan y, cómo obtenerlos, para llegar a la resolución del problema. En el siguiente cuadro se recoge un ejemplo concreto de mapa direccional para la resolución del problema : “Calcular la densidad de un gas”.



Cuadro 2.9: Mapa direccional de la solución de un problema (Selveratnam, 1990)

Para terminar con el apartado de problemas de enunciado numérico, comentar las críticas que han recibido estos modelos algorítmicos:

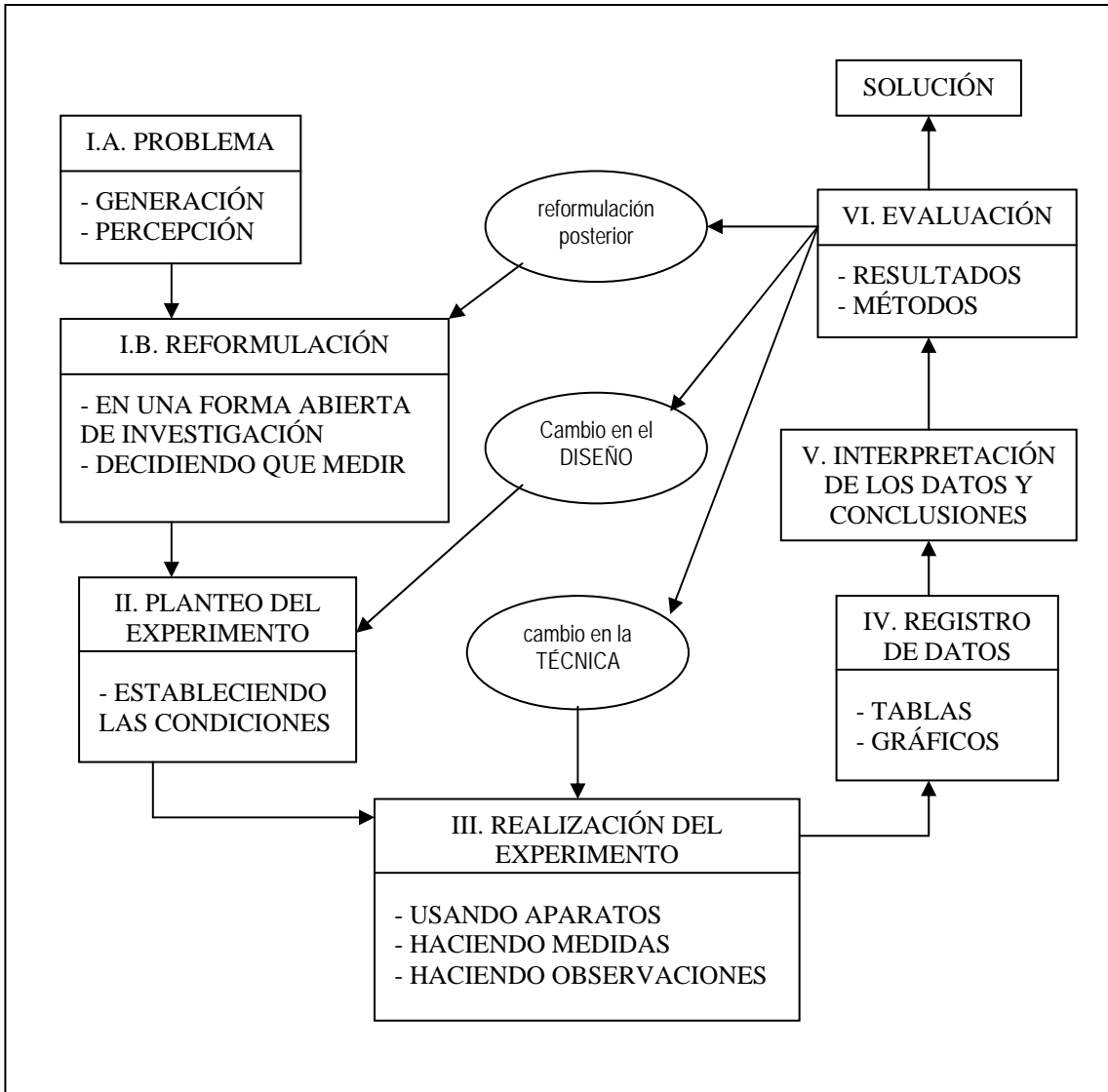
- El proceso de enseñanza-aprendizaje se considera como una simple transmisión-recepción, lejos de las corrientes constructivistas.
- Subyace una visión empirista de la metodología científica alejada de las visiones epistemológicas actuales.
- Inciden excesivamente en el adiestramiento de técnicas rutinarias que no favorecen el desarrollo cognitivo, ni el aprendizaje significativo.
- El tratamiento es demasiado operativista al partir siempre de datos, impidiendo un análisis reflexivo sobre el problema planteado. Las investigaciones realizadas con problemas que incluyen muchos datos, relevantes o no, indican que los alumnos los usan de forma poco significativa y absurda cuando aparecen en exceso (Selveratnam, 1983) y no se preguntan qué es lo que necesitan para resolver un problema (Gilbert, 1980).

2.3.2. PROBLEMAS INVESTIGATIVOS

A.P.U. (ASSESSMENT OF PERFORMANCE UNIT, 1984)

En principio, se diseñó para la resolución de problemas prácticos; aunque, se puede aplicar a los problemas de lápiz y papel; sustituyendo la experimentación por el diseño de estrategias y, la resolución del problema se haría a la luz del cuerpo teórico necesario. Los autores consideran seis categorías de destrezas en los problemas experimentales (uso de representaciones simbólicas, uso de aparatos e instrumentos de medida, observación, interpretación y aplicación, planificación de investigaciones y, realización de investigaciones), siendo la síntesis de todas las destrezas la última. Los pasos que se siguen en este modelo son cíclicos, la interpretación de unos datos o el resultado de un experimento puede crear un proceso de feed-back hacia un paso anterior:

A continuación se recoge el diagrama que presentan los autores para la resolución de problemas.



Cuadro 2.10: Diagrama de una investigación (A.P.U., 1984)

MODELO PROPHY (Enseñanza de una metodología de Resolución de Problemas de Física, Caillot y Dumas-Carre, 1987)

Surge para la resolución de problemas de Mecánica. En su desarrollo se tienen en cuenta tres características: las acciones o procesos cognitivos puestos en juego, el tipo de conocimientos utilizados en cada una de las fases, y el producto obtenido en cada una de ellas. Aunque parezca un modelo lineal los autores llaman la atención sobre el carácter cíclico de la propuesta, ya que en cualquier momento se puede hacer un bucle hacia atrás para retomar el proceso. Éstos son sus elementos prescriptivos:

FASES	PROCESOS COGNITIVOS	CONOCIMIENTOS A UTILIZAR	PRODUCTOS OBTENIDOS
Comprensión Traducción	- Lectura del enunciado - Análisis de datos - Inferencia inmediatas	- Conocimientos declarativos generales - Conocimientos declarativos en dominios no formalizados	- Representación cualitativa de la situación física parcelada incluyendo el final del problema
Movilización	- Selección desde la base de conocimientos - Comparación/Diferenciación de la representación parcelada - Elección del principio a utilizar	- Conocimientos declarativos en un dominio: definiciones, relaciones, condiciones de aplicación (forma cualitativa)	- Representación global cualitativa y principios a utilizar
Instanciación	- Eliminación de las informaciones no útiles - Elección de estrategias - Particularización a la situación concreta de los principios y leyes	- Conocimientos declarativos de dominio, relaciones cuantitativas	- Representación física, espacial y temporal - Representación formalizada (ecuaciones)
Ejecución	- Elección y ejecución de procedimientos	- Algoritmos de tratamientos de datos	- Resultados, refutaciones y cuestiones.

Cuadro 2.11: Modelo prescriptivo de resolución de problemas PROPHY (Caillot y Dumas-Carré, 1987)

Los autores consideran que el trabajo, siguiendo estas pautas, favorece que los estudiantes se familiaricen con la metodología científica de los físicos. Los estudiantes deben representar el problema, organizar la información y planificar la resolución eligiendo las estrategias más apropiadas.

MODELO DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO UNA INVESTIGACIÓN (Gil y Martínez Torregrosa, 1983)

La propuesta iniciada por estos dos autores se ha trabajado desde hace unos veinte años en la Universidad de Valencia. El origen del modelo, en principio dentro del campo de la Física, está en la pregunta: ¿qué hacen los científicos cuándo se enfrentan a verdaderos problemas? y, en su respuesta: se comportan como investigadores. Este modelo ha demostrado su utilidad en los aprendizajes escolares, por lo que ha sido ampliamente utilizado y validado (Gil y Martínez Torregrosa, 1984, 1986; Martínez Torregrosa, 1987; Ramirez, 1990; Reyes, 1991; Martínez Aznar y Varela, 1996; Martínez Aznar y Ovejero, 1997; Martínez Aznar y otros, 2001; Varela, 1994; Varela y Martínez Aznar, 1997, 1998), y, por ello, es el que se toma como referencia en esta investigación. En el siguiente apartado se desarrolla con mayor amplitud.

2.4. LA METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO UNA INVESTIGACIÓN (MRPI)

Los fundamentos de esta propuesta habría que buscarlos en la epistemología y en las aportaciones de autores relevantes como Bunge, Kuhn, Chalmers, etc.; destacándose las siguientes (Gil y Martínez Torregrosa, 1983):

- Rechazo de la idea del método científico como un conjunto rígido de reglas aplicables mecánicamente.
- Superación del empirismo científico, dando más importancia al papel del paradigma teórico
- Consideración de los problemas científicos como situaciones problemáticas, donde el papel de los científicos es definir y acotar el problema.
- Los científicos cuando resuelven los problemas no razonan en términos de certezas, sino en términos de hipótesis.
- Los investigadores no parten de datos, sino que éstos se buscan desde las hipótesis hechas y desde la estrategia de resolución
- En el trabajo científico se cuestionan los resultados obtenidos, se hacen revisiones sistemáticas del proceso de resolución, se comprueba la coherencia de los resultados con las hipótesis hechas.
- El desarrollo científico tiene un carácter social y colectivo. La investigación se hace dentro de instituciones y es controlada, en parte, por los gobiernos y la sociedad.

Siguiendo las consideraciones anteriores, los autores proponen que, el tipo de problemas y las estrategias de resolución, partan de una serie de premisas:

- Los problemas que se proponen deben ser de enunciado abierto, sin datos, para que los alumnos acoten el problema y se favorezca el análisis cualitativo del mismo.
- Los problemas deben fomentar la creatividad del alumno.
- El aprendizaje debe concebirse como un cambio conceptual y metodológico.

- La formulación de hipótesis es fundamental en el proceso de investigación.
- El trabajo de resolución de problemas debe ser un trabajo de grupo, de equipo de investigación, donde la comunicación y verbalización de las hipótesis y los resultados tenga una gran importancia.

La metodología que propone este modelo es la siguiente:

- I. Comenzar por un **estudio cualitativo** de la situación, intentando acotar y definir de manera precisa el problema, explicitando las condiciones que se consideran reinantes.
- II. **Emitir hipótesis** fundadas sobre los factores de los que puede depender la magnitud buscada y sobre la forma de esta dependencia, imaginando, en particular, casos límites de fácil interpretación.
- III. **Elaborar y explicar posibles estrategias de resolución** antes de proceder a ésta, evitando el puro ensayo y error. Buscar distintas vías de resolución para posibilitar el contraste de los resultados obtenidos y mostrar la coherencia del cuerpo de conocimientos de que se dispone.
- IV. Realizar la **resolución** verbalizando al máximo, fundamentando lo que se hace y evitando, una vez más operativismos carentes de significación física.
- V. **Analizar cuidadosamente los resultados** a la luz de las hipótesis elaboradas y, en particular, de los casos límites considerados.

Cuadro 2.12: Modelo investigativo de resolución de problemas (Gil y Martínez Torregrosa, 1983)

A continuación vamos a describir cada una de las fases de resolución (Gil y otros, 1988a):

I. **Análisis cualitativo del problema.**

Cuando un “experto” se enfrenta a un problema comienza siempre con un estudio cualitativo del mismo para acotarlo y simplificarlo, lo que permite que se aborde, y clarifique su objetivo. La eliminación de los datos en los enunciados obliga a analizar y modelizar las situaciones problemáticas ya que impide pasar directamente a un tratamiento operativo.

II. Emisión de hipótesis.

Esta etapa de la resolución marca importantes diferencias con las distintas propuestas recogidas en el apartado anterior. El consenso general de los epistemólogos es que la emisión de hipótesis tiene un papel central en el tratamiento de verdaderos problemas. El trabajo científico se realiza a partir de razonamientos en términos de hipótesis. Son las hipótesis las que focalizan y orientan la resolución, las que indican los parámetros (datos) a tener en cuenta y, las que permiten analizar todos los resultados y el proceso seguido para obtenerlos.

En la enseñanza de las ciencias no se tiene en gran consideración el papel de las hipótesis; sin embargo, en opinión de estos autores, los problemas sin datos en el enunciado obligan y permiten al alumno pensar en términos de hipótesis, e imaginar cuáles deben ser los parámetros pertinentes y la forma en que intervienen. Es la falsación de las hipótesis, que resulta de la resolución de problemas, lo que se convierte en un conflicto cognitivo y, por lo tanto, en una herramienta del cambio conceptual.

III. Diseño de estrategias de resolución.

Los autores indican que esta etapa de la resolución está directamente relacionada con el contraste de las hipótesis. Diseñar una estrategia de resolución no sólo es elegir lo que se va a hacer o el principio que se va a utilizar, es también una construcción tentativa que parte del planteamiento cualitativo realizado y de las hipótesis formuladas, de los conocimientos que se poseen y que exigen imaginación y ensayos. Las estrategias de resolución en los problemas de lápiz y papel son, en cierta medida, el equivalente a los diseños experimentales en los problemas que exigen contraste experimental. Es útil, por su naturaleza tentativa, buscar varios caminos de resolución, lo que, además de facilitar la verificación de los resultados, contribuye a mostrar la coherencia del cuerpo de conocimientos.

IV. Resolución.

Esta etapa es el resultado de las tres anteriores. La resolución debe ser literal, en la que los factores considerados como pertinentes aparezcan explícitamente y se puedan reconocer los principios aplicados; lo que no ocurre, obviamente, en el caso de una resolución puramente numérica.

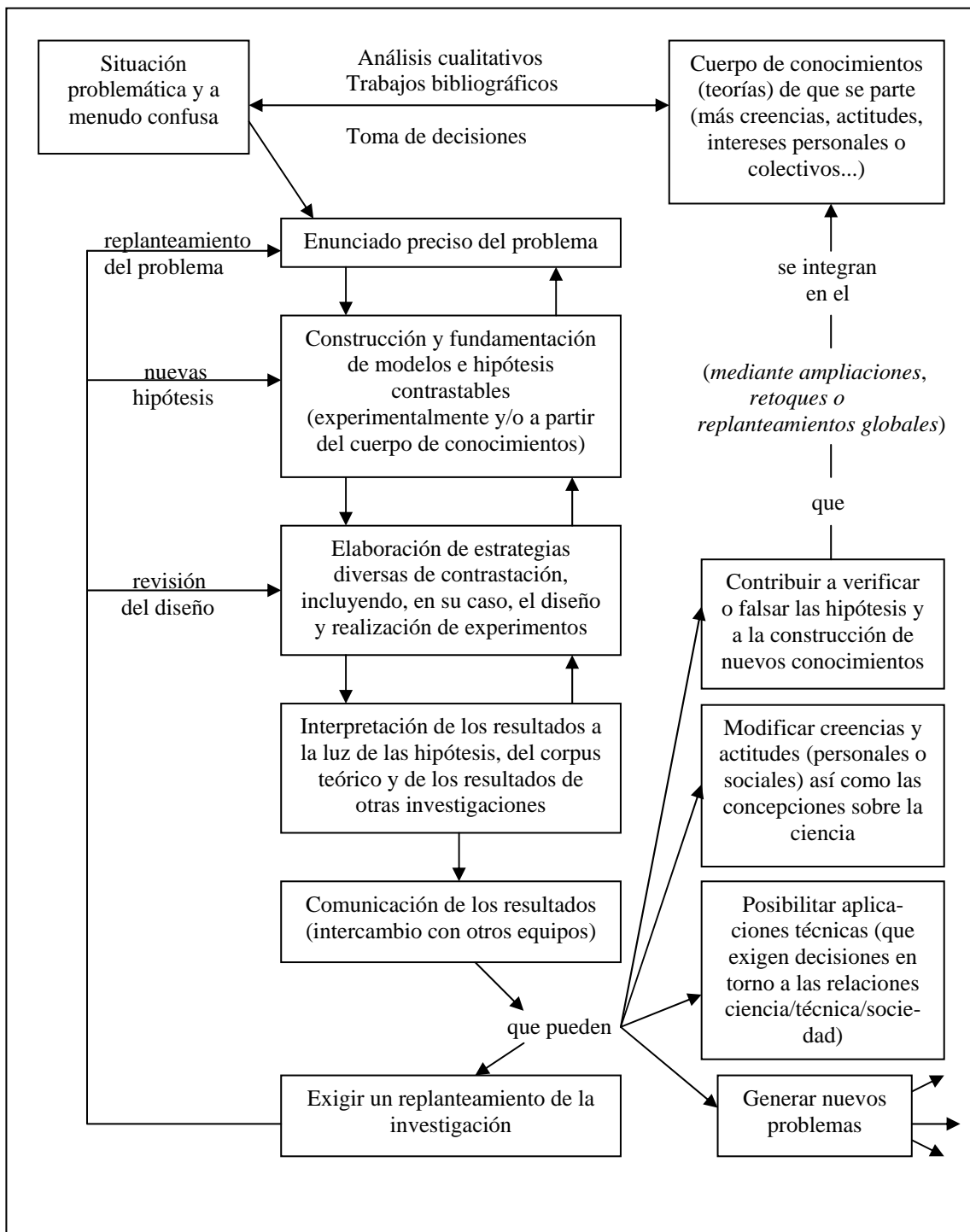
La verbalización de todo el proceso facilitará el análisis posterior de los resultados y el desarrollo de destrezas metacognitivas.

V. Análisis de los resultados.

Esta última etapa es esencial en el proceso. No se trata sólo de descubrir los errores, sino de verificar la validez del resultado con relación a las hipótesis emitidas y al cuerpo de conocimientos, es decir “la validez interna” del proceso. Además, igual que ocurre en una verdadera investigación, los resultados pueden ser también aquí origen de nuevos problemas.

Las etapas de la MRPI no se deben entender como un conjunto de fases consecutivas e inflexibles sino, más bien, como una secuencia orientadora del desarrollo de los procesos y con la posibilidad continua de replantearlas y revisarlas.

Una representación más compleja de este modelo ha sido elaborada en un trabajo de Furió y otros (1994), que recogemos a continuación.



Cuadro 2.13: Diagrama de un ciclo de investigación. Representación esquemática de un proceso colectivo extraordinariamente complejo. (Furió y otros, 1994, p. 91)

La validación empírica del modelo

Diversos estudios (Gil y Carrascosa, 1985; Gil y Martínez Torregrosa, 1984, 1986, 1987; Martínez Aznar y Varela, 1996; Martínez Aznar y otros, 2001; Varela y Martínez Aznar, 1997, 1998), y tesis doctorales en el ámbito de la enseñanza de la Física y la Química (Martínez Torregrosa, 1987; Ramirez, 1990; Reyes, 1991; Varela, 1994), avalan este modelo como un instrumento que a partir del cambio metodológico posibilita el conceptual y de actitudes. En conjunto, los resultados obtenidos se pueden resumir en los siguientes puntos:

- a) La capacidad de superar el operativismo en la resolución de problemas también es superior en los estudiantes de los grupos experimentales frente a los de los grupos control.
- b) Enfrentados a situaciones de examen, el grupo experimental obtiene resultados superiores estadísticamente significativos frente al grupo control.
- c) Los alumnos de grupos experimentales dedican más tiempo a la resolución de un problema antes de abandonarlo.
- d) Los alumnos de grupos experimentales realizan, en general, una valoración positiva del modelo trabajado en comparación con metodologías más tradicionales.

En resumen, los alumnos familiarizados en la resolución de problemas como una investigación, además de aprender esta metodología, resuelven mejor los problemas cerrados clásicos, sobre todo los de mayor dificultad, que los alumnos del grupo control. Estos datos se pueden interpretar si se considera que estos alumnos no caían en la manipulación inmediata de los datos, dedicaban más tiempo al análisis cualitativo, formulaban hipótesis, y dedicaban más tiempo a la resolución antes de abandonar la tarea.

Estos resultados, junto con la coherencia de este modelo con una visión actualizada de la ciencia, y una concepción constructivista del aprendizaje hacen que sea el elegido para trabajar en esta investigación los contenidos de Genética en un nivel de 4º de E.S.O.

Terminamos este apartado con el guión del modelo de MRPI que se elaboró para adecuarlo al trabajo de los alumnos en el campo de la Genética:

PARA RESOLVER LOS PROBLEMAS.....

REPRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

1. Análisis cualitativo del problema

Representación y comprensión de la situación

Restricción de condiciones

2. Emisión de hipótesis

Emisión de hipótesis acerca de los factores que pueden determinar la magnitud buscada

Estudio de casos límite de fácil interpretación

RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA

3. Elaboración de estrategias

Análisis del problema por partes o resolución de casos más simples

Establecimiento de analogías con situaciones tratadas anteriormente

Indicación del marco teórico de referencia

Determinación de los datos necesarios para la solución del problema

Estudio del problema usando tablas, gráficos, porcentajes, etc.

4. Resolución del problema

Hacer en primer lugar una resolución algebraica

Verbalización el proceso de resolución

Aplicación a un caso concreto con datos numéricos preferentemente sacados de un caso real

ANÁLISIS DEL PROBLEMA

5. Análisis de los resultados

Interpretación del resultado a la luz de las hipótesis y del marco teórico utilizado

Comprobación de los casos límites

Cuadro 2.14: Guión para la MRPI utilizado en esta investigación.

CAPÍTULO 3

APROXIMACIÓN AL ENFOQUE CIENCIA-TECNOLOGÍA-SOCIEDAD (C-T-S)

INTRODUCCIÓN

La enseñanza de las ciencias desde una perspectiva C-T-S es una orientación del currículo escolar recogida en las reformas del sistema educativo que han realizado, en las dos últimas décadas, diversos países. También, aparece como referente en distintas ponencias e informes elaborados por la UNESCO, y otros organismos internacionales, sobre el tipo de educación que deben recibir los ciudadanos para que puedan participar en la búsqueda de soluciones a los problemas y desafíos a los que se enfrenta nuestro planeta (Solbes y otros 2002).

Pero, ¿qué es, o qué pretende la enseñanza C-T-S? En la introducción de una reciente recopilación de trabajos, que muestran una panorámica general del movimiento C-T-S en la actualidad, podemos obtener la siguiente respuesta:

“La finalidad principal de la educación C-T-S (Ciencia-Tecnología-Sociedad) es promover la alfabetización científica en ciencia y tecnología, para que los ciudadanos puedan participar en el proceso democrático de toma de decisiones y así promover la acción ciudadana en la resolución de problemas relacionados con la ciencia y la tecnología en nuestra sociedad” (Membiela, ed., 2002, p.11)

Por lo tanto, el enfoque educativo C-T-S pretende saltar la barrera que existe entre los contenidos del currículo de ciencias y la ciencia de los expertos porque la desconexión entre lo que aprenden los alumnos y el mundo en que viven les impide tener una imagen real de la ciencia y comprender las implicaciones que los avances científicos y tecnológicos tienen y van a tener en su vida de adultos. Esta idea de la ciencia escolar desde una perspectiva de formación científica para la ciudadanía, y no para la obtención de futuros científicos, responde a las necesidades educativas de una etapa como la Secundaria Obligatoria.

Santos (2002), incide, al igual que numerosos educadores y filósofos, en el error pedagógico que supone la separación de la ciencia, de la sociedad y de la tecnología. Cada una de ellas *“tienen sus prácticas y discursos propios”*; pero, en realidad *“sus*

formas de conocer no son estancas y hay puentes muy estrechos que las unen". Esta autora considera los tres sistemas que se establecen en estas interrelaciones, (el tecnocientífico, el socio-científico, y el socio-tecnológico) para hacer más evidente la interdependencia de los mismos. En la siguiente tabla resumimos sus aportaciones:

SISTEMA TECNO-CIENTÍFICO	SISTEMA SOCIO-CIENTÍFICO	SISTEMA SOCIO-TECNOLÓGICO
<ul style="list-style-type: none"> * Los avances y el poder de una se transforman en avances y poder de la otra. * Conjugan la sanción de la verdad con la sanción de eficacia. * Son condición y consecuencia una de la otra. * Ambas recurren a los conocimientos y a los procesos técnicos existentes, para continuarlos o refutarlos. * Exigen equipos interdisciplinarios que incluyen científicos y tecnólogos. * La "ciencia estratégica" se ha ido aproximando a la tecnología en la medida en que ha ido privilegiando, cada vez más, el aspecto operativo. 	<ul style="list-style-type: none"> * Comprensión pública de la ciencia. * Implicaciones en acciones prácticas con tomas de decisiones * Situar el conocimiento científico en las prácticas de lo cotidiano. * Comprensión de la "ciencia como empresa social" * Aproximación cultural de la ciencia. * Comprensión de lo que acerca y lo que separa ciencia, pseudociencia y no ciencia. 	<p><i>La sociedad como motor de la técnica</i></p> <ul style="list-style-type: none"> * A nivel del imaginario social: solución a sueños humanos como volar. * A nivel de modelos económico-organizativos: objetos necesarios en el sistema económico o social. * A nivel de factores sociopolíticos y de ideologías sociales: cibernética como un sistema utópico de cambio social a través de la comunicación. <p><i>La técnica como motor de la sociedad</i></p> <ul style="list-style-type: none"> * A nivel de su impacto en los medios natural y cultural. * A nivel de los modos de sentir y ver el mundo: la tecnología modifica las necesidades y sueños de la sociedad.

Cuadro 3.1: Interdependencia de los sistemas implicados en las relaciones C-T-S (Elaborado a partir del trabajo de Santos, 2002)

Cada uno de estos binomios, Ciencia-Tecnología, Ciencia-Sociedad y Tecnología-Sociedad, llevan al trinomio Ciencia-Tecnología-Sociedad que fundamenta las tendencias actuales de la enseñanza de las ciencias; puesto que no hay que olvidar que las nuevas corrientes en el campo de la didáctica de las ciencias se están produciendo por los cambios en los comportamientos de la ciencia, la tecnología y la sociedad en el último siglo.

A lo largo de este capítulo se van a ir definiendo los objetivos de este movimiento educativo, los proyectos que se han desarrollado y las perspectivas futuras del mismo en la enseñanza de las ciencias.

3.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL MOVIMIENTO C-T-S

El desarrollo del enfoque educativo C-T-S no ha sido ordenado, ni planificado; e incluso, hace una década (Waks y Barchi, 1992) se apuntaba, como uno de sus objetivos el definir de forma concisa y definitiva qué es una educación C-T-S. Tarea que aún está pendiente (Membiela, 1997). La mejor forma de entender su desarrollo es empezar por revisar los orígenes del mismo. Para ello, nos tenemos que remontar al inicio de los años sesenta y la crisis que supuso en Estados Unidos el hecho de ser adelantados por otros países en el campo científico y tecnológico.

Uno de los hechos históricos de este siglo pasado, el lanzamiento del **Sputnik** por parte de los rusos en 1957, supuso un duro golpe para la supremacía militar y espacial que los norteamericanos pretendían, y se convirtió en el revulsivo de una reforma de la enseñanza de las ciencias y las matemáticas en EEUU. La educación se enfocó hacia la formación de científicos con el fin de restablecer la superioridad norteamericana en el espacio y en la alta tecnología militar. Los cambios en el sistema educativo se reflejaron en el currículo, la formación profesional y la mejora y facilidades en el uso de laboratorios (Bybee y otros, 1980). Esta visión se extendió a las propuestas curriculares de otros países occidentales. Pero, el optimismo americano que esperaba tener la mejor educación científica, se vino abajo al conocer los resultados de una serie de encuestas sobre conocimientos generales, realizadas a estudiantes de diversos países occidentales, en las que los norteamericanos ocuparon los últimos lugares (Bottoms y Korcheck, 1988). Los grandes esfuerzos por lograr especialistas con un buen nivel académico habían fracasado. Sólo el 20% del alumnado había conseguido una adecuada formación científica, provocando el desencanto del otro 80% (Fensham, 1985).

Las evaluaciones negativas de los currículos de ciencias de los años 60 y 70 sugirieron nuevas metas a alcanzar por la enseñanza de las ciencias y la creación de nuevas propuestas curriculares para los años 80. Los enfoques emergentes fueron *Ciencia-Tecnología-Sociedad* (C-T-S) y *Alfabetización Científica*. Estos dos enfoques tienen como meta buscar la formación de ciudadanos científicamente cultos con la

incorporación de la actualidad científica a los currículos. Los enfoques C-T-S, además de perseguir esta alfabetización de los alumnos, pretende formar en la responsabilidad social y en la toma de decisiones con base científica. El tema de la responsabilidad social ha sido acuñado, más recientemente, en la investigación sobre la didáctica de las ciencias por autores como Berman, (1990), Hlebowisth y Hudson (1991) o Ramsey (1993), apareciendo como un objetivo significativo en la enseñanza de esta área (Aguilar, 1999, 2002).

A partir de los años 80, diversos informes y trabajos, tanto en medios anglosajones (ASE, 1981, 1984; NSTA, 1982; Yager, 1984; Penick y Yager, 1986) como españoles (Caamaño, 1988; Marco, 1987, 1990; Vilches, 1994), estiman que la tendencia más incidente en los nuevos currículos de ciencias es la inclusión de las relaciones Ciencia, Tecnología y Sociedad. Ya en 1970, el comité para la enseñanza de las ciencias de la National Science Foundation, indicaba cuál debía ser el camino por el que debía orientarse la educación en ciencias. La idea era formar ciudadanos que debían vivir en una sociedad influenciada por la ciencia y la tecnología, y formar científicos que debían ser parte de la sociedad: *“To educate scientists to will be at home in society and to educate a society that will be at home with science”* (NSF; 1970, cit. Hurd, 1997, p.5).

Antes de la aparición de este movimiento, en las primeras décadas del siglo XX, algunos educadores anglosajones creían que había que cambiar el tipo de educación adaptándola a los problemas sociales del tiempo y, después de cada una de las guerras mundiales, se volvía sobre la importancia de educar en aspectos como higiene y salud. Tras la Segunda Guerra Mundial se desarrolla, en esta línea, un movimiento no educativo, *Science for the People*, que abogaba por la educación de los ciudadanos para que fuesen capaces de tomar decisiones políticas adecuadas. Este movimiento influyó en el futuro desarrollo del enfoque C-T-S (Solomon, 1988).

Volviendo a los inicios de este enfoque, vamos a seguir la trayectoria del mismo, las asociaciones de profesores involucradas, los autores más representativos y sus aportaciones.

El movimiento educativo C-T-S comienza en los años 70 en las Universidades americanas en forma de comités de facultades y estudiantes que procedían de humanidades, ciencias o ingeniería, y que discutían sobre las nuevas tecnologías y los cambios ambientales. Al mismo tiempo, muchos profesores, de forma independiente, empezaron a tratar temas enfocados hacia el medio ambiente y a hacer C-T-S antes de que se definiese como tal. Esto indica que la necesidad de una nueva orientación curricular ya estaba creada.

A finales de los 70 ya se empieza a hablar de un nuevo enfoque del currículo de ciencias, el de Ciencia-Sociedad, al que más tarde se le uniría el término Tecnología. De estos años datan las primeras publicaciones referentes al tema, que son ya muy abundantes a lo largo de las dos décadas siguientes. Las primeras investigaciones sobre la formación científica tradicional fueron realizadas por organizaciones como:

- NSF (National Science Foundation), 1976
- NSTA (National Science Teachers Association), 1978

Los resultados de este último informe fueron analizados por Harms y Kahl (1981), en el Proyecto Síntesis, y revelaron un panorama educativo donde el libro de texto era la herramienta principal de trabajo en el aula, donde los contenidos conceptuales eran el centro de la enseñanza y la finalidad de la misma era acceder a estudios superiores, donde la ciencia se transmitía como un conjunto de hechos y datos y la mayoría de las actividades prácticas eran ejercicios de verificación.

Las propuestas curriculares surgen en los años 80 a través de los informes elaborados por Asociaciones de Profesorado de Ciencias, principalmente británicas o americanas, como:

- ASE (Association for Science Education), (1979): *Alternatives for Science Education*.
- ASE (1981): *Education Through Science*.
- NSTA (National Science Teachers Association) (1982): *STS: Science Education for the 1980s*.
- NSTA (1982): *Search for the Excellence in Science*.

- National Council for the Social Studies (1983). *Position Statement and guidelines for Teaching Science-Related Social Issues*.
- NSF (National Science Foundation) (1984). *Science through Science, Technology and Society (S-STS)*.
- NSF (1987) colabora en la fundación de *la National Science, Technology and Society Network*.
- NASTS (National Association for Science, Technology and Society) se organiza en 1988.
- AAAS (American Association for the Advancement of Science), 1989, *Science for All Americans*.

Una de las primeras propuestas de un modelo de currículo escolar, donde la Ciencia y la Tecnología, con sus distintos roles, estén integradas en el mismo, es la que realizan Black y Harrison en 1985 con su libro “*In place of confusion. Technology and Science in the School Curriculum*”.

De gran influencia en la corriente británica relacionada con los enfoques C-T-S, es el trabajo de Ziman (1980), en su libro “*Teaching and Learning about Science and Society*”. En esta obra se pusieron los fundamentos de lo que debería ser la enseñanza C-T-S, y su línea ha sido continuada por Solomon que ha participado en el desarrollo de dos de los proyectos educativos C-T-S más amplios:

- S.I.S.C.O.N. (*Science in a Social Context*, ASE, 1982, para 17 años)
- S.A.T.I.S (*Science and Technology in Society*, ASE, 1984 para 14-16 años; 1990 para 16-19 años; 1995 para 8-14 años).

Vamos a referirnos de forma más amplia a estos dos proyectos por tener un enfoque más general y más próximo a nuestros intereses. No obstante, podemos mencionar otros proyectos C-T-S muy conocidos como *Chemistry The Salters’s Approach; The Salter’s Advanced Chemistry Project, PLON o Physics Curriculum Development Project y Science across Europe*

El objetivo principal del programa SISCON se recoge en su título: estudio de la ciencia en un contexto social. En la Guía del Profesor de este proyecto se dice expresamente: *“No hay aspecto de la vida en las sociedades occidentales que no esté condicionado o dependa de la ciencia y la tecnología y es evidente que la dirección señalada por la ciencia tal como se refleja en sus prioridades y toma de decisiones, está más determinada por la sociedad que por la inevitabilidad científica. Este curso se propone ampliar la visión de la enseñanza de las ciencias ayudando al alumnado a entender algunas de las interacciones críticas entre la sociedad y la ciencia”*. Los objetivos se concretan en:

- Fomentar las tomas de postura personales
- Reflejar la naturaleza y desarrollo de la ciencia y de la tecnología
- Tener en cuenta las preocupaciones e intereses del alumnado
- Emplear medios que despierten el interés por los temas científicos actuales

En el programa SATIS, los objetivos generales que se persiguen tienden más a la búsqueda de respuestas a preguntas como ¿qué es la Ciencia?, ¿qué es la Tecnología?, ¿cómo decide la Sociedad?:

- Mostrar el rostro humano de la ciencia y sacarla del laboratorio.
- Subrayar las interacciones positivas y negativas entre C-T-S.
- Considerar el impacto de la actividad tecnológica en el medio ambiente.
- Ayudar a la toma de decisiones, comprendiendo el compromiso que esto supone, y reconociendo que no existen respuestas exactas para los problemas científicos actuales.

De forma muy general éste ha sido el origen y la progresión del enfoque C-T-S en el ámbito anglosajón en el que se desarrolló. En cuanto a su **presencia en el currículo escolar español**, Caamaño (2002) realiza una revisión que recoge los análisis que varios autores han realizado sobre la introducción de las relaciones C-T-S y su evolución (Caamaño, 1994, 1995; Martín-Díaz y Bacas, 1996; Membiela, 1995, 1997; Pedrinaci, 2001; Solbes y Vilches, 1995; 2001; Vilches, 1993, 1994, 1999).

La implantación de la Reforma del sistema educativo (LOGSE, 1990) ha favorecido la introducción de la orientación C-T-S, tanto en el currículo de ciencias de

Secundaria, como a través del área de Tecnología y de los temas transversales. Al abrigo de la Reforma educativa se impulsaron proyectos de ciencias para la E.S.O. que tuvieran un carácter innovador. Algunos proyectos C-T-S extranjeros como el SATIS han sido, en parte, traducidos y experimentados (Obach, 1995); otros se están desarrollando como el proyecto *Ciencia a través de Europa* (Parejo, 1995); y algunos se adaptaron como el *proyecto APQUA* (Aprendizaje de los Productos Químicos, sus Usos y Aplicaciones) (Medir, 1995) o la *Química Salters* (Grupo Salters, 1999)

A continuación recogemos algunos de los proyectos elaborados por diferentes grupos de profesores españoles en los que se tiene en cuenta la perspectiva C-T-S :

- El *proyecto Axarquía* (Hierrezuelo y Yus, 1994)
- El *proyecto ACES* (Otero, 1994)
- El *proyecto Ciencia 12-16* (Martínez y Buiza, 1994)
- El *proyecto Ciències 12-16* (Izquierdo y otros, 1994)
- El *proyecto Ceres* (Prats y otros, 1994)
- El *proyecto Gaia* (Caamaño y otros, 1994)
- *Investigando/comprendiendo la naturaleza 12/16* (Martínez Torregrosa y otros, 1994).

A pesar de la importancia de este enfoque para la formación científica de los ciudadanos, la reciente revisión del currículo de secundaria (2002), realizada por las autoridades educativas, se aleja de esta visión al aumentar los contenidos teóricos en la E.S.O., no dar más valor a las enseñanzas científicas, y eliminar los contenidos sobre interacciones C-T-S en las asignaturas de ciencias del Bachillerato (RD 3474/2000). Por ello, a continuación, vamos a realizar una síntesis de los objetivos de la educación C-T-S para contrastarlos con los objetivos curriculares de la enseñanza de las ciencias en la actualidad.

3.2. LAS METAS DEL ENFOQUE C-T-S Y DE LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Hasta ahora se ha indagado sobre el origen del enfoque C-T-S, sus objetivos generales, y el gran interés que este enfoque ha despertado en distintas asociaciones de profesores anglosajonas, en diversos autores de prestigio (Ziman y Solomon británicos; Yager y McFadden americanos; Fensham, australiano), y en distintos grupos de trabajo españoles. Pero, **¿cuáles son las metas de la educación C-T-S?** Partimos de la premisa de que educar en C-T-S es alfabetizar científica y tecnológicamente a futuros ciudadanos de una sociedad democrática. Los ciudadanos deben tener el conocimiento sobre la ciencia y la tecnología que les permita tomar decisiones personales sobre problemas sociales relacionados con la ciencia. Sin embargo, no existe un consenso sobre unas metas u objetivos concretos. Por eso vamos a revisar las aportaciones que diversos autores realizan a la hora de delimitar los objetivos C-T-S.

Por un lado, Harms y Kahl (1981), en su análisis del Proyecto Síntesis (NSF, 1981), recogen las pretensiones que debería tener la educación científica:

- la ciencia como respuesta a necesidades personales.
- la ciencia para resolver problemas sociales.
- la ciencia que haga posible la elección de carreras científico-tecnológicas.
- la ciencia que prepare a los estudiantes para estudios posteriores.

Rosenthal (1989) propone dos grandes aproximaciones a la educación C-T-S, no excluyentes entre sí sino complementarias:

- Incorporar temas científicos de gran incidencia social (actualidad científica).
- Incorporar los aspectos sociales de la ciencia, la naturaleza del conocimiento científico, las relaciones de la ciencia con la política, la economía, la ética, etc. (la naturaleza de la ciencia).

McFadden (1991), no sólo hace un esfuerzo de síntesis de los objetivos de la educación C-T-S, sino que también indica algunos de los medios para conseguirlos, e

incluso combina aspectos relacionados con los dos acercamientos propuestos para este enfoque:

1. a) La tarea primera y central de la enseñanza de las ciencias es ayudar a los estudiantes a crear un sentido científico del mundo natural, adquirir conocimientos y conceptos.
b) Estos conocimientos se adquieren por adición y por modificación de los conocimientos que ya tienen.
c) La meta de la alfabetización científica incluye la adquisición de un cuerpo común de conceptos científicos, y no simplemente una selección fortuita de algunos de estos conceptos.
2. Una importante meta de la enseñanza de las ciencias es la visión de la naturaleza de la ciencia. Se debe buscar la integración de la ciencia con la historia, filosofía y sociología de la ciencia.
3. a) Los profesores de ciencias podrían contribuir al desarrollo de destrezas de investigación científica en los estudiantes.
b) Se puede conseguir requiriendo el empleo de esas destrezas en el aprendizaje de los conocimientos científicos.
c) El currículo debe permitir a los alumnos diseñar experimentos reales, no sólo experimentos que facilitan la asimilación de conocimientos.
4. Conocer la relación entre la Ciencia y la Tecnología (resolución de problemas tecnológicos).
5. Educación para la participación democrática (temas sociales).
6. El profesor puede ayudar al aprendizaje independiente, a la autonomía del estudiante.

Solomon (1993), explica los objetivos del movimiento de acuerdo con tres ejes apoyados en cuatro perspectivas.

Ejes u objetivos:

- Aumentar la alfabetización científica
- Ayudar a los estudiantes a llegar a una mejor toma de decisiones
- Aumentar el interés por las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad.

Perspectivas en las que se apoya:

- Visión positiva de la ciencia (la ciencia fuente de salud y bienestar)

- Alfabetización científica (la ciencia al alcance del gran público)
- Dimensión ética (responsabilidad ante el uso/abuso de la ciencia)
- Dimensión epistemológica (olvido del mito de la neutralidad de la ciencia)

Como hemos podido constatar la delimitación de los objetivos del enfoque educativo C-T-S es una de las cuestiones más revisadas y discutidas por los autores que trabajan en ello. A partir de la lectura de las aportaciones anteriores hemos elaborado los objetivos que para nosotros debe perseguir este enfoque:

Formar ciudadanos científica y tecnológicamente cultos:

- I. Tener un sentido científico del mundo natural, adquirir un cuerpo común de conocimientos científicos, y tener un conocimiento básico de los avances científicos y tecnológicos, de la naturaleza de los mismos y, de sus límites.
- II. Acercar la ciencia escolar a los intereses y a la vida diaria de los alumnos, considerando en el currículo temas sociales de gran relevancia social
- III. Desarrollar destrezas de investigación científica (identificación del problema, formulación de hipótesis, planificación y realización de actividades para contrastarlas, sistematización y análisis de los resultados y comunicación de los mismos) como la más idónea para facilitar el aprendizaje de los conocimientos científicos y entender la naturaleza de la ciencia.
- IV. Integrar el conocimiento científico con la historia, la filosofía y la sociología de la ciencia, permitiendo al alumnado entender la verdadera naturaleza del conocimiento científico.
- V. Conocer y valorar las interrelaciones entre Ciencia, Tecnología y Sociedad.

Formar ciudadanos socialmente responsables en temas científicos:

- I. Reconocer la importancia de la ciencia en la resolución de problemas sociales.
- II. Reconocer que la resolución de problemas sociales, debidos a la aplicación de los descubrimientos científicos, es responsabilidad de todos; y se deben tomar decisiones de forma solidaria.
- III. Desarrollar un espíritu crítico sobre los beneficios y perjuicios de los avances científicos y tecnológicos, y sobre las diversas controversias sociales, éticas, económicas etc. que plantean algunos avances científicos.
- IV. Desarrollar estrategias de resolución de problemas científicos de gran incidencia social a través de la cooperación y la participación democrática, favoreciendo habilidades de toma de decisiones.
- V. Desarrollar habilidades sociales como diálogo y cooperación, fomentando el sentido del trabajo en equipo: ver los problemas desde ángulos y sensibilidades diferentes, valorar la contribución de cada componente al conjunto y respetando criterios propios y ajenos.

Cuadro 3.2: Metas C-T-S para la enseñanza de las ciencias que van a guiar la propuesta educativa de esta investigación.

Consideramos que la introducción de un enfoque C-T-S permite desarrollar el currículo de las Ciencias de la Naturaleza de forma amplia e integradora dentro de un mismo objetivo común, obtener futuros ciudadanos científica y tecnológicamente cultos y socialmente responsables. A este respecto tomamos las siguientes palabras de Santos (2002) por corresponderse con nuestra idea de lo que una perspectiva C-T-S de la enseñanza de las ciencias debería ser y aportar:

“El desarrollo de una ciudadanía responsable, una ciudadanía individual y socialmente preparada para abordar problemas que tienen dimensiones científicas y tecnológicas, en un contexto que se extiende más allá del laboratorio y de las fronteras de las disciplinas, exige un currículo de ciencias que más allá de una validez científica tenga una validez cultural, un currículo que sobrepase la meta del aprendizaje de conceptos y de teorías relacionadas con los contenidos académicos; un currículo con el propósito de enseñar a cada ciudadano lo esencial para llegar a serlo de hecho, aprovechando las contribuciones de una educación científica y tecnológica. Así, más que aislar, debe intentar establecer interconexiones entre las ciencias naturales y los campos social, tecnológico, comportamental, cognitivo, ético y comunicativo y tener como objetivo la mayor parte de la población juvenil que necesita ser preparada para funcionar mejor en la sociedad y para afrontar mejor cuestiones que afectan a sus vidas” (Santos, 2002, p. 73)

3.3. APROXIMACIÓN CURRICULAR A LA EDUCACIÓN C-T-S

Dorothy Rosenthal (1989) en su artículo *Two approaches to Science-Technology-Society (S-T-S)*, concluye que el estudio de las interrelaciones C-T-S sigue girando en torno a dos claves concretas o aproximaciones, los '*temas sociales*' y los '*aspectos sociales de la ciencia*', como ya había sido apuntado en 1977 por Spiegel-Rosing.

Esta autora delimita estas dos aproximaciones de la siguiente forma:

1. La consideración en el currículo de **temas sociales** que permitan poner de manifiesto las relaciones C-T-S. Estos temas son muy variados y preocupan al gran público: contaminación y medio ambiente, superpoblación, ingeniería genética, poder nuclear, recursos y energías renovables, etc.
2. La consideración en el currículo de **los aspectos sociales de la ciencia**. Estos aspectos los concreta de la siguiente forma:
 - Filosóficos: epistemología y ética de la ciencia, impacto de los descubrimientos científicos en la sociedad, etc.
 - Sociológicos: influencia de la sociedad en el progreso científico y tecnológico, y viceversa; posibilidades y límites de la ciencia y de la tecnología en la resolución de problemas sociales, etc.
 - Históricos: historia de la ciencia y de la tecnología, cómo han afectado al curso de la historia, etc.
 - Políticos: relaciones entre la ciencia, la tecnología y el gobierno, política de defensa, etc.
 - Económicos: relaciones entre la economía y el desarrollo científico y técnico, industria, comercio, consumo, etc.
 - Humanísticos: aspectos culturales y creativos de la ciencia, efectos de la ciencia y de la tecnología en la literatura, el arte, etc.

Estas dos aproximaciones o vertientes que configuran la educación C-T-S las hemos recogido tanto en los objetivos referidos a alfabetización científica y tecnológica como en los de responsabilidad social (Cuadro 3.2).

Rosenthal apuesta por una combinación de ambos elementos, de modo que los resultados de la educación C-T-S sean metas basadas en los aspectos sociales de la ciencia, mientras que los temas sociales sean el vehículo para conseguir estas metas. Lo que se da más frecuentemente, según esta misma autora apunta, son enfoques mixtos, o sea, currículos contruidos en torno a temas de incidencia social pero que incluyen alguna referencia a la historia o filosofía de la ciencia. En el contexto español, tal y como recoge Caamaño (2002) en su última revisión, si exceptuamos los proyectos de carácter nítidamente C-T-S, la mayoría de proyectos curriculares y libros de texto de ciencias de la naturaleza mantienen una estructura basada en los conceptos e incorporan los contenidos C-T-S en forma de lecturas y actividades a lo largo de cada unidad.

La consideración de cada una de estas perspectivas supone en el profesorado el conocimiento de una serie de campos que no han sido objeto de su formación específica. Por ello, el profesorado sensibilizado con este enfoque incorpora la actualidad científica en sus clases; pero son pocos los que se atreven a incluir aspectos de historia o de filosofía de la ciencia.

A continuación vamos a tratar por separado los planteamientos didácticos que surgen en estas dos aproximaciones que hemos definido en la educación C-T-S:

- Los temas sociales y la alfabetización científica y tecnológica
- Los aspectos sociales de la ciencia y su naturaleza

3.3.1. LOS TEMAS SOCIALES Y LA ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Como ya se ha indicado al inicio de este capítulo, la alfabetización científica aparece como un enfoque de la enseñanza de las ciencias tras el fracaso de currículos anteriores. La alfabetización científica, como un objetivo social a alcanzar en la enseñanza de las ciencias, ya es propuesto por Hurd en 1958, y como constata De Boer (2000), en una reciente revisión de este enfoque, no ha dejado de estar presente como tarea prioritaria en la enseñanza de las ciencias a lo largo del siglo XX y en la actualidad.

Algunos de los documentos y proyectos más influyentes elaborados en torno al mismo han sido:

- *The Public Understanding of Science* (Royal Society, 1985)
- *Proyecto 2061 – Ciencia para todos los americanos* (AAAS, 1985)
- *Centro Internacional para el Avance de la Alfabetización científica* (ICASL, Academia de Ciencias de Chicago, 1996)
- *Beyond 2000- Science Education for the Future* (Nuffield Foundation, 1998)

La importancia de la alfabetización científica en la enseñanza actual se puede medir, también, por el gran número de publicaciones en revistas de reconocido valor en el campo de la didáctica y los libros publicados sobre el tema. Por poner un ejemplo, tenemos el libro de Reid y Hodson (1993) “*Ciencia para todos en Secundaria*” y, un monográfico de la revista *International Journal of Science Education*, en 1999 (volumen 21, nº 7), dedicado al conocimiento público de la ciencia y sus implicaciones para la educación.

La alfabetización científica y tecnológica es un objetivo amplio como recoge Marco en uno de sus últimos trabajos (2002). Para esta autora, es una cuestión que rebasa la escuela y que compromete a todas las fuerzas sociales porque implica:

- Poner los fundamentos en el ámbito escolar pero apuntar hacia una formación permanente y autónoma.
- Mirar atentamente al curso de la ciencia y superar el estancamiento al que a veces conduce la docencia dejándose ganar por las fronteras de los nuevos descubrimientos.
- Tener la capacidad de traducir el conocimiento en términos asequibles, digeribles y asimilables.
- No olvidar la pregunta por el campo específico, por el modo como éste se va configurando, por su trabazón interna.
- Manejar un lenguaje que pasa de ser algo estático a un elemento de lectura de una realidad en permanente cambio.
- Superar los procedimientos como receta y la estimación de la no-neutralidad científica.
- Considerar las habilidades creativas, imaginativas como propias de la ciencia.
- Destacar el componente humano y social de cualquier acción, pues el conocimiento refiere a contextos concretos y la lectura de la realidad está mediatizada por los marcos teóricos establecidos.

La misma autora (Marco, 1997, 2000) indica que un currículo dirigido a la alfabetización científica debe incorporar y promover cuatro dimensiones o claves fundamentales:

1. Claves básicas para conocer el **lenguaje científico** y para saber usarlo en la lectura interpretativa de la realidad.
2. Claves para **descodificar los procesos de construcción del conocimiento científico**, es decir, para conocer los modos de pensar y de actuar que son característicos de dichos procesos.
3. Claves para **actuar en forma crítica**, teniendo en cuenta las dimensiones sociales, económicas, tecnológicas, humanas y éticas de los problemas abordados.
4. Claves para **desmitificar las ciencias** analizando su naturaleza, su utilidad y sus limitaciones.

Un objetivo tan amplio debe tener fijados niveles o cotas. Aunque los autores que trabajan sobre estos temas no han llegado a acuerdos definitivos, en un editorial del *Journal of Chemical Education*, (1995, 72 (3), p. 191) se habla de tres **niveles de alfabetización**. Según como los delimita Marco (2000), estos niveles deseables de alfabetización son:

1. *Alfabetización básica, escolar o funcional*, vinculada al currículo de ciencias en la etapa de E.S.O. Este nivel de alfabetización busca que el individuo ponga de forma inmediata sus conocimientos en acción para mejorar los niveles de vida.
2. *Alfabetización cívica o ciudadana*, que pide un cierto nivel de intervención en ámbitos de sociedad sobre las repercusiones de los temas científicos. Este nivel de alfabetización aspira a despertar la conciencia de los individuos como ciudadanos acerca de los temas relacionados con la ciencia y la tecnología, y les impulsa a ejercer sus derechos democráticos actuando sobre ellos.
3. *Alfabetización científica cultural*, que aprecia las interacciones variadas de la ciencia con otros campos, sus repercusiones humanas, sus modos propios de hacer y el papel de la comunidad científica en la validación de los descubrimientos. Este nivel de alfabetización pretende que los individuos tengan una comprensión de la ciencia como actividad humana en un sentido amplio.

A continuación vamos a recoger algunas aportaciones que diversos autores han realizado en torno a estos tres niveles de alfabetización.

A. ALFABETIZACIÓN BÁSICA, ESCOLAR O FUNCIONAL

La formación de ciudadanos científicamente cultos requiere la aproximación de los contenidos que llegan por los medios de comunicación, que exponen de forma sesgada la ciencia y los descubrimientos científicos más llamativos por sus implicaciones sociales, y los que lo hacen desde la enseñanza formal, a veces muy alejados de los intereses de los estudiantes y de la ciencia actual de los expertos.

Berta Marco, a lo largo de numerosas publicaciones y el trabajo directo con profesores desde el IEPS (Instituto de Estudios Pedagógicos Somosaguas), ha ido desgranando la forma de abordar la actualidad científica en el aula bajo un prisma de alfabetización científica (Marco y otros 1990; Marco, Ibáñez y Albero, 2000). Traer la actualidad científica al aula, es decir cuando se trabaja sobre la ciencia en progreso o la que se está haciendo “*Science in the making*”, implica que el profesorado debe realizar un proceso complejo de decantación de la información y reelaboración de la misma. Las propuestas que esta autora realiza podrían concretarse en dos pasos:

Un primer paso sería el paso **de la actualidad a la divulgación**, o como lo ha denominado esta autora, *la transposición didáctica externa*. Supone:

1. Proceso de decantación de la información (fuentes originales de la actualidad científica como las revistas *Nature*, *Science*)
2. Proceso de seguimiento de la información en fuentes de carácter secundario. (*New Scientist*, *Science et Vie* y otras revistas de divulgación)
3. Recogida y estudio de la información en fuentes de carácter terciario: las que van al público en general. (prensa, Internet, radio y televisión)
4. Recoger lo que va quedando de la noticia al cabo del tiempo y qué dimensiones nuevas, no contempladas en los anuncios iniciales, van apareciendo como fruto de una reflexión más madura sobre los hechos.

El segundo paso sería el **de la divulgación a la alfabetización**, o como lo ha denominado esta autora, *la transposición didáctica interna*:

1. Aplicación de los criterios de relevancia (relevancia del tema en sí, relevancia para los estudiantes, relevancia sociocultural)

2. Decantación de las vertientes del tema a tratar (seleccionar los aspectos del tema que el alumno necesita para tener un conocimiento útil sobre el mismo)
3. Elaboración de los materiales didácticos, es decir, aquellos sobre los que van a trabajar directamente los alumnos.

Respecto a este último punto de elaboración de materiales curriculares, no existe ninguna estrategia de enseñanza-aprendizaje que sea exclusiva del enfoque C-T-S y de la alfabetización científica; más bien se podría decir que este enfoque propicia y necesita que la gama de estrategias y formas de trabajo dentro del aula sea lo más amplia posible.

A lo largo de estos dos pasos para llevar la actualidad científica al aula se ha seguido el proceso de transposición didáctica del conocimiento científico al conocimiento escolar. El término transposición didáctica, introducido por Chevallard (1985), ha sido explicitado de la siguiente forma por Albero (1999) y Marco, Ibáñez y Albero (2000): “*La transposición didáctica tienen que ver con las modificaciones de distintos orden que subyacen al paso de los saberes de la cultura a los saberes de la escuela*”, o “*de lo que potencialmente puede ser enseñado a los que realmente pueda ser aprendido*” (Marco y otros, 2000, p.9)

B. ALFABETIZACIÓN CÍVICA O CIUDADANA

Los enfoques C-T-S, o los de Alfabetización Científica, presentan una dimensión de educación social y general que les permite establecer conexiones con propuestas y corrientes como **Educación para la Ciudadanía**. Quizá el nexo de unión más claro, entre estos enfoques, sea el hecho de que el conocimiento científico es una construcción social, ya que las ciencias son construcciones humanas, realizadas por los humanos, y para los humanos.

La educación para la ciudadanía se entiende como la *capacidad de percibir, interpretar y actuar en la sociedad*; y, tal y como la definen diversos autores como Fourez y Aguilar, podríamos decir que: *Educación para la ciudadanía es uno de los fundamentos de la misión global de la escuela democrática y, exige la puesta en marcha de competencias que permitan defender y promover los valores democráticos y*

los derechos de la persona en el seno de la institución escolar y en la sociedad en general, prepararse para participar activamente en el funcionamiento de las instituciones democráticas y hacer prevalecer la solidaridad social.

Para relacionar la alfabetización científica con la educación para la ciudadanía es necesario la integración de saberes. Las disciplinas científicas deben impregnarse de la vida cotidiana y no ser solamente un conjunto de conocimientos sin otra finalidad que configurar la propia disciplina. Sin embargo, el conocimiento escolar se aleja mucho del conocimiento cotidiano que necesitan los estudiantes para entender el mundo en el que viven.

Lo primero que se deben definir son los saberes ciudadanos. Cuando se habla de ciudadanía, ¿a qué nos estamos refiriendo? El contexto en el que se trabaja es el de ciudad y de sociedad democrática, y el ejercicio de la ciudadanía se puede medir por los siguientes indicadores (Aguilar, 1999):

- Utilizar las vías de participación existentes y contribuir a crear las que falten.
- Capacidad de pasar de receptores pasivos a perceptores de datos.
- Capacidad de articularse con otros para intervenir en los asuntos públicos, dialogando, llegando a acuerdos, tomando decisiones colectivas.
- Capacidad de reclamar de manera individual y colectiva los derechos cívicos de todos.
- Utilizar la información desde el convencimiento de que la información es nuestra.
- Capacidad de elaborar opinión a partir de la información.
- Buscar a cada problema su ámbito de solución apropiado.
- Asumir las consecuencias y las responsabilidades políticas que nos atañen.

Lo segundo, es definir las características que la enseñanza de las ciencias debería incluir para el ejercicio de la ciudadanía (Aguilar, 1999):

- Transmitir una visión socioconstructivista de las ciencias; es decir, presentar la ciencia como una construcción humana que tiene que entrar en contacto con otras construcciones sociales y culturales.

- Ser conscientes de la ideología y valores que se transmiten a través de los cursos de ciencias.
- Favorecer un aprendizaje de los códigos científicos que permita a los estudiantes la utilización de los mismos en la expresión, comprensión, interpretación y acción sobre el entorno personal y social.
- Enseñar a utilizar fuentes de información científica.
- Enseñar a elaborar modelos adecuados ante cuestiones concretas y proyectos.
- Favorecer habilidades y actitudes para el ejercicio de la ciudadanía entendida como el derecho y el deber de participar de forma activa y conscientemente en los asuntos públicos.

Actualmente, la educación para la ciudadanía se entiende en términos de desarrollo de competencias (Audiger, 1999, Roegiers, 2000, Aguilar, 2002) que, en el caso de la enseñanza de las ciencias, se podrían concretar en:

- Competencias informativas, argumentativas y comunicativas
- Competencias de resolución de problemas
- Competencia crítica

Una propuesta metodológica de trabajo dentro de este enfoque es el uso como estrategia didáctica de la construcción de “**islotos de racionalidad**” (Fourez, 1997; Aguilar, 1999, 2002). Fourez define estos islotes de racionalidad como conjuntos de contenidos que pueden aislarse proyectando una significatividad concreta.

La idea de islote surge porque, cuando conocemos algo, lo hacemos desde y en un contexto determinado y para una finalidad precisa. Por ejemplo, ¿cuál es el conocimiento sobre un mando a distancia de un telespectador, de un ingeniero que trabaja en la fábrica de producción de estos mandos, de un reparador de pequeños electrodomésticos? De la misma forma debemos plantearnos cuál debe ser el conocimiento apropiado que sobre un determinado tema debe manejar un estudiante como futuro ciudadano. Podemos imaginarnos todo el conocimiento sobre un determinado aspecto recogido en diversas “cajas negras” y, puesto que no es posible ni necesario saber todo, debemos decidir qué cajas negras abrir.

C. ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA CULTURAL

El tercer nivel de alfabetización es el cultural. Actualmente se está desarrollando una nueva dimensión o concepción de la idea de alfabetización científica hacia una *cultura científica para todos* (Solomon, 1999), que estaría caracterizada por los siguientes elementos:

- Planificar la enseñanza de modo que aporte elementos de historia de la ciencia con el fin de ilustrar acerca del carácter tentativo y humanista de las teorías.
- Hacer posible la discusión de temas que tengan que ver con la democracia o los riesgos personales y que sean en sí controvertidos.
- Destacar en primer término el contexto humano en la enseñanza de las ciencias.
- Poner de manifiesto las consideraciones sociales y éticas junto a las explicaciones racionales de las ciencias.
- Procurar que los alumnos se familiaricen con la ciencia y los conceptos científicos, más que poner el énfasis en la definición correcta de los mismos.

Los logros que se esperan de esa cultura científica los expone esta autora de la siguiente forma:

“Lo que necesitamos en cuanto a cultura científica para la mayoría de los estudiantes que no van a llegar a ser investigadores científicos es un conocimiento amplio, que no tiene por qué ser profundo, sobre la ciencia y un entusiasmo por la misma que alimentará su confianza en el uso fácil y vivo de su lenguaje. Éste es precisamente el tipo de comprensión que la investigación ha ido demostrando como esencial para que los jóvenes tomen parte en la discusión sobre temas sociales sobre la ciencia y la tecnología si el lenguaje les es familiar“ (Solomon, 1988, p.8)

3.3.2. LOS ASPECTOS SOCIALES DE LA CIENCIA Y SU NATURALEZA

La visión que, sobre la naturaleza de la ciencia y la forma de hacer ciencia, tiene la comunidad científica ha sufrido una gran evolución en los últimos cincuenta años, a la par que surgían nuevas corrientes filosóficas en torno a las distintas concepciones sobre el método científico, la forma en que se crea el conocimiento científico, cuál es su estatus y sus criterios de demarcación, cómo se produce el crecimiento de la ciencia, y cuál es la finalidad de la misma.

Un pequeño resumen de la evolución de estas concepciones filosóficas sería el que realiza Duschl (1994). Este autor analiza las diferentes posiciones y escuelas filosóficas sobre la naturaleza de la ciencia y diferencia tres momentos:

1. Los puntos de vista tradicionales
2. La nueva filosofía de la ciencia
3. El giro cognitivo de la nueva filosofía de la ciencia

1. Los *puntos de vista tradicionales*, se asocian a la génesis del conocimiento científico, a la observación/experimentación y/o a la racionalidad del pensamiento humano. Son posiciones empíricas y lógicas que se fundamentan en:

- La separación entre observación y teoría
- El papel de la lógica en la justificación de las observaciones

Autores representativos son: Bacon, considerado el padre de los empíricos y que defendía que la ciencia avanza gracias a la capacidad del hombre para observar a través de los sentidos y a la posibilidad de hacer observaciones; Descartes, que en su ‘Discurso del Método’, defiende la capacidad humana de pensar como el verdadero motor del progreso en el conocimiento científico; Galileo, que supedita el desarrollo científico a la realización de experimentos que permitan observar regularidades que se correspondan con leyes científicas; y, por último, el Círculo de Viena a principios de siglo XX que defienden una visión positivista de la ciencia.

2. *La Nueva Filosofía de la Ciencia*. Surge en los años 50 al ponerse en duda:

- La relación entre la experimentación y la génesis de nuevos conocimientos científicos
- La racionalidad de la ciencia

Al estudiar cómo se genera el conocimiento científico se entra en confrontación con la idea de ciencia objetiva, racional y rigurosa. La idea de esta corriente es: “*el conocimiento está condicionado por las perspectivas teóricas de los que investigan o de la comunidad de investigadores*”. En estas corrientes filosóficas tienen importancia los estudios sobre la sociología de la ciencia. Distintas aproximaciones a esta nueva filosofía de la ciencia son: epistemólogos racionalistas como Popper, Lakatos, Laudan, Toulmin; relativistas y contextualistas sociales como Kuhn; y relativistas extremos como Feyerabend

3. *El Giro Cognitivo en la Nueva Filosofía de la Ciencia*, se ha desarrollado en los últimos años a partir del intento de preservar y comprender la racionalidad de la ciencia. Una teoría cognitiva de la ciencia es la que intenta explicar cómo los científicos utilizan su capacidad cognitiva (percepción, control motor, memoria, imaginación, y lenguaje) para construir la ciencia moderna. Los procesos cognitivos se relacionan con la evolución de las teorías científicas. El desarrollo de la ciencia se basa en factores o aspectos cognitivos-racionales y socio-culturales.

A pesar de la evolución en la visión que, sobre la naturaleza de la ciencia, han ido manteniendo las distintas escuelas filosóficas, las investigaciones realizadas sobre las concepciones de los estudiantes al respecto, demuestran que la ciencia escolar transmite de forma implícita una visión inductivista y muy estereotipada de la misma, una imagen muy alejada desde el planteamiento académico y la visión epistemológica actual.

Ziman (1980) concretaba todas estas preocupaciones sobre el currículo de ciencias y la controversia de qué ciencia enseñar y cómo, de la siguiente forma:

“Muchos alumnos estarían mejor formados para sus vidas de lo que actualmente lo están si se les enseñara un poco menos de ciencia como tal y un poco más sobre la ciencia” (cit. Gutiérrez y otros, 1990, p.36).

Ese saber más sobre la ciencia implica el conocimiento de cómo se elabora, qué son las teorías y cómo los científicos construyen su conocimiento, qué relaciones tiene la ciencia con la tecnología y la sociedad, quién decide sobre sus riesgos, etc.

La concepción aristotélica de la ciencia como el camino de conocer la verdad acerca del mundo ha caído tras la revisión historicista de las teorías científicas y las sucesivas caídas de los paradigmas científicos. Antes de plantearse trabajar en el aula los aspectos sociales de la ciencia y su propia naturaleza se debe tener un conocimiento de la misma que se corresponda con la visión actual de epistemólogos y filósofos.

John Ziman (1984) desarrolla una amplia definición de lo que es la ciencia desde los distintos aspectos o facetas que presenta esta actividad humana. Por lo tanto, la ciencia es:

- *una forma de resolver problemas*, si se enfatiza el aspecto instrumental de la misma en relación con la tecnología, la economía y la política,
- *un conocimiento organizado*, si nos referimos a su faceta compiladora. Esta acumulación de conocimientos puede verse influenciada por los avances tecnológicos y es un proceso histórico objeto de estudio,
- *una forma de hacer*, desde un aspecto metodológico y filosófico,
- *cualquier descubrimiento realizado por personas con un especial talento para la investigación*, desde un punto de vista vocacional.

La ciencia es todo eso y mucho más, es “*una institución social, un recurso cultural, un tema educacional, un factor importante en las relaciones humanas y también un instrumento de poder*”.

En su definición de ciencia, Ziman, recorre aspectos sociológicos, psicológicos, históricos, filosóficos y epistemológicos:

- *una dimensión filosófica* porque el conocimiento científico surge dentro de una determinada noción o idea de cómo es la naturaleza.

- una *dimensión epistemológica* porque la ciencia elabora sus conocimientos siguiendo una metodología basada en el pensamiento racional, en la validación de las hipótesis diseñando experimentos que corroboren o no las predicciones de las mismas.
- una *dimensión histórica* porque los descubrimientos científicos se publican y compilan. Es posible hacer un recorrido por la ‘historia interna’ de la ciencia: los conocimientos científicos de cada época, cómo han ido evolucionando las creencias sobre determinados fenómenos, los descubrimientos y sus protagonistas. Pero, la ciencia también tiene su ‘historia externa’. La dimensión histórica de la ciencia no sólo se refleja en el hecho de que los conocimientos científicos tengan su pequeña historia particular, sino también en el hecho de que la ciencia y la historia de la humanidad están interrelacionadas. Los descubrimientos científicos han influido en el desarrollo de las sociedades humanas y, a su vez, diversos aspectos sociales, políticos, económicos y religiosos lo han hecho sobre el desarrollo científico en determinados momentos históricos.
- una *dimensión sociológica* porque las aplicaciones de los descubrimientos en nuevas tecnologías que faciliten la vida tienen grandes repercusiones en decisiones económicas y políticas. La ciencia, en la actualidad, no es una actividad aislada de la sociedad y de los órganos institucionales que la gobiernan. La mayor parte de la investigación se realiza dentro de instituciones públicas (universidades, centros de investigación, etc.) y está financiada con partidas de dinero público. Los científicos, además, forman parte de una comunidad científica con normas y reglas particulares. Normas que hacen referencia al tipo de investigación considerada correcta, el tipo de comunicación que debe realizarse entre científicos que trabajan en el mismo campo, la forma de publicar unos descubrimientos, la citación de otros científicos y sus descubrimientos, etc.
- una *dimensión psicológica* porque quien investiga es una persona con unos determinados intereses, capacidades, recursos, etc. No hay que olvidar la importancia de la innovación, la curiosidad, la creatividad o la accidentalidad (*serendipity*) en los descubrimientos científicos, o bien la ofuscación, la estrechez de miras o los prejuicios a la hora de sacar conclusiones sobre algún hecho o nuevo dato.

Sin embargo la imagen que los estudiantes tienen de la ciencia es la que se recoge en el siguiente cuadro:

ÁMBITO	CATÁLOGO DE IDEAS	AUTORES
Ideas sobre cómo se trabaja en ciencia	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo de laboratorio, con productos químicos humeantes y, supuestamente, explosivos. • Trabajo individual, científicos trabajando en solitario. • Los descubrimientos se realizan de forma brusca y azarosa. • El método científico empieza con la observación que permite llegar a explicaciones, visión empirista de la ciencia. • La finalidad de la ciencia es conocer el mundo e inventar cosas. • Los experimentos son impredecibles. (los alumnos de más edad tienen otra visión, los científicos sí saben lo que esperan de los experimentos) 	<ul style="list-style-type: none"> Reiss, 1993 Solomon, 1994b Vázquez y Manassero, 1998 Durant y otros, 1989 Duveen y otros, 1993 Duveen y otros, 1993 Solomon y otros, 1996
Ideas sobre lo que es una teoría	<ul style="list-style-type: none"> • Las teorías son el resultado correcto de los experimentos y, por lo tanto, no hay diferencia entre las teorías y las evidencias o hechos reales. • Las teorías son predicciones o suposiciones y, por lo tanto, no diferencian teoría de hipótesis. 	<ul style="list-style-type: none"> Solomon y otros, 1996 Duveen y otros, 1993
Ideas sobre los científicos	<ul style="list-style-type: none"> • Varón, raza blanca, calvo, con gafas gordas, vestido a la europea, con bata blanca llena de remiendos, realizando experimentos químicos y trabajando sólo en sitios cerrados. • Personas honestas, objetivas, inteligentes, sin prejuicios (incluso también fuera de su trabajo como científicos). La principal motivación del científico es resolver problemas, satisfacer su curiosidad y hacer del mundo un lugar mejor en el que vivir. • La imagen de la mujer en la ciencia como científica no es relevante, y siempre en un papel secundario o pasivo. • Los científicos son expertos con capacidad de decisión sobre los problemas sociales 	<ul style="list-style-type: none"> Serrano, 1987a Reiss, 1993 Solomon, 1994b Vázquez y Manassero, 1998 Serrano, 1987a Ryan, 1987 Fleming, 1987 Aikanhead, 1987 Solbes y Vilches, 1992 Matthews, 1994 Ryan, 1987 Fleming, 1987
Ideas sobre las relaciones C-T-S	<ul style="list-style-type: none"> • La tecnología se asocia a un proceso de diseño, a los inventos, las cosas modernas y positivas, a la electricidad y el poder. • No diferencian los papeles de la ciencia y la tecnología. • La responsabilidad de los efectos perjudiciales de algunos avances científicos, se debe al mal uso que de ellos hacen las personas. • Se debe invertir en investigaciones que sean útiles. 	<ul style="list-style-type: none"> Raat y De Vries, 1987 Rennie y Jarvis, 1995 Solbes y Vilches, 1992 Fleming, 1987 Borreguero y Rivas, 1995

Cuadro 3.3: Catálogo de ideas o concepciones de los estudiantes sobre la Naturaleza de la Ciencia.

Los datos que se recogen en este cuadro surgen de una revisión bibliográfica de las investigaciones, aparecidas en revistas anglosajonas y españolas en los últimos años, que indagan en las concepciones de los estudiantes sobre la naturaleza de la ciencia. Sus resultados muestran que la ciencia escolar transmite de forma implícita una visión inductivista y muy estereotipada; una imagen muy alejada de lo que es el trabajo científico. Los datos aportados por estas investigaciones son muy similares, con independencia del lugar de realización de las mismas, el tipo de metodología (cuestionario cerrado o abierto, dibujos, entrevistas), y la edad de los individuos. Las ideas de los estudiantes, sobre la forma en que se desarrolla el trabajo científico, se han agrupado en torno a un conjunto de categorías o ámbitos que recogen diversos aspectos de la naturaleza de la ciencia. Aspectos que serán claves a la hora de diseñar las pruebas de detección de ideas y actitudes de los estudiantes que se estudiarán a lo largo de todo el trabajo de investigación.

Lederman (1992), tras una revisión de estudios sobre el tema, hace el siguiente inventario de las actitudes inadecuadas e ingenuas relacionadas con C-T-S que presentan los estudiantes, y también los profesores, coincidente con el catálogo de ideas que aparecen en la tabla anterior:

- El mito de la verdad absoluta.
- La fábula de las leyes como teorías maduras.
- Realismo ingenuo: el conocimiento científico refleja la naturaleza tal y como es.
- Las funciones de los modelos y clasificaciones en ciencia.
- El papel de la teoría y la evidencia empírica.
- La conexión entre la experimentación y la verificación o falsación de las hipótesis.
- El papel de la creatividad en la investigación científica.
- La tecnología como ciencia aplicada y las relaciones entre ciencia y tecnología, y entre las diferentes ramas de la ciencia.
- La imagen de los científicos como personas totalmente desinteresadas y objetivas, incluso excesivamente aisladas socialmente.
- La negación de la influencia sobre la ciencia de los factores sociales (internos y externos), frente al constructivismo social.

Una respuesta, y por lo tanto una propuesta de actuación, a esta visión que sobre la ciencia tienen los estudiantes, ya aparecía recogida en un informe sobre las alternativas de la educación científica realizado en 1979 por la Asociación Británica para la Enseñanza de las Ciencias:

“Quizás el factor que más ha contribuido a la imagen de la Ciencia adquirida por los alumnos sea la falta de oportunidad para indagar en la historia y la filosofía de la Ciencia o para estudiar la Ciencia en su contexto social, económico y político. Lo que ellos aprecian es una asignatura dominada por hechos y principios establecidos que no tiene que ver con su experiencia de la vida diaria” (ASE, 1979, “*Alternatives for Science Education*”, cit. Marco, 1987, p.20)

La enseñanza de las ciencias que se realiza en el aula no contempla la inclusión de estos aspectos. Solbes y Vilches (1989) han analizado la imagen de la ciencia que se recoge en los libros de texto de Ciencias de la Naturaleza y de Física y Química que utilizan los estudiantes desde los 12 a los 18 años. Los resultados que obtienen es que la imagen de la ciencia que se transmite es predominantemente cuantitativa y no permite:

- Sacar a la luz las ideas de los alumnos sobre la ciencia y los científicos; y, por lo tanto, favorecer su modificación.
- Presentar una serie de características que pongan de manifiesto sus profundas relaciones con la técnica y la sociedad.
- Presentar el carácter de fuerza productiva/destructiva que posee la ciencia, capaz, por un lado, de revolucionar los métodos de producción y cambiar las relaciones sociales y, por otro, facilitar la destrucción de la vida en el planeta.
- Abordar el papel de la ciencia/técnica en la modificación del medio y los problemas asociados que genera.
- Mostrar el papel que ha jugado la ciencia a lo largo de su historia en la cultura de la humanidad; y cómo la evolución de la ciencia no es un proceso acumulativo de datos sino que es un trabajo colectivo marcado por controversias que pueden implicar el cambio de las teorías científicas.
- Contribuir a la formación de los alumnos como futuros ciudadanos que puedan tomar decisiones en los problemas de interacción ciencia/sociedad.

Diversos autores, como ya se ha ido recogiendo en este apartado, piden que no se les sustraiga a los estudiantes el conocimiento sobre la historia y la epistemología:

“¿Por qué se les habla sólo del cuerpo de conocimientos y nunca de su construcción, si ambas cosas son ciencias? Haciéndolo así, creo que se niega al alumnado una información mucho más importante: que así como tienen un pasado las ciencias tienen un futuro. Y esta segunda información debería incidir en sus actitudes hacia las ciencias y en su propia construcción vivencial de la finalidad de aprender ciencias, porque ellos mismos van a ser artífices del futuro” (Izquierdo, 1994, p.38)

La inclusión de estos aspectos enriquece el propio contenido científico y hace más interesante y motivador el estudio de las ciencias (Penich y Yager, 1986, Mathews 1991). La imagen distorsionada que se da de la ciencia no sólo contribuye al desinterés del alumnado hacia su estudio, sino que genera rechazo hacia el estudio de un conocimiento abstracto que se necesita en estudios de ciencias, ajeno a su mundo y, por lo tanto, sin utilidad para su vida diaria (Vilches, 1994). No es de extrañar, por lo tanto, que algunos autores propongan la inclusión en la enseñanza de las ciencias de las relaciones C-T-S como un instrumento de cambio de actitudes (Solbes y Vilches, 1989).

A los logros, en relación con la mejora de las actitudes y el aprendizaje de los estudiantes, cuando se incluye la historia y epistemología de la ciencia en la enseñanza de la misma, algunos autores (Gagliardi, 1988) añaden el de ser una herramienta para la determinación de los obstáculos epistemológicos. Esta afirmación se basa en que, sin postular un paralelismo entre la historia de las ciencias y la construcción del conocimiento por parte de alumnado, los obstáculos que los científicos tuvieron que solventar en el desarrollo de las teorías científicas actuales pueden iluminar las dificultades que los estudiantes encuentran en el aprendizaje de las ciencias.

Tras este estudio se hace más evidente, si cabe, la necesidad de incorporar los aspectos epistemológicos como uno de los contenidos imprescindibles en una enseñanza de las ciencias que contemple los objetivos C-T-S. Introducir aspectos históricos, sociológicos, filosóficos y epistemológicos requiere por parte del profesorado un tipo de formación que, en principio, no posee y que le supone un reto mucho más difícil que el de divulgar la actualidad científica; ya que no se trata de introducir estos contenidos de

forma teórica. Si el alumno sólo recibe esta información sobre la naturaleza de la ciencia, su imagen de la misma y de los científicos va a mantener los estereotipos que se recogían en el Cuadro 3.3. Se hace necesario que este aprendizaje se realice desde los procesos propios de la actividad científica la mejor forma de desarrollar los contenidos de y sobre la ciencia es recreando el trabajo de los científicos en el aula.

La propuesta que se hace en este trabajo es la introducir la naturaleza de la ciencia, junto con los contenidos científicos pertinentes, a través de una metodología de aula donde los estudiantes se enfrenten a problemas abiertos que deban resolver aplicando una metodología de resolución de problemas como investigación (MRPI). El trabajo con esta metodología, para la introducción de las interacciones C-T-S, ya ha sido recogido por Vilches (1994). Esta autora habla de *“un nuevo modelo de enseñanza de las ciencias que responde a las características de una investigación dirigida (Gil y otros, 1991) para resolver problemas de interés en el que se organiza el aprendizaje de los alumnos coherentemente con la orientación constructivista.”* (Vilches, 1994, p.34)

El tipo de trabajo propio de la MRPI permite que los estudiantes puedan construir sus conocimientos a partir de sus ideas previas y reconstruirlos según van avanzando en la resolución de los problemas; les familiariza con los métodos de trabajo de los científicos (analizar los problemas, emitir hipótesis, diseñar estrategias de resolución previas al proceso de resolución y análisis de resultados); y posibilita la inclusión de los aspectos más relevantes, relacionados con cuestiones filosóficas, que deben considerarse en un currículo escolar (Hodson, 1988):

- a) La observación depende de nuestras percepciones sensoriales, las cuales son, a veces, inadecuadas y por ello pueden ser falibles y carentes de fiabilidad.
- b) La observación depende de la teoría y, a menudo, la teoría, aunque no siempre, precede a la observación.
- c) La ciencia utiliza frecuentemente la observación indirecta y ésta, a su vez, depende de una teoría de la instrumentación.
- d) La observación no proporciona acceso automático a un conocimiento factual seguro, se ha de interpretar a la luz de las creencias teóricas actuales.

- e) Los conceptos y teoría son producidos por actos creativos de abstracción e invención. No surgen directamente de la observación por un proceso de generalización inductiva.
- f) Las teorías se justifican 'post hoc' por la evidencia experimental; pero para que se acepte una teoría debe haber una evidencia que la apoye.
- g) Las teorías rivales pueden dar lugar a observaciones diferentes cuando se confronta el mismo fenómeno.
- h) El conocimiento científico (datos observacionales y teóricos) solo tienen un estatus temporal. Los conceptos y teorías cambian y se desarrollan, y algunas se rechazan.
- i) La inducción es inadecuada como descripción del método y por eso los métodos científicos de aprendizaje por descubrimiento, que emplean a menudo los profesores de ciencias, proyectan una imagen distorsionada de la ciencia.
- j) El método científico, como el conocimiento que produce, cambia y se desarrolla.

3.3.3. LAS DIFERENCIAS ENTRE LOS CURSOS DE CIENCIAS ESTÁNDAR Y LOS CURSOS DE CIENCIAS C-T-S

Terminamos este apartado sobre la aproximación curricular al enfoque C-T-S, con los resultados que obtuvo Yager (1993) al comparar un curso de ciencia estándar, tal y como fueron analizados por el Proyecto Síntesis de la NSF, y los principales programas experimentales C-T-S desarrollados en los Estados Unidos. Éstos son los principales puntos de contraste:

CURSOS DE CIENCIAS ESTÁNDAR	CURSOS DE CIENCIAS C-T-S
Adquirir los principales conceptos que aparecen en los libros de texto.	Identificar problemas con interés o impacto local.
Uso de laboratorios y actividades sugeridas en los libros de texto y manuales de prácticas.	Uso de recursos locales (humanos y materiales) para la resolución de problemas.
Los estudiantes asimilan pasivamente la información dada por el profesor o el libro de texto.	Los estudiantes piden activamente la información para usarla.
Centrada en la información que el profesor considera importante para el alumno.	Centrada en la curiosidad y los propios intereses de los alumnos.
Visión de la ciencia como la información que aparece en los libros de texto y lecturas del profesor.	Visión de la ciencia, no sólo como unos contenidos impresos que deben estudiarse.
Los estudiantes practican estrategias de procedimientos básicos; pero no se aplican en los criterios de evaluación.	El énfasis se pone en las estrategias que forman parte de la práctica científica.
Se da poca importancia al desarrollo del conocimiento, excepto referencias ocasionales a científicos, generalmente muertos, y sus descubrimientos.	Centrada en el desarrollo del conocimiento científico y tecnológico.
Los estudiantes trabajan sobre problemas propuestos por el profesor o el texto.	Los estudiantes se hacen conscientes de sus responsabilidades como ciudadanos al resolver temas que ellos han identificado.
La ciencia sólo ocurre en la clase de ciencias como parte del currículo escolar.	Los estudiantes aprenden el rol que la ciencia puede tener en una determinada institución y en una comunidad específica.
La ciencia es un cuerpo de información que los estudiantes esperan adquirir.	La ciencia es una experiencia que los estudiantes desean disfrutar.
Las clases de ciencias se centran en lo que conoce de forma previa.	Las clases de ciencias se centran en lo que se podría necesitar en el futuro.

Cuadro 3.4: Comparación entre cursos de ciencias estándar y cursos de ciencias C-T-S (Yager, 1993, p. 9)

Yager, en este mismo estudio, refiere las metas de la educación en torno a cinco dominios de la enseñanza de las ciencias: Conceptos, Procedimientos, Conexiones y aplicaciones, Creatividad, y Actitudes. Teniendo en cuenta los dominios de conocimientos recogidos por la reforma educativa española y, que los dominios de aplicación y creatividad pueden asimilarse tanto a conceptos como a procedimientos o actitudes, en la siguiente tabla se recogen las diferencias entre los logros alcanzados por los estudiantes en una educación tradicional y una educación C-T-S.

EDUCACIÓN TRADICIONAL	EDUCACIÓN C-T-S
Conceptos	
Los estudiantes aprenden conceptos con el objeto de repetirlos y hacer bien las pruebas	Los estudiantes encuentran los conceptos científicos útiles en sus propias vidas, y los aplican
Los conceptos se consideran como resultado de la enseñanza	Los conceptos se consideran como algo necesario para el trabajo con problemas
La clase de ciencias se centra en el aprendizaje de conceptos por parte del estudiante	El aprendizaje de conceptos es consecuencia de la actividad; es importante, pero no la meta en sí misma
Los estudiantes no relacionan la ciencia que han estudiado con ninguna tecnología actual	Los estudiantes conocen los avances tecnológicos y reconocen en ellos la importancia y relevancia de los conceptos científicos
Los estudiantes no retienen los conceptos en el tiempo	Los estudiantes que aprenden por experiencia retienen los conceptos y pueden, a menudo, usarlos en nuevas situaciones
Procedimientos	
Los procedimientos de la ciencia son las destrezas que poseen los científicos	Los procedimientos de la ciencia son las destrezas que pueden usar los estudiantes
Los estudiantes ven los procedimientos como algo que se practica porque lo requiere un curso	Los estudiantes ven los procedimientos como destrezas que necesitan para educarse y desarrollarse ellos mismos
Los profesores ponen el énfasis en que los estudiantes no comprenden los procedimientos porque esas destrezas rara vez se usan fuera de clase o en otros cursos	Los estudiantes fácilmente ven la relación de los procedimientos de ciencia con sus propias acciones
Los estudiantes ven los procedimientos de la ciencia como destrezas abstractas, e inalcanzables	Los estudiantes ven los procesos como parte vital de lo que hacen en las clases de ciencias
La habilidad de los estudiantes de preguntar se reduce porque las cuestiones que ellos generan no están de acuerdo con las líneas del curso y son ignoradas	Los estudiantes preguntan más, y esas cuestiones son usadas para el desarrollo de las actividades y materiales de ciencias

Los estudiantes rara vez preguntan pensando en generar una discusión	Los estudiantes preguntan frecuentemente cuestiones que les interesan a ellos, a otros estudiantes y al profesor
Los estudiantes no identifican las posibles causas y efectos en una situación específica	Los estudiantes tienen destrezas para identificar las posibles causas y efectos de ciertas observaciones y acciones.
Los estudiantes tienen pocas ideas originales	Los estudiantes tienen un gran número de ideas
Actitudes	
El interés de los estudiantes de ciencias disminuye según se avanza de nivel educativo	El interés de los estudiantes se incrementa de niveles educativos inferiores a superiores
La curiosidad de los estudiantes sobre la ciencia parece decrecer	Los estudiantes se hacen más curiosos sobre el mundo natural
Los estudiantes ven a los profesores como proveedores de información	Los estudiantes ven a los profesores como guías
Los estudiantes ven la ciencia como información que hay que aprender	Los estudiantes ven la ciencia como la forma de trabajar con problemas
Los estudiantes no encuentran valor o utilidad a lo estudiado en las clases de ciencias y; tampoco, para resolver problemas sociales actuales	Los estudiantes relacionan sus estudios de ciencia con su vida diaria y, también, consideran que les ha permitido ser conscientes de sus responsabilidades como ciudadanos

Cuadro 3.5: Diferencias en cuanto a los logros obtenidos por los estudiantes en una educación tradicional y en una C-T-S (Yager, 1993, pp. 10-11)

A la vista de estos resultados es necesario realizar un esfuerzo, desde todos los sectores implicados en la educación, para implantar una perspectiva C-T-S en la enseñanza de las ciencias.

PARTE II.

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO 4

DISEÑO Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con nuestras pretensiones, la metodología de resolución de problemas como investigación (MRPI), el enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad (C-T-S), y una situación real de aula, el planteamiento general de este trabajo implica acotar desde el inicio de la misma aspectos como:

Justificación curricular de la investigación: Contenidos de Biología y nivel

Los contenidos de Biología sobre los que va a girar la investigación son los de **Genética**. La elección de estos contenidos en concreto obedece, principalmente, a dos razones. Una, la Genética es uno de los pocos contenidos de Biología que se trabajan resolviendo problemas. Es verdad, que estos problemas son de tipo cerrado y difieren de los que proponemos en este trabajo. Sin embargo, este hecho nos puede ayudar a determinar las diferencias de aprendizaje entre grupos de estudiantes que trabajen unos mismos contenidos con problemas cerrados o con problemas abiertos. Y dos, la Genética es uno de los contenidos biológicos más propicios para trabajar el enfoque C-T-S debido a la gran incidencia social de los nuevos avances científico-técnicos en este campo. Estos contenidos se van a desarrollar en el nivel de Secundaria Obligatoria por la importancia del mismo dentro del sistema educativo actual. Los contenidos de Genética se trabajan en el curso de **4º de E.S.O.**, porque así se recomienda en el currículo oficial del área de Biología y Geología.

Las diferencias entre el desarrollo de los contenidos de Genética aparecían en los primeros Reales Decretos, que desarrollaban el currículo de 4º de E.S.O. (RD 1007/91, RD 1345/91 y RD 1390/95), y las modificaciones actuales (RD 3473/00 y RD 937/01), muestran la importancia de los nuevos avances en Genética. Además, de la herencia mendeliana y el concepto de mutación, ahora también se incluyen contenidos sobre ingeniería genética, sus aplicaciones y sus implicaciones sociales y éticas. Estos contenidos son imprescindibles para la alfabetización científica y tecnológica de nuestros estudiantes y necesarios para entender todo el desarrollo de la Genética en la

actualidad. Nuestra propuesta es que la introducción de los mismos no se limite a la realización de alguna actividad más o menos superficial, sino que se haga de forma funcional e integradora dentro del conjunto de contenidos de Genética adecuados al nivel de Secundaria.

La complejidad de la tarea que nos hemos propuesto ha hecho necesaria la elaboración, no sólo de actividades o de problemas abiertos sobre Genética, sino, también, la de una **unidad didáctica**, “*¿Soy así por puro azar?*”, coherente con todos los contenidos que se pretenden trabajar en esta investigación:

- conceptos de Genética y herencia humana
- la Naturaleza de la Ciencia
- procedimientos de resolución de problemas abiertos
- actitudes relacionadas con la Ciencia y relativas a Ciencia-Tecnología-Sociedad.

Esta unidad didáctica se recoge en el Anexo I y su fundamentación en el Capítulo 5.

Para terminar este apartado de justificaciones curriculares, es importante consignar que los contenidos relativos a la Genética se recogen, por primera vez, en el segundo ciclo de E.S.O. Por lo tanto, los conocimientos que los estudiantes de estas edades tengan, sobre la herencia de caracteres, tendrán su origen en creencias personales y culturales.

Aprendizaje de la metodología y diferencias individuales

Para poder utilizar y evaluar la MRPI en la unidad didáctica se hizo necesario realizar un **aprendizaje previo** de la misma. Para ello, los alumnos del grupo experimental (GEXP) trabajaron con problemas abiertos y otras actividades que les ayudaron a familiarizarse con la metodología. El desarrollo de este periodo de preparación se recoge en el Capítulo 6 en la Parte de Desarrollo de la Investigación y Resultados.

Por otra parte, como ya se ha indicado al referirnos a las dificultades en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la resolución de problemas (Apartado 2.2.2 C), el **estilo cognitivo Dependencia-Independencia de Campo (DIC)** es una de las diferencias individuales que más afectan a estos aprendizajes; en especial, si los problemas son abiertos al no tener una estructura claramente perceptible. Por ello, vamos a limitar nuestro estudio sobre la influencia de las diferencias individuales, en el aprendizaje de la MRPI, al estilo cognitivo DIC.

Control de los grupos de investigación y rol del profesorado implicado

La metodología de trabajo dentro del aula ha estado orientada por el paradigma investigación-acción donde el profesor juega el doble rol de profesor e investigador. Respecto a este papel de la profesora-investigadora, otro de los aspectos que se discutieron fue la posibilidad de que llevase a cabo el trabajo con el GEXP y el GCON (grupo control) al mismo tiempo, o bien que hubiese un profesor ajeno a la investigación con este último grupo. Debido a la gran diferencia existente entre el papel de un profesor en un tipo de enseñanza más tradicional, donde es más un transmisor de información, y el papel de un profesor en una metodología constructivista como es la de MRPI, donde es más un guía o mediador entre el alumno y el conocimiento, se decidió que debían ser personas diferentes las que llevase a cabo el trabajo con el GEXP y el GCON. Gracias a diversas reuniones a lo largo del proceso de investigación, y a la elaboración de un cuaderno de campo, las dos profesoras responsables de los grupos de investigación trabajaron los mismos tipos de contenidos recogidos por el currículo oficial para el curso y nivel elegido.

Otra cuestión que se planteó fue la importancia de que existiese o no un observador externo. Las propias características de la investigación, su gran duración y, la imposibilidad de que alguien ajeno a la investigación pudiese seguir todo el proceso, que tendría lugar en las horas de clase correspondientes a cada grupo de estudiantes, se decidió realizar, siempre que fuese posible, grabaciones en vídeo que permitiesen observar el funcionamiento de la metodología dentro del aula en el GEXP, y la realización de un diario de campo por parte de las profesoras de ambos grupos de investigación.

Recogida de información

La recogida de información se planificó en torno a cuatro periodos o momentos:

- **Inicial.** Antes de que se empezasen a trabajar los contenidos de Genética en el aula, ambos grupos de investigación, realizarían pruebas idénticas que nos permitiesen diagnosticar su punto de partida en todos los aspectos relativos a conceptos (Genética y Naturaleza de la Ciencia), procedimientos (resolución de problemas abiertos) y actitudes (relacionadas con la Ciencia y relativas a C-T-S) que se incluían en nuestro estudio. Los alumnos del GEXP también realizarían el test GEFT de figuras enmascaradas para determinar su nivel de Dependencia o de Independencia de Campo (DIC).
- **Intervención en el aula.** A lo largo del desarrollo de la unidad didáctica basada en la resolución de problemas abiertos, en el GEXP se irían recogiendo todas las producciones de los estudiantes para poder valorarlas y determinar el grado de evolución sufrido por los estudiantes en su aprendizaje, y la relación entre éste y el estilo cognitivo DIC.
- **Final I.** Al finalizar el trabajo en el aula relativo a los contenidos de Genética, ambos grupos de investigación, realizarían pruebas idénticas que nos permitiesen conocer su nivel de aprendizaje en todos los aspectos relativos a conceptos, procedimientos y actitudes que se incluían en nuestro estudio.
- **Final II.** Al cabo de unos meses del proceso de enseñanza aprendizaje, los estudiantes del GEXP se enfrentarían a nuevas pruebas para determinar la permanencia en el tiempo o grado de retroceso de los aprendizajes realizados a nivel conceptual y de procedimientos.

Tras concretar estos aspectos relativos a la investigación, pasamos a detallar la secuencia y metodología de la misma.

4.1. SECUENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación vamos a describir las diferentes fases desarrolladas para llevar a cabo la investigación:

4.1.1. FASE PRELIMINAR

Esta fase se desarrolla en los cursos anteriores (1997/98 y 1998-99) al de inicio la fase experimental (1999/00), y surge como consecuencia del planteamiento del “problema”: **Aplicar una MRPI para el desarrollo de un enfoque C-T-S en el currículo de Biología de la E.S.O.** El planteamiento de una investigación que pretende abordar un “problema” tan amplio y con tantas derivaciones, requiere una preparación muy exhaustiva de todo el proceso previo a la resolución del mismo. Por utilizar la misma terminología, y etapas de trabajo, de la metodología con la que iban a trabajar en el aula los estudiantes, durante esta fase se realizó el análisis cualitativo del problema que nos permitiera identificar las hipótesis a contrastar y el diseño más apropiado de una estrategia de resolución del mismo. El resto de las fases de la investigación serían las de resolución, recogida de datos y análisis de los mismos.

Como parte del análisis cualitativo del problema se realizaron las siguientes actividades:

- Decidir nivel y contenido con el que se iba a trabajar en el aula: Genética y 4º de E.S.O.
- Revisión bibliográfica sobre:
 - ✓ las investigaciones llevadas a cabo en relación con nuestra propuesta de trabajo, la MRPI.
 - ✓ las investigaciones llevadas a cabo en relación con ideas previas de los estudiantes sobre Genética y sobre la Naturaleza de la Ciencia
 - ✓ otros aspectos de interés para el desarrollo de esta investigación como los estudios relacionados con procedimientos, actitudes, modelos de unidades didácticas, etc.

- Selección de pruebas de lápiz y papel para diagnosticar el punto de partida, en relación con contenidos de tipo conceptual, de procedimientos y de actitudes, de los estudiantes.

Una vez concluido este análisis, se plantearon de forma general las hipótesis de trabajo para cada uno de los contenidos, recogidas en el siguiente apartado.

Como parte del diseño de la estrategia de resolución, se realizaron las siguientes tareas:

- Selección y estudio de la metodología de resolución de problemas que se iba a trabajar con los estudiantes y preparación de problemas de enunciado abierto acordes con los presupuestos curriculares del nivel donde se enmarcaba la investigación (Anexo II). En este curso anterior al inicio de la investigación, la profesora investigadora realizó, ella misma, una preparación previa sobre la aplicación de la MRPI con un grupo piloto, totalmente independiente a los grupos de investigación, aunque del mismo nivel y curso. De esta forma pudo detectar las principales dificultades con las que se encontraría en el aula una vez iniciado el desarrollo de la experimentación.
- Elaboración de la unidad didáctica “*¿Soy así por puro azar?*”, organizada en torno al desarrollo histórico de los conocimientos sobre Genética y de la MRPI (Anexo I). Los problemas abiertos diseñados se encuadran dentro de distintos tipos de herencia: mendeliana, no mendeliana, de caracteres adquiridos, ingeniería genética o aplicaciones biotecnológicas.
- Diseño de la fase de aprendizaje de la MRPI por parte del GEXP (Capítulo 6).
- Diseño de plantillas y de otros mecanismos de recogida de información.
- Diseño de pruebas de lápiz y papel para evaluar el aprendizaje final de ambos grupos.

4.1.2. FASE EXPERIMENTAL

Esta fase se desarrolló durante el curso 1999/00 y 2000/01.

1. PREVIA

Tuvo lugar a lo largo del primer y segundo trimestre del curso 1999/00, y las tareas realizadas fueron:

- Establecer el tipo de contenidos curriculares a trabajar dentro de la Genética por parte de las profesoras de los GEXP y GCON, y los momentos en los que se debía recoger información de ambos grupos y cómo debía hacerse.
- Recogida de información y análisis de resultados sobre los conocimientos iniciales de los estudiantes en relación con la Genética, con la Naturaleza de la Ciencia, con los procedimientos de resolución de problemas y con las actitudes relacionadas con la Ciencia y relativas a Ciencia-Tecnología-Sociedad. Así se parte de una situación inicial de homogeneidad previa a la fase empírica.
- Medida del estilo cognitivo DIC de los estudiantes del GEXP a través de la prueba colectiva GEFT (Witkin y otros, 1987).
- Desarrollo de la fase de aprendizaje previo de la MRPI por parte de los estudiantes del GEXP.
- Organización del trabajo en el aula en grupos de cuatro estudiantes para que la resolución de problemas se realizase de forma cooperativa.

2. EMPÍRICA

Tuvo lugar entre el segundo y tercer trimestre del curso 1999-00, y el primero del curso 2000/01. A lo largo de la misma, que es realmente la fase de resolución de nuestro problema, se realizaron las siguientes tareas:

- Resolución de los problemas abiertos diseñados en la unidad didáctica.
- Recogida de las producciones escritas de los estudiantes para constatar el aprendizaje de la metodología y el cambio conceptual.
- Recogida de las pruebas correspondientes al momento Final I (1999/00) y Final II (2000/01).

4.1.3. FASE DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

Esta fase se inició al finalizar el proceso de enseñanza-aprendizaje de ambos grupos de investigación. Las tareas llevadas a cabo han sido análisis cualitativos y cuantitativos, usando pruebas estadísticas, para:

- Constatar en el GEXP:
 - ✓ el cambio conceptual, de procedimientos y de actitudes
 - ✓ la relación entre el estilo cognitivo DIC de los estudiantes y su capacidad a la hora de enfrentarse a la resolución de problemas abiertos
 - ✓ detectar las actitudes hacia la metodología desarrollada en el aula
 - ✓ la persistencia en el tiempo del cambio conceptual y de procedimientos producido en el GEXP
- Constatar las diferencias entre los aprendizajes finales realizados por los estudiantes del GEXP y GCON respecto a:
 - ✓ conceptos de Genética y Naturaleza de la Ciencia
 - ✓ procedimientos de resolución de problemas abiertos y cerrados
 - ✓ actitudes relacionadas con la Ciencia y relativas a C-T-S

Resumimos la secuencia temporal de la investigación en el siguiente cuadro:

CURSO ESCOLAR	FASE PRELIMINAR	FASE EXPERIMENTAL	FASE DE ANÁLISIS DE RESULTADOS
1997/98	<ul style="list-style-type: none"> • Toma de decisiones • Pruebas piloto • Revisiones bibliográficas • Selección de pruebas de diagnóstico y de evaluación de aprendizajes • Diseño unidad didáctica y problemas abiertos • Diseño de plantillas de recogida de información 		
1998/99			
1999		<p>PREVIA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Momento Inicial de recogida de información • Aprendizaje previo de la MRPI y organización del trabajo en el aula <p>EMPÍRICA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Momento de Intervención en el aula: resolución de problemas abiertos de la unidad didáctica y recogida de información • Momento Final I de recogida de información • Momento Final II de recogida de información 	<ul style="list-style-type: none"> • Constatar la homogeneidad entre GEXP y GCON
1º trimestre			
2º trimestre			
3º trimestre			
2000			
2000 final del 1º trimestre			
2001			<ul style="list-style-type: none"> • Constatar en el GEXP: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aprendizajes y permanencia en el tiempo ✓ Relación con DIC ✓ Actitudes hacia la MRPI • Constatar diferencias en los aprendizajes entre GEXP y GCON

Cuadro 4.1: Secuencia temporal de la investigación

4.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

En los capítulos anteriores se ha realizado un análisis sobre los fundamentos teóricos que están en la base de esta investigación. Por lo tanto, ahora podemos plantearnos las hipótesis de trabajo, coherentes con este marco de referencia, que debemos contrastar a lo largo de este estudio.

La emisión de hipótesis juega un papel fundamental en la investigación, y tiene que cumplir una serie de requisitos. Diversos filósofos de la Ciencia, según su escuela, delimitan el papel de las hipótesis dentro de la investigación científica y las premisas que deben cumplir las mismas. Para Popper (1967) la Ciencia es un conjunto de hipótesis que se proponen a modo de ensayo con el propósito de describir o explicar de un modo preciso el comportamiento de algún aspecto del mundo o del universo. Estas hipótesis deben cumplir una condición fundamental, han de ser falsables. Y, una hipótesis es falsable, si existe uno o un conjunto de enunciados observacionales lógicamente posibles que sean incompatibles con ella. Para Lakatos (1974), la característica definitoria de sus programas de investigación es el núcleo central de los mismos formado por hipótesis teóricas muy generales a partir de las cuales se desarrolla el programa. Las hipótesis no pueden ser *ad hoc*, es decir que no se puedan comprobar de forma independiente, y no pueden ir en contra del núcleo central del programa de investigación. La misma idea aparece recogida por Bunge (1987) que define las hipótesis como un enunciado verificable con cierto grado de generalidad que puede verificarse de forma indirecta; siendo el núcleo de toda teoría un conjunto de hipótesis verificables y no los hechos. De forma más explícita este autor recoge los tres requisitos que debe seguir la formulación de hipótesis (Bunge, 1979):

1. La hipótesis debe estar bien formada (formalmente correcta) y ser significativa (no vacía semánticamente).
2. La hipótesis tiene que estar fundada en alguna medida en conocimiento previo; y si es completamente nueva desde ese punto de vista, tiene que ser compatible con el cuerpo de conocimiento científico.
3. La hipótesis tiene que ser empíricamente contrastable mediante los procedimientos objetivos de la Ciencia.

Si traspasamos la barrera de la teoría sobre las investigaciones científicas, y nos metemos dentro de una investigación en marcha, las hipótesis surgen de la necesidad de predecir resultados concretos, ayudan a estructurar el análisis estadístico, suelen crear el armazón de la memoria escrita sobre el análisis de los datos y resultados, y permiten a la persona que lea el trabajo comprender lo que esperaba el investigador antes de empezar el estudio (Fox, 1987)

Por ello, en la emisión de las hipótesis de investigación de este trabajo se han tenido en consideración todos los requisitos que debe cumplir una hipótesis científica y la importancia que el enunciado de la misma tiene en la propia investigación.

Consideramos que las hipótesis que se exponen a continuación cumplen estos requisitos y permitirán conducir a resultados generalizables, que se puedan replicar y, en el campo en el que estamos trabajando, su contraste irá pareja a claras implicaciones didácticas.

Las hipótesis que presentamos son hipótesis de investigación y no necesariamente se van a formular como hipótesis estadísticas o hipótesis nulas que son las que pueden contrastar los estadísticos inferenciales. Los distintos test estadísticos parten de hipótesis nulas, expresadas en términos de no diferencia u homogeneidad, que se enfrentan a hipótesis alternativas, expresadas en términos de diferencia o heterogeneidad que pueden ser o no direccionales (mejor qué, o peor qué). En las hipótesis que planteamos la Inicial y Final II se expresan en términos de no diferencia porque queremos contrastar la hipótesis nula del estadístico; es decir, en la inicial que el GEXP y GCON son muestras representativas de un mismo universo, y en la Final II que el GEXP mantiene en el tiempo sus aprendizajes. El resto de las hipótesis pretenden demostrar diferencias a favor de un grupo determinado, dentro de una misma muestra o entre dos muestras, y, por lo tanto, se expresarán en términos de diferencias apoyando la hipótesis alternativa.

A lo largo de esta investigación vamos a plantear un gran número de hipótesis, sobre aspectos muy diversos, que se van a contrastar en diferentes momentos del desarrollo de la misma. Por ejemplo, las hipótesis referentes a la evolución del aprendizaje de los contenidos conceptuales de Genética, se distribuyen a lo largo de

cuatro periodos distintos de la investigación, usando una diversidad de pruebas, tanto abiertas como cerradas, con datos recogidos de una muestra o de dos, y tratadas estadísticamente con distintos test. De acuerdo con esto, en la Parte III, Desarrollo de la investigación, y dentro del Capítulo 7, se ha organizado el contraste de las hipótesis siguiendo los momentos de la investigación en los que hay recogida de información.

4.2.1. HIPÓTESIS INICIAL

Aquí se recoge la hipótesis que deben cumplir ambos grupos de investigación para que partan desde unos supuestos iniciales que identifiquen como no diferentes u homogéneas a las muestras que se van a usar como experimental (GEXP) y control (GCON). De esta forma, las conclusiones que se extraigan sobre las diferencias en el aprendizaje realizado por los estudiantes de ambos grupos se podrán relacionar con la única variable no común a ambos grupos, la aplicación de la MRPI.

HIPÓTESIS INICIAL:

Los grupos experimental y control son homogéneos en sus conocimientos iniciales para cada uno de los aspectos estudiados en la investigación.

Esta hipótesis se concreta, para cada uno de los aspectos o variables estudiadas en esta investigación, en las siguientes subhipótesis:

- ❑ SUBHIPÓTESIS I. 1: Los estudiantes del GEXP y del GCON son homogéneos en relación a sus ideas o conocimientos iniciales de **Genética y herencia humana**.
- ❑ SUBHIPÓTESIS I. 2: Los estudiantes del GEXP y del GCON son homogéneos en relación a sus ideas o conocimientos iniciales sobre la **Naturaleza de la Ciencia**.
- ❑ SUBHIPÓTESIS I. 3: Los estudiantes del GEXP y del GCON son homogéneos en los **procedimientos iniciales que usan en la resolución de un problema abierto**.
- ❑ SUBHIPÓTESIS I. 4: Los estudiantes del GEXP y del GCON son homogéneos en las **actitudes iniciales que manifiestan respecto a la Ciencia**.
- ❑ SUBHIPÓTESIS I. 5: Los estudiantes del GEXP y del GCON son homogéneos en las **actitudes iniciales que manifiestan sobre las relaciones C-T-S**.

4.2.2. HIPÓTESIS DE INTERVENCIÓN EN EL AULA

Las hipótesis de este momento de la investigación pretenden contrastar la evolución positiva en el aprendizaje de diversos contenidos, que ha realizado el GEXP, durante, y tras el desarrollo de la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?”, basada en una MRPI. Estas hipótesis se centran en el aprendizaje de la propia metodología; en el cambio conceptual que se produce en relación con los contenidos de Genética; y en la influencia del estilo cognitivo (DIC) como una diferencia individual importante en el aprendizaje realizado.

HIPÓTESIS 1 DE INTERVENCIÓN EN EL AULA:

El desarrollo en el aula de una MRPI va a producir en los estudiantes del GEXP, al final del proceso, una evolución significativa hacia niveles de resolución más complejos de las variables metodológicas y de verbalización.

HIPÓTESIS 2 DE INTERVENCIÓN EN EL AULA:

El desarrollo en el aula de una MRPI va a producir en los estudiantes del GEXP, al final del proceso, un cambio conceptual respecto a los contenidos de Genética y herencia humana, que se manifiesta en el uso de esquemas conceptuales más próximos a los defendidos actualmente por la Ciencia.

HIPÓTESIS 3 DE INTERVENCIÓN EN EL AULA:

El estilo cognitivo Dependencia-Independencia de Campo (DIC) de cada individuo, influye de forma significativa en el nivel de resolución de problemas abiertos alcanzado por los estudiantes del GEXP.

Esta hipótesis se concreta en cómo las características individuales pueden afectar a una buena resolución de problemas como investigación, es decir, el desarrollo de las variables metodológicas y de verbalización, y el uso de los esquemas conceptuales implicados hacia niveles de coherencia interna más complejos y cercanos a la visión

científica actual. Por lo tanto, vamos a formular subhipótesis para cada uno de estos dos aspectos:

□ SUBHIPÓTESIS 3.1 DE INTERVENCIÓN EN EL AULA:

El estilo cognitivo DIC de cada individuo influye en la realización de las diferentes fases de resolución o **variables metodológicas y de verbalización**.

□ SUBHIPÓTESIS 3.2 DE INTERVENCIÓN EN EL AULA:

El estilo cognitivo DIC de cada individuo influye en la realización de las diferentes **variables de contenido**.

4.2.3. HIPÓTESIS FINAL I

Esta hipótesis es de tipo direccional porque, no sólo se pretende contrastar que existen diferencias entre los aprendizajes realizados por el GEXP y el GCON, sino que el GEXP es significativamente mejor para todo tipo de conocimiento que se evalúa en esta fase de la investigación.

HIPÓTESIS FINAL I:

Existen diferencias significativas en el aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes, a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON.

Esta hipótesis tan amplia se concreta en las siguientes subhipótesis:

- SUBHIPÓTESIS FINAL I-1: Existe un **aprendizaje significativamente mayor de los conceptos sobre Genética y herencia humana con esquemas conceptuales más cercanos a la postura científica actual** a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON.
- SUBHIPÓTESIS FINAL I-2: Existe un **aprendizaje significativamente mayor de los contenidos conceptuales sobre la Naturaleza de la Ciencia** en el GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON.
- SUBHIPÓTESIS FINAL I-3: Existe un **aprendizaje significativamente mayor de los procedimientos de resolución de problemas** (abiertos y cerrados) a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON.
- SUBHIPÓTESIS FINAL I-4: Se **manifiestan actitudes significativamente más favorables relacionadas con la Ciencia** a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON.
- SUBHIPÓTESIS FINAL I-5: Se pone de **manifiesto una postura significativamente más definida y favorable hacia las relaciones C-T-S** a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON.

4.2.4. HIPÓTESIS FINAL II

Con el paso del tiempo se produce un cierto retroceso en los conocimientos adquiridos por los estudiantes. La hipótesis de este momento de la investigación se refiere a la permanencia en el tiempo de los aprendizajes realizados por el GEXP a través de la MRPI. Para su contraste se van a comparar los resultados obtenidos por el GEXP en la fase Final I con los obtenidos en pruebas realizadas varios meses después. En el tiempo que transcurre entre una y otra fase, los estudiantes no han vuelto a trabajar ni los contenidos ni la metodología de la investigación. Por otra parte, el GEXP se ha visto reducido y, por lo tanto, sólo se van a comparar los resultados finales I y II de los estudiantes que realizan las pruebas de ambas fases, a los que denominamos subgrupo experimental (SubGEXP).

HIPÓTESIS FINAL II:

El cambio producido en el aprendizaje de los contenidos por la MRPI, en el GEXP, es estable en el tiempo y difícilmente sufre un retroceso significativo.

Esta hipótesis se puede concretar para cada uno de los tipos de contenidos que se han evaluado, los de tipo conceptual y de procedimientos.

- SUBHIPÓTESIS FINAL II-1. El cambio conceptual sobre **Genética y herencia humana** permanece en el tiempo sin sufrir retrocesos significativos.
- SUBHIPÓTESIS FINAL II-2. El cambio conceptual sobre la **Naturaleza de la Ciencia** permanece en el tiempo sin sufrir retrocesos significativos.
- SUBHIPÓTESIS FINAL II-3. El cambio respecto a **la metodología de resolución de problemas abiertos** permanece en el tiempo sin sufrir retrocesos significativos.

4.3. NATURALEZA Y ENTORNO DE LAS MUESTRAS

El GEXP se eligió por ser un grupo de clase estándar del que la investigadora era su profesora; y, el criterio de selección del GCON, fue ser otro grupo de clase estándar cuyos condicionantes externos fueran semejantes a los del GEXP. En el proceso de selección de este último fue de gran importancia que se pudiese establecer una comunicación fluida entre las profesoras a la hora de entregar pruebas y recoger resultados. Por otra parte, la profesora del GCON puede considerarse como prototipo de profesor-experto de la enseñanza pública, de mediana edad y más de 10 años de experiencia docente.

El GEXP de este estudio ha estado formado por 30 estudiantes de 4º de E.S.O., del itinerario en el que se eligen las optativas de Biología y Geología, Física y Química, y las Matemáticas B, del I.E.S. El Carrascal de Arganda del Rey. El GCON ha estado formado por 19 estudiantes de 4º de E.S.O., con el mismo itinerario, del I.E.S. La Poveda ubicado en la misma localidad madrileña. Ambos grupos, a pesar de la diferencia en el número de estudiantes, presentaban numerosas similitudes que permitían intuir que eran homogéneos y representativos para el tipo de estudio que queríamos realizar, tales como:

- Grupos de estudiantes de centros públicos de la misma localidad.
- Único grupo de 4º de E.S.O. con el itinerario de las asignaturas de Ciencias Experimentales que se formó en ambos institutos.
- Centros con características similares en cuanto a tamaño, instalaciones, número de estudiantes, no tener implantado el primer ciclo de E.S.O. Se diferenciaban en las opciones de Bachillerato de Ciencias que se ofertaban, y en la presencia de programas de Garantía y de ciclos formativos de grado medio y superior en el I.E.S. La Poveda.
- Centros con la misma distribución de contenidos curriculares en el área de las Ciencias de la Naturaleza para el segundo ciclo de Secundaria.
- El mismo nivel socioeconómico de las familias de los estudiantes de ambos grupos, pudiéndose considerar como medio. El nivel cultural era bajo ya que el

60% de la población no alcanzaba a tener estudios primarios terminados. Es de destacar que más de dos tercios de las madres de estos estudiantes trabajaban exclusivamente como amas de casa.

- La edad media de los estudiantes de ambos grupos al comenzar la toma de datos era similar, 15 años y 6 meses para el GEXP, y 15 años y 10 meses para el GCON. También presentaban la misma proporción de varones y mujeres, siendo en ambos grupos mayoritarias éstas últimas. En el GEXP había 23 mujeres que constituían el 76,66% de la clase y 7 varones que eran el 23,33%. En el GCON había 14 mujeres (73,68%) y 5 varones (26,31%).

En las investigaciones, a las que se les va a aplicar un tratamiento estadístico para su análisis, siempre se plantea **el problema de la representatividad y el tamaño de la muestra**.

La **representatividad de la muestra**, en cuanto a que ambos grupos sean prototipos de estudiantes de este itinerario de 4° de E.S.O., es clara. Normalmente, los grupos de este nivel que cursan las optativas científicas, están formados por una mayoría de estudiantes mujeres y que no han repetido cursos anteriores, por lo que se encuentran dentro de la edad correspondiente.

El **tamaño de muestra** en este estudio se corresponde con el tamaño natural de cada grupo de investigación. Discutir sobre el tamaño suficiente de la muestra para que las conclusiones de un estudio se puedan considerar representativas es una de las cuestiones que se establecen en los estudios de tipo “etnográfico”, donde la población sobre la que se va a actuar no puede ser muy amplia. Algunos autores consideran, refiriéndose al tamaño de muestra, que no se alcanza una mayor generalidad por aumentar el número de individuos explorados sino que por el contrario, la validez del estudio se encuentra en que el diseño de la investigación sea adecuado y amplio, y se arbitren los mecanismos de exploración y contraste de hipótesis de tal forma que los resultados obtenidos puedan considerarse complementarios (Larkin y Rainard, 1984).

Otra aportación interesante en esta misma línea es la realizada por Fox al afirmar que:

“La pregunta sobre qué tamaño debe tener una muestra en lo esencial no tiene respuesta, salvo decir que debe ser suficientemente grande para conseguir la representatividad. Evidentemente el número que se necesita para ello variará de un estudio a otro” (Fox, 1987, p.395)

En esta investigación, como en la mayoría de las que se realizan en el campo de la Didáctica, **se ha primado el aspecto de la representatividad sobre el problema del tamaño**. Nuestros grupos de investigación son representativos de una amplia muestra de centros españoles; y, por lo tanto, podemos extrapolar las conclusiones que se obtengan de la investigación al universo de estudiantes de 4º de E.S.O. que estudien la optativa de Biología y Geología.

4.4. METODOLOGÍA E INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

En el planteamiento general de este capítulo se dejaba entrever que la resolución de nuestro problema hacía necesario un diseño de investigación muy complejo. Una vez planteadas las hipótesis, su amplitud y variedad no dejaban lugar a la duda sobre la cantidad y variedad de métodos e instrumentos de medida que requieren el contraste de las mismas. Por ello, en este apartado, vamos a desarrollar con detalle los distintos aspectos relativos a la metodología empleada y los instrumentos utilizados.

4.4.1. METODOLOGÍA Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

Al plantearnos la metodología más adecuada a los objetivos de esta investigación hemos asumido que, al tratarse de una investigación educativa de didáctica de las Ciencias Experimentales, presenta **un matiz de investigación social que implica la utilización de procedimientos tanto cualitativos como cuantitativos.**

Las producciones escritas de los estudiantes deben pasar a través de métodos cualitativos de interpretación y recogida de sus ideas y razonamientos (redes sistémicas o network, determinación de niveles de resolución, clasificación de observaciones o datos en categorías). Posteriormente, estos resultados ordenados en frecuencias o en rangos de categorías serán tratados de forma cuantitativa. La medición cuantitativa ha sido de tipo ordinal, donde cada observación ha sido colocada en una posición relativa con respecto a todas las demás, creando diferentes niveles de corrección o de complejidad.

En la actualidad, dentro de la investigación en didáctica, se debe dar por zanjado el debate que enfrenta a los paradigmas experimental-cuantitativo e interpretativo-cualitativo (Keevs, 1998). A partir de los años 80 y gracias a la Psicología del aprendizaje, que requiere de métodos más cualitativos para profundizar en la estructura cognitiva de los estudiantes, se favorece la entrada de enfoques metodológicos que

mezclan ambos tipos de procedimientos. Cook y Reichardt (1986) plantean de forma muy clara la importancia de utilizar ambos métodos sin tener que escoger entre el paradigma cuantitativo y el cualitativo:

“La investigación evaluativa tiene por lo común propósitos múltiples que han de ser atendidos bajo diferentes condiciones que, a menudo, exigen variedad de métodos. Empleados en conjunto y con el mismo propósito, los dos tipos de métodos pueden vigorizarse mutuamente para brindarnos percepciones que ninguno de los dos podría conseguir por separado. Ya que los métodos cuantitativos y cualitativos tienen con frecuencia sesgos diferentes, será posible emplear a cada uno para someter al otro a comprobación y aprender de él” (Cook y Reichardt, 1986, p. 43)

Esta misma discusión sobre las metodologías aplicadas a la investigación científica también surge en otras disciplinas. De hecho, una de las grandes preguntas dentro de la epistemología es: ¿Hay sólo un método que identifique la creación científica? Fourez (1998) recoge los resultados de los estudios epistemológicos de los últimos años que *“se han interesado en examinar de cerca cómo funcionan los laboratorios para poder describir, mediante un análisis epistemológico-socio-antropológico, el modo concreto del proceder de las investigaciones”*. Sus conclusiones son que los científicos frente a problemas utilizan diversos métodos y modos de abordarlos, y que *“hay que evitar creer que la práctica de los científicos sigue fielmente lo que ellos dicen que hacen”* (p.60).

Pretender que la Ciencia se caracteriza por un método científico y que éste es universal es mantener una visión ahistórica y universal de la misma. Por una parte, los procesos de razonamiento, observacionales y experimentales implicados en la Ciencia evolucionan históricamente; y, por otra, los científicos transforman sus métodos y normas cuando aprenden, en la práctica, lo que se gana con ese cambio. (Chalmers, 1992)

Tras esta reflexión teórica, y debido a las características propias que definen la investigación en Didáctica, **hemos tomado la opción de utilizar ambas metodologías de trabajo de acuerdo con las necesidades surgidas en el diseño de la investigación.**

Dejando a un lado la discusión sobre el paradigma cuantitativo y cualitativo, debemos enmarcar esta investigación educativa dentro de **dos tipos de investigación diferente, la evaluativa y la comparativa** (Fox, 1987).

Una parte de nuestro trabajo es de naturaleza evaluativa porque pretende valorar, gracias a un criterio de medida, la evolución de la situación de investigación. En concreto, la evolución en el tiempo del aprendizaje que los estudiantes del GEXP realizan de la MRPI, y la permanencia en el tiempo del cambio conceptual y de procedimiento que la misma genera (estudio longitudinal). El criterio de medida que nos permite hacer el juicio de valor se ha establecido a priori y consiste en la definición de niveles de realización de las diferentes variables que se miden, y que van de menor a mayor grado de corrección o complejidad.

Otra parte es comparativa porque queremos obtener datos que nos permitan decidir qué situación, entre dos dadas, es superior; por supuesto, en función de ciertos criterios predeterminados. En concreto, comparamos los resultados obtenidos con una metodología de enseñanza tradicional y los obtenidos con la MRPI. Para ello se deben crear las condiciones lo más idénticas posibles midiendo las variables dependientes al inicio y al final, determinando estadísticamente si hay diferencias entre los grupos, y si la variable independiente ha tenido algún efecto significativo.

Por último, también hemos utilizado una aproximación descriptiva al analizar los datos obtenidos de una encuesta sobre la actitud que manifiestan los estudiantes del GEXP hacia la metodología de trabajo en el aula.

4.4.2. INSTRUMENTOS DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN

En este apartado se van a describir y recoger, siguiendo los momentos de recogida de información y las hipótesis propuestas, los distintos instrumentos que se utilizaron en la recogida de datos para el contraste de las mismas. Los estudiantes que participaron en esta investigación realizaron un gran número de pruebas para cada una de las hipótesis. Algunas fueron tomadas de otros autores, y se especifica el por qué fueron elegidas y si sufrieron algún tipo de modificación, y otras fueron elaboradas de forma expresa.

A. PRUEBAS PARA EL CONTRASTE DE LA HIPÓTESIS INICIAL

Las pruebas iniciales de recogida de datos han consistido mayoritariamente en ítems cerrados y tomados de otros autores que ya las habían validado. Las razones para su elección fue el hecho de que los estudiantes, antes de iniciar un proceso de enseñanza-aprendizaje, tienen más facilidad de contestar a cuestiones donde los discriminantes ya están preseleccionados; y porque los resultados que se obtengan pueden ser comparados con los de otras investigaciones. Las pruebas se diseñaron para determinar el punto de partida respecto a contenidos de tipo conceptual, de procedimientos y de actitudes de ambos grupos de investigación.

A.1. Pruebas sobre conceptos

Los contenidos conceptuales que se pretenden estudiar en este trabajo son de dos tipos: relacionados con la Genética y herencia humana, y con la Naturaleza de la Ciencia.

□ Prueba inicial de conceptos de Genética y herencia humana

Elaboración. Se han seleccionando en la bibliografía cuestiones ya validadas por otros métodos de indagación, como las entrevistas; y, por lo tanto, se corresponden con el catálogo de concepciones o ideas alternativas de los alumnos que se contemplan

en la unidad didáctica (Apartado 5.3.2). Los estudios de los que fueron tomadas las cuestiones son:

- ✓ *Banet y Ayuso (1995)*, las preguntas de la 2 a la 8
- ✓ *Woods-Robinson y otros (1998)*, la pregunta 1

La única **modificación** ha sido incluir en la pregunta 1 y 2 otras opciones de elección (D - no estoy seguro y NS - no lo sé).

Las preguntas seleccionadas recogen la siguiente **gama de concepciones** sobre:

- La localización de la información hereditaria – preguntas 1, 2, 3 y 4
- La herencia de padres a hijos – preguntas 6 y 7
- La herencia de caracteres de caracteres adquiridos – preguntas 5 y 8

Algunas investigaciones (Ayuso y otros, 1996; Browning y Lehman, 1988) han detectado las dificultades que encuentran los alumnos a la hora de realizar problemas de Genética y cómo influyen en sus concepciones. En esta prueba inicial, no se va a plantear ningún problema clásico de genética porque los alumnos jamás se han enfrentado a ellos y detectaría falta de conocimiento, difícilmente concepciones alternativas. Tampoco se van a plantear cuestiones sobre conocimiento relativo a diferenciar entre cromosomas y cromátidas; genes y alelos; o mitosis y meiosis, porque entran dentro del ámbito del conocimiento escolar y no del conocimiento intuitivo, experiencial, propio de las preconcepciones del alumnado.

A continuación se recoge la prueba inicial de conceptos de Genética y herencia humana

NOMBRE:
EDAD **SEXO:** hombre/mujer **CURSO** **NIVEL**
CENTRO ESCOLAR

1. En el siguiente cuadro tienes recogidos diferentes seres vivos. . Responde **SÍ, No, D** (no estoy seguro), **NS** (no lo sé) o con alguna indicación, a las cuestiones que se plantean.

	¿Tienen células ?	¿Tienen cromosomas?	¿Contienen información genética?
Árboles			
Mamíferos			
Helechos			
Virus			
Hongos			
Bacterias			
Insectos			

2. En el siguiente cuadro tienes recogidas diferentes células humanas. Responde **SÍ, No, D** (no estoy seguro), **NS** (no lo sé) a las cuestiones que se plantean.

	¿Llevan información hereditaria?	¿Tienen cromosomas?	¿Tienen genes?	¿Tienen cromosomas sexuales?
Célula muscular				
Glóbulo blanco				
Espermatozoide				
Óvulo				
Neurona				

3. Las células humanas son muy diferentes entre sí. ¿A qué se debe esta diversidad?.
- Las células son distintas porque llevan distinta información hereditaria.
 - Aunque las células sean distintas, todas llevan la misma información hereditaria.
 - La información hereditaria sólo la llevan las células reproductoras (espermatozoides y óvulos).
 - No estoy seguro de la respuesta.

He elegido una de esas respuestas basándome en estas justificaciones:

- Aunque todas las células llevan la misma información hereditaria, sólo una parte se utiliza en cada clase de células.
- Las células reproductoras no llevan información hereditaria, sus diferencias se deben a las funciones que desempeñan en el organismo.
- La célula recibe información hereditaria según la función que va a desempeñar.
- Otra justificación tuya:

4. Cuando una célula muscular se divide, ¿qué puede ocurrir?:

- Siempre produce otra célula muscular.
- Casi siempre produce una célula muscular, pero si el organismo lo necesita, puede dar otra distinta, aunque esto es raro.
- Unas veces produce una célula muscular, pero otras veces otras células distintas.
- No estoy seguro de la respuesta.

He elegido una de esas respuestas basándome en estas justificaciones:

- Esto es debido a la función que desempeña
- Esto es debido a la información hereditaria.
- Esto es debido a las necesidades del organismo.
- Depende del estado de salud del organismo, que éste funcione correctamente o no.

5) He aquí algunas características humanas que determinan y distinguen a un ser humano. Clasifícalas según si estos caracteres los poseemos porque:

- 1) Son caracteres hereditarios.
- 2) Son caracteres hereditarios fundamentalmente, aunque también puede influir algo el medio ambiente.
- 3) No estoy seguro de la respuesta.
- 4) Fundamentalmente dependen del medio ambiente, aunque también influye algo la herencia.
- 5) Dependen sólo del medio ambiente.

Caracteres	1	2	3	4	5
Color de ojos					
Color de piel					
Peso					
Calvicie					

6) Una pareja tiene dos hijos de 14 y 16 años de edad, ambos varones. El mayor se parece mucho al padre y el menor menos; dicen que se parece más a la madre. ¿Cuál de las siguientes causas puede explicar esto? :

- a) El mayor lleva más información hereditaria del padre que de la madre, por lo que se parece más a su padre.
- b) El menor lleva más información hereditaria de la madre que del padre, por eso se parece más a su madre.
- c) Los dos llevan la misma información hereditaria del padre que de la madre, pero en un caso se utiliza o manifiesta la del padre y en el otro la de la madre.
- d) Si el primero se parece al padre, el segundo se parecerá a la madre.
- e) No estoy seguro de la causa.

7) Una pareja en la que el color de los ojos del hombre y la mujer son marrones, ¿puede tener un bebé de ojos azules?.

- a) Es prácticamente imposible.
- b) Ocurre a veces.
- c) Ocurre muchas veces
- d) No estoy seguro de la respuesta.

He elegido una de esas respuestas basándome en estas justificaciones:

- 1) Aunque la información hereditaria de los padres es de ojos marrones, puede tener lugar alguna mutación que sea responsable de que el niño sea de ojos azules.
- 2) Los padres son de ojos marrones, pero también pueden llevar información hereditaria de ojos azules.
- 3) Aunque los padres sólo llevan información hereditaria del color de ojos marrón, puede haber algún antepasado en la familia (abuelos, bisabuelos...) que tuviera ojos azules.
- 4) La información de los padres es la correspondiente a ojos marrones, por eso el bebé debe tener ojos marrones.

8) Un grupo de personas de piel blanca colonizó una región de África del Sur. Al ser el clima distinto al de su lugar de origen, poco a poco el color de su piel fue haciéndose cada vez más moreno. Una vez establecidos en aquella zona, realizaron matrimonios entre ellos. ¿Cómo crees que será el color de piel, al nacer, de la vigésima generación descendiente de los primeros colonos?:

- a) En el momento del nacimiento, el bebé de los individuos descendientes tiene el color de la piel más moreno que el de los primeros colonos.
- b) En el momento del nacimiento, el bebé de los individuos descendientes tiene el mismo color de la piel que de los colonos primeros.
- c) Entre los descendientes puede haber de color de piel blanca, negra o morena.
- d) No estoy seguro de la respuesta.

He elegido una de esas respuestas basándome en estas justificaciones:

- 1) El nuevo clima no introducirá cambios en la información hereditaria sobre el color de la piel.
- 2) El nuevo clima sí introducirá cambios en la información hereditaria sobre el color de la piel.
- 3) Después de tantas generaciones, se ha ido produciendo un cambio en la información hereditaria, hasta llegar a la situación actual.
- 4) Otras posibilidades (especificálas):

□ **Prueba inicial de conceptos sobre la Naturaleza de la Ciencia**

Elaboración. Se han seleccionado y extraído las cuestiones de diversos trabajos que han indagado sobre este tema; y, por lo tanto, se corresponden con el catálogo de ideas previas de los estudiantes (Cuadro 3.3):

- ✓ *Durant y otros (1989)*, preguntas 1, 2 y 7
- ✓ *Solomon y otros (1996)*, preguntas 3, 4, 5, 6 y 8
- ✓ *Borreguero y Rivas (1995)*, preguntas 9, 10 y 11. Las preguntas de estos autores se elaboran usando como base los cuestionarios VOSTS (Views on Science-Technology and Society; Aikenhead y otros 1987; Ryan, 1987; Aikenhead y Ryan, 1992) y se encuentran dentro de un cuestionario propio que denominan Alfacien. En cuanto a la pregunta 11, su selección se ha hecho teniendo en cuenta, también, los resultados del trabajo de Rennie y Jarvis (1995). En este trabajo, que utiliza como elemento de indagación las escalas de tipo Likert, los estudiantes identifican la tecnología con los elementos que son recogidos en este ítem.
- ✓ *Lock y Miles (1993)*, VOSTS, pregunta 12

La principal **modificación**, que se ha realizado sobre estas cuestiones, ha sido el unificar el número de respuestas en cada ítem a cuatro. En algunas preguntas se ha añadido una respuesta extra del tipo ‘No lo sé, o Unas veces sí y otras no’; y, en otras, se han reunido varias opciones que coincidían en el tipo de solución dada.

Las preguntas seleccionadas se refieren a la siguiente **gama de ideas**:

- sobre cómo se trabaja en Ciencia - preguntas 1,2, 3 y 4
- sobre lo que son las teorías - preguntas 5, 6, 7, 8 y 9
- sobre los científicos, pregunta 10
- sobre las relaciones C-T-S - preguntas 11 y 12

A continuación se recoge la prueba inicial de conceptos sobre la Naturaleza de la Ciencia:

NOMBRE
EDAD SEXO: hombre/mujer CURSO NIVEL
CENTRO ESCOLAR.....

Contesta a las siguientes preguntas:

1. ¿Qué significa estudiar algo científicamente?. Se refiere a:
 - a) Construcción de teorías.
 - b) Método experimental.
 - c) Otras respuestas.
 - d) No lo sé

2. Supón que se sospecha que una droga, usada para el tratamiento de la alta presión, no funciona bien. Abajo aparecen tres métodos que podrían utilizar los científicos para investigar el problema. ¿Cuál de ellos crees que podría ser usado con mayor probabilidad?.
 - a) Hablar con los pacientes para tener su opinión.
 - b) Usar sus conocimientos de medicina para decidir la bondad de la droga.
 - c) Dar la droga a algunos pacientes, pero no a otros. Y entonces, comparar lo que ocurre en cada grupo.
 - d) No lo sé

3. ¿Por qué crees que los científicos hacen experimentos?
 - a) Para realizar nuevos descubrimientos.
 - b) Para poner a prueba sus explicaciones sobre cómo ocurren las cosas.
 - c) Para crear algo que podría ayudar a la gente.
 - d) No lo sé

4. ¿Piensas que los científicos saben lo que va a ocurrir antes de hacer un experimento?
 - a) Sí
 - b) No
 - c) No lo sé
 - d) Unas veces sí y otras no.

5. ¿Qué es una teoría científica?. Es:
 - a) Una idea sobre algo que ocurrirá.
 - b) Una explicación sobre cómo ocurren las cosas.
 - c) Un hecho que ha sido probado con muchos experimentos.
 - d) No lo sé.

6. Los científicos piensan que toda la materia (sólidos, gases y líquidos) está formada por partículas minúsculas. Esto es porque:
 - a) Los científicos pueden ver las partículas por sus microscopios.
 - b) Los científicos pueden probar con experimentos que las partículas existen
 - c) Los científicos pueden explicar lo que ocurre imaginando cómo las partículas se mueven.
 - d) No lo sé.

7. Cuando los científicos hablan de la teoría de la evolución de Darwin se refieren a:
- Un presentimiento o una idea.
 - Una explicación bien establecida.
 - Un hecho probado.
 - No lo sé.
8. Muchas de las viejas teorías científicas han sido reemplazadas por otras nuevas. Esto es porque:
- Ahora tenemos mejor tecnología.
 - Se disponen de más evidencias.
 - Las personas, al vivir en diferentes tiempos, tienen una forma diferente de explicarse.
 - No lo sé
9. Cuando los científicos no están de acuerdo es porque:
- No se han descubierto aún todos los hechos.
 - Cada científico conoce hechos diferentes o trabaja con teorías científicas diferentes.
 - Debido a diferentes opiniones personales y valores o a la influencia de gobiernos, centros de investigación, etc.
 - No lo sé.
10. Los científicos proyectan características como honestidad, objetividad, etc. más que los demás en su trabajo.
- Proyectan más estas características para que no ocurran desastres.
 - Las proyectan más por la naturaleza de su trabajo.
 - Porque han sido influidos por compañías y gobiernos.
 - Todo el mundo debe tener estas características.
11. La tecnología es:
- Algo parecido a la ciencia o la aplicación de la ciencia.
 - Nuevos instrumentos, ordenadores, etc.
 - Inventar, diseñar cosas...
 - Un modo de resolver problemas prácticos.
12. La biotecnología es:
- Combinar la biología y la tecnología.
 - Usar organismos vivos para crear productos que pueden ser alimentos, antibióticos, etc.
 - Manipular el ADN de los seres vivos para obtener productos que pueden ser alimentos, antibióticos, etc.
 - No lo sé.

A.2. Prueba sobre procedimientos

Con esta prueba se pretende contrastar que, ni el GEXP ni el GCON, disponen de recursos que les permita elaborar una respuesta a las situaciones problemáticas planteadas.

El tema elegido está relacionado con la salud porque es algo cercano al alumnado y sus conocimientos les pueden permitir abordar, en principio, el problema. Otro tipo de contenidos podrían provocar una desconexión entre la actividad y el nivel de conocimientos de los alumnos y, un abandono más temprano del mismo.

Las producciones realizadas por los estudiantes se analizarán usando como base los distintos etapas de la metodología de resolución de problemas como una investigación.

La realización de esta prueba, además, permite poner de manifiesto la necesidad de familiarizar a los estudiantes en esta metodología realizando un trabajo previo de aprendizaje.

PROBLEMA:

Los laboratorios LAB están creando nuevos fármacos para el tratamiento de enfermedades. ¿Cómo pueden estar seguros de su efectividad?

A.3. Pruebas sobre actitudes

Al hablar sobre actitud respecto a la Ciencia nos estamos refiriendo a una amplia gama de aspectos: la propia Ciencia en un sentido amplio; el estudio de la Ciencia en el aula; las relaciones de la Ciencia y de la Tecnología con la Sociedad. Teniendo en cuenta nuestras intenciones, dentro de las actitudes relativas a C-T-S, se han incluido cuestiones sobre el uso de la ingeniería genética.

Las pruebas iniciales consistieron en dos cuestionarios; uno que indaga aspectos relativos a actitudes científicas y hacia la Ciencia; y otro que se centra en las actitudes hacia las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad.

□ **Prueba inicial de actitudes relacionadas con la Ciencia**

El primer cuestionario es el *Protocolo de Actitudes relacionadas con la Ciencia* (PAC), diseñado y aplicado por *Vazquez y Manassero (1997)*. Los autores diseñan este instrumento, una encuesta tipo Likert, basándose en los resultados obtenidos en otras investigaciones sobre estas actitudes en los estudiantes.

Las **modificaciones** realizadas al cuestionario son mínimas. Una de ellas afecta al tipo de opciones de respuesta que se le da al alumnado. Se han sustituido las posibles respuestas por números. Se ha considerado que la terminología AT, A, I, D, DT (que identificaban posturas de acuerdo total, acuerdo, indecisión, desacuerdo y desacuerdo total), era poco clara para el alumnado. Se ha optado por una escala numérica que vaya desde la postura del desacuerdo total (1) al acuerdo total (5); y, también, se ha introducido un número 0. La inclusión de una nueva categoría de respuesta obedece a dos razones. La primera, es introducir la respuesta 'No lo sé' en aquellas cuestiones sobre las que los estudiantes no puedan mostrar su mayor o menor nivel de acuerdo debido a desconocimiento de la respuesta. La segunda razón, es presentar un número par de posibles respuestas. En este tipo de cuestionarios, cuando se presenta un número impar de valores, la persona que responde a la encuesta tiende a elegir el valor central en los casos de duda o, simplemente, cuando no quiere pensar un poco más sobre la cuestión planteada.

Otra modificación ha sido una cuestión de ordenación. Algunas frases que tenían un mismo matiz y que se encontraban muy cercanas en el cuestionario original se han distanciado. Por último, y de acuerdo con las categorías de actitudes que han sido definidas por nosotros para este trabajo, se ha cambiado el sentido y la redacción de otras para buscar un equilibrio en el número de ellas.

El cuestionario aborda la siguiente **gama de actitudes relativas a la Ciencia**:

Actitudes científicas o sobre la Ciencia:

- Actitudes **favorables**, la Ciencia vista como algo útil, pragmática
Frasas: 1, 3, 5, 12, 19, 24, 31, 32 y 40
- Actitudes **desfavorables**, la Ciencia vista como un peligro o sin utilidad
Frasas 6, 8, 13, 20, 34, 36, 38, 43 y 48
- Actitudes sobre **la visión de las características de la Ciencia**
Frasas 9, 11, 14, 16, 44, 45, 46 y 47

Actitudes hacia la Ciencia:

- Actitudes **favorables** hacia la Ciencia y su estudio, interés y motivación
Frasas 7, 17, 22, 27, 29, 33, 35, 39, 41, 42, 49 y 50
- Actitudes **desfavorables** hacia la Ciencia y su estudio, falta de motivación
Frasas 2, 4, 10, 15, 18, 21, 23, 25, 26,28, 30 y 37

A continuación se recoge la prueba inicial de actitudes relacionadas con la Ciencia:

NOMBRE
EDAD **SEXO:** hombre/mujer **CURSO** **NIVEL**
CENTRO ESCOLAR.....

Este instrumento está diseñado para valorar tus actitudes hacia la ciencia. No existen respuestas correctas o incorrectas sino que sólo se desea conocer tu opinión sincera. Por favor, lee atentamente cada frase y señala con un círculo el número que, según las siguientes categorías, se corresponde con tus propios sentimientos sobre la misma:

- 0 = no lo sé
- 1 = totalmente en desacuerdo
- 2 = en desacuerdo
- 3 = no estoy seguro/a
- 4 = de acuerdo
- 5 = totalmente de acuerdo

Responde rodeando con un círculo la opción elegida para cada cuestión.

1. Tenemos un mundo mejor para vivir gracias a la ciencia.	0	1	2	3	4	5
2. A nadie le gusta la ciencia.	0	1	2	3	4	5
3. La ciencia ayuda a ahorrar tiempo y esfuerzo.	0	1	2	3	4	5
4. La ciencia es muy difícil de aprender.	0	1	2	3	4	5
5. Las enfermedades pueden curarse gracias a la ciencia.	0	1	2	3	4	5
6. Cuanto mayor conocimiento científico existe, más preocupaciones hay en nuestro mundo.	0	1	2	3	4	5
7. La ciencia es entretenida.	0	1	2	3	4	5
8. La ciencia no ayuda por igual a todos los habitantes del planeta.	0	1	2	3	4	5
9. La ciencia es sensata.	0	1	2	3	4	5
10. La gente sería mejor estudiante si no tuviera ciencia.	0	1	2	3	4	5
11. La curiosidad es lo esencial de la ciencia.	0	1	2	3	4	5
12. La gente vive más saludablemente gracias a la ciencia.	0	1	2	3	4	5
13. La ciencia no puede resolver los problemas energéticos.	0	1	2	3	4	5
14. Para destacar en ciencia hay que ser muy inteligente.	0	1	2	3	4	5
15. Los alumnos estudian ciencia porque se les obliga.	0	1	2	3	4	5
16. La ciencia es el camino para conocer el mundo en el que vivimos.	0	1	2	3	4	5
17. La ciencia estimula la curiosidad.	0	1	2	3	4	5
18. La peor materia escolar es la ciencia.	0	1	2	3	4	5
19. La ciencia es algo realmente valioso.	0	1	2	3	4	5
20. Las investigaciones sobre el Universo y los viajes espaciales suponen más gasto que los beneficios que aportan	0	1	2	3	4	5
21. En las clases de ciencia no hay actividad.	0	1	2	3	4	5
22. No hay nada mejor que trabajar en ciencia.	0	1	2	3	4	5
23. La ciencia debería ser eliminada de las escuelas.	0	1	2	3	4	5
24. La gente tiene una vida más larga gracias a la ciencia.	0	1	2	3	4	5
25. Los alumnos en la clase de ciencias son como robots.	0	1	2	3	4	5
26. La ciencia desanima la curiosidad.	0	1	2	3	4	5
27. La ciencia nos ayuda a pensar mejor.	0	1	2	3	4	5
28. Estudiar ciencia es desagradable.	0	1	2	3	4	5
29. Aprender nuevas cosas de ciencias me hace sentir bien.	0	1	2	3	4	5

30. La ciencia no tiene mucho sentido para gente que no sean científicos.	0	1	2	3	4	5
31. La ciencia nos ayuda a evitar catástrofes.	0	1	2	3	4	5
32. Un futuro mejor depende de la ciencia.	0	1	2	3	4	5
33. La ciencia nos enseña a prepararnos para el futuro.	0	1	2	3	4	5
34. La ciencia es un riesgo para la salud.	0	1	2	3	4	5
35. La vida sería monótona sin ciencia.	0	1	2	3	4	5
36. No deberíamos haber enviado gente a la Luna.	0	1	2	3	4	5
37. La ciencia es completamente aburrida.	0	1	2	3	4	5
38. La ciencia es una excusa para jugar.	0	1	2	3	4	5
39. Estudiar ciencia es fácil.	0	1	2	3	4	5
40. La ciencia es extremadamente útil.	0	1	2	3	4	5
41. La ciencia es necesaria para todos.	0	1	2	3	4	5
42. Estudiando ciencia se satisface la curiosidad.	0	1	2	3	4	5
43. La ciencia no tiene utilidad.	0	1	2	3	4	5
44. La ciencia nos enseña a aceptar muchas opiniones diferentes.	0	1	2	3	4	5
45. La ciencia nos protege de la superstición.	0	1	2	3	4	5
46. Apremiar las ideas nuevas es valioso para la ciencia.	0	1	2	3	4	5
47. Una vez aceptado, el conocimiento científico no puede ser cambiado.	0	1	2	3	4	5
48. La ciencia es una superstición.	0	1	2	3	4	5
49. La ciencia parece ser muy interesante.	0	1	2	3	4	5
50. Estudiar ciencia sirve a la gente, incluso cuando deja la escuela.	0	1	2	3	4	5

□ **Prueba inicial de actitudes respecto a las relaciones C-T-S**

El segundo cuestionario, dentro de las pruebas iniciales de diagnóstico de actitudes, se refiere a la visión y postura que adoptan los estudiantes sobre temas C-T-S, principalmente en temas como la responsabilidad frente a los efectos de un descubrimiento; la financiación de la investigación científica; el papel de la ciencia y la tecnología en la resolución de problemas sociales; el control de la investigación científica; el uso de la ingeniería genética.

La **elaboración** del cuestionario se ha realizado seleccionando y extrayendo las cuestiones de diversos trabajos que han indagado sobre este tema:

- ✓ *VOSTS (Views on Science, Technology and Society), Fleming, 1987*, preguntas 1, 2, 3, 5, 6 y 7.
- ✓ *Borreguero y Rivas (1995)*, en su trabajo además de usar ítems procedentes del VOSTS, que también se recogen aquí, elaboran nuevos ítems que denominan cuestionario Alfacien, preguntas 4 y 8.
- ✓ *Lock y Miles (1993)*. Tomando como referencia una encuesta tipo Likert, que utilizan estos autores para detectar actitudes sobre el uso de la ingeniería genética, se ha elaborado la pregunta 9. En la elaboración de las respuestas de este ítem se han tenido en cuenta todos los aspectos recogidos en este trabajo: la ingeniería genética en microbios, plantas y animales; la ingeniería genética aplicada para la obtención de productos de consumo humano a partir de microbios, plantas y animales modificados; la ingeniería genética aplicada a productos farmacológicos de uso humano o animal a partir de microbios o animales modificados.

Las principales **modificaciones** han consistido en unificar el número de posibles respuestas de cada ítem. Por esta razón algunas respuestas, que presentaban coincidencias en cuanto al tipo de solución dada, se han transformado en una única opción. En algunas cuestiones se ha variado un poco la redacción, o se han introducido algunos datos, para hacerlas más comprensibles al alumnado al que van dirigidas. Otra modificación, ya incluida por Borreguero y Rivas (1995), es sustituir Canadá por

España en aquellas cuestiones que planteaban situaciones ejemplificadas en un determinado contexto.

Como ya se ha indicado, la pregunta 9 se ha elaborado de forma específica para este cuestionario. Este ítem abarca unos contenidos muy concretos de la investigación científica con grandes repercusiones en diversos ámbitos sociales, económicos, etc. y que, a su vez, forman parte de la unidad didáctica diseñada dentro de esta investigación.

Las preguntas de este cuestionario recogen la siguiente **gama de aspectos relativos a las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad**:

- El papel del científico dentro de la sociedad - preguntas 1 y 2
- La influencia de la Ciencia y la Tecnología en la Sociedad - preguntas 3 y 4
- La finalidad de la Ciencia y el gasto en investigación - preguntas 5, 6 y 7
- Los límites de la Ciencia y la Tecnología - preguntas 8 y 9

A continuación se recoge la prueba inicial sobre actitudes relativas a las relaciones C-T-S:

NOMBRE
EDAD **SEXO: hombre/mujer** **CURSO** **NIVEL**
CENTRO ESCOLAR

Lee atentamente estas preguntas y selecciona la respuesta con la que estés más de acuerdo:

1. Los científicos e ingenieros deberían decidir en la distribución mundial de los alimentos porque:
 - a) Los científicos tienen el conocimiento, tienen una mejor comprensión del tema y toman mejores decisiones
 - b) El gobierno debe decidir, pero los científicos aconsejar.
 - c) El público debe decidir, pero los científicos aconsejar.
 - d) La decisión debería ser compartida entre los científicos y los ciudadanos.

2. Los científicos deben ser responsables del daño que produzcan sus descubrimientos porque:
 - a) Es parte del trabajo científico y deben ser conscientes de los efectos posibles; y, por lo tanto, deben hacer buen uso de sus descubrimientos.
 - b) Las personas que los usan son responsables.
 - c) La responsabilidad debe ser compartida.
 - d) Los resultados no se pueden predecir y, por tanto, los científicos no son responsables.

3. A pesar de que los avances en Ciencia y Tecnología mejoran las condiciones de vida en el mundo entero, Ciencia y Tecnología ofrecen poca ayuda en la resolución de problemas como la pobreza, el crimen, el desempleo, superpoblación y el peligro de la guerra nuclear.
 - a) Estos problemas sociales son el precio que debemos pagar por los avances en Ciencia y Tecnología. La Ciencia y la Tecnología resuelven muchos problemas sociales, pero también los causan o empeoran.
 - b) La cuestión no está en que la Ciencia ayude, sino en que la gente use la Ciencia y la Tecnología prudentemente.
 - c) Ciencia y tecnología pueden ayudar a resolver algunos problemas sociales pero no otros. Es difícil que se resuelvan estos problemas sino es aumentando el nivel de vida.
 - d) Ciencia y tecnología podrían resolver estos problemas mientras se tenga el apoyo adecuado (dinero y libertad de investigación).

4. Los medios de comunicación, frecuentemente, anuncian descubrimientos científicos que constantemente crean nuevas controversias. El ciudadano común:
 - a) Cree que obtendrá algunos beneficios y que la Ciencia y la Tecnología son sólo productos de consumo.
 - b) Le gustaría entenderlo mejor.
 - c) Piensa que la Ciencia y la Tecnología son difíciles de entender; por ello, se siente inseguro y en peligro; y tiene nostalgia de tiempos pasados, cuando se sintió más cómodo.
 - d) Piensa que el progreso científico y tecnológico no ha sido satisfactorio.

5. El gobierno español debería dar dinero a la investigación científica, sólo si los científicos pueden demostrar que sus investigaciones mejorarían la calidad de vida actual de España.
 - a) El dinero sólo debería gastarse en investigaciones relacionadas directamente con fines beneficiosos como cuidar el medio ambiente, la salud o la agricultura.
 - b) Incluso pensando que la ciencia intenta mejorar la calidad de vida, a menudo, es imposible saber si la investigación será beneficiosa o no. Por eso se debe invertir dinero en la investigación científica.

- c) El gobierno debería costear la investigación científica porque siempre tiene un impacto, directo o indirecto en la sociedad.
 - d) El gobierno debería costear la investigación científica por ninguna otra razón que no sea investigar el funcionamiento de nuestro mundo.
6. El gobierno español debería aportar dinero a la investigación científica para explorar lo desconocido de la Naturaleza y el Universo.
- a) El gobierno debería dar dinero a los científicos porque, comprendiendo nuestro mundo mejor, los científicos lo pueden transformar en un lugar mejor para vivir usando los recursos naturales para nuestro beneficio.
 - b) El gobierno debería dar dinero a las investigaciones científicas para ayudarnos a entendernos mejor a nosotros mismos y a nuestro mundo, pero corresponde a otros determinar si este conocimiento se usa de forma correcta o no.
 - c) El gobierno debería costear las investigaciones científicas por la única razón de investigar el funcionamiento del mundo en el que vivimos.
 - d) El gobierno debería costear las investigaciones científicas, para que España no se retrase y dependa de otros países.
7. Sería mejor invertir en investigación tecnológica que en científica.
- a) Sólo invertir en investigación tecnológica, es más productiva que la investigación científica.
 - b) Sólo invertir en investigación científica porque se necesita el conocimiento científico, y la tecnología ha empeorado la calidad de vida.
 - c) En ambas, no hay diferencias, cada una aporta sus ventajas a la humanidad; y, además, interactúan y se complementan mutuamente.
 - d) En ninguna.
8. La investigación científica y tecnológica debe ser totalmente libre.
- a) Los científicos no son responsables de los resultados de la investigación y deberían investigar sin pensar en las consecuencias.
 - b) Sería imposible establecer reglas regulando las normas de investigación. El criterio del científico será el mejor posible.
 - c) Es necesario formar a los ciudadanos de los riesgos potenciales de las investigaciones para que puedan controlar su posible aplicación.
 - d) Dejar la decisión en manos de los políticos no es una buena solución, porque es sospechoso cómo pueden usar los avances científico y tecnológicos.
9. El uso de la ingeniería genética para modificar la información genética de los seres vivos (microorganismos, plantas, animales), sólo es admisible cuando:
- a) Se modifican genéticamente seres vivos para que sean más resistentes a las condiciones ambientales; o para obtener mejores variedades de plantas de cultivo o de animales de granja.
 - b) Se modifican genéticamente seres vivos para obtener vinos y cervezas de forma más rápida; frutas que tardan en pudrirse o con mejor sabor; carnes de mejor calidad; leche con poca grasa; etc.
 - c) Se modifican genéticamente seres vivos para obtener medicamentos como los antibióticos; vacunas; hormonas como la insulina.
 - d) En ningún caso es admisible la manipulación genética de los seres vivos. La ingeniería genética va en contra de las leyes de la naturaleza y puede provocar graves peligros como la creación de plagas, nuevas enfermedades, etc.

B. PRUEBAS PARA EL CONTRASTE DE LAS HIPÓTESIS DE INTERVENCIÓN EN EL AULA

B.1. Hipótesis 1 de intervención en el aula: aprendizaje de la Metodología de Resolución de Problemas como una Investigación

Para investigar la evolución en el aprendizaje de la MRPI, se ha llevado a cabo una valoración de cada uno de los problemas abiertos que resolvieron los estudiantes del GEXP para cada una de las variables metodológicas (VM) y la de verbalización (VV). La realización de estas variables se ha clasificado en cuatro niveles, desde el nivel 0 de no realización, hasta el nivel 3 de máxima corrección. Para la recogida de estos datos se han utilizado plantillas individuales como la siguiente:

ALUMNO/A N°													
NIVEL 4º E.S.O		I.E.S. EL CARRASCAL								CURSO 1999/2000			
VARIABLES	PROBLEMAS												
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂
METODOLOGICAS													
VM1: Análisis cualitativo
VM2: Emisión de hipótesis
VM3: Diseño de estrategias
VM4: Resolución
VM5: Análisis de resultados
VERBALIZACIÓN

La resolución y valoración de cada problema por niveles, en cada una de las variables metodológicas, se encuentra en el Anexo II.

B.2. Hipótesis 2 de intervención en el aula: cambio conceptual

En los problemas abiertos, que debían resolver los estudiantes del GEXP, los contenidos de Genética y herencia humana se enmarcan dentro de tres esquemas conceptuales o variables de contenido. Estos esquemas se trabajan a lo largo de los 12 problemas; siendo identificados en cada problema 2 o 3 de ellos. Se han definido cuatro niveles de complejidad de uso de los esquemas conceptuales, desde el nivel 0 de no utilización, hasta el nivel 3 de uso del esquema conceptual más próximo al defendido actualmente por la Ciencia. La concreción de cada uno de estos niveles están recogidos en el Capítulo 5 donde se describe la elaboración de la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?” (Cuadro 5.13).

Para la recogida de estos datos se han utilizado plantillas individuales como la siguiente, en la que los espacios en blanco se refieren a los esquemas conceptuales que se van a valorar en cada problema.

ALUMNO/A N°													
CURSO 4º ESO IES EL CARRASCAL, CURSO 1999/2000													
VARIABLES DE CONTENIDO	PROBLEMAS												
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂
EC1: Localización inform. hereditaria	X	X	.....	.....	X	.....	.....	X	X	X	X	X	.....
EC2: Herencia de padres a hijos	X	.....	.....	.....	.....	X	.....	.....	X	X	X	X	.....
EC3: Herencia de caract. adquiridos	X	X	X	X	X	X	.....	X	.....	.....	X	X	X

B.3. Hipótesis 3 de intervención en el aula: influencia del estilo cognitivo Dependencia-Independencia de Campo (DIC)

Para poder realizar el contraste de esta hipótesis debemos conocer el estilo cognitivo DIC de cada sujeto del GEXP. Se ha utilizado el **Test de Figuras Enmascaradas (GEFT)** (Witkin y otros, 1987) diseñado para colectivos, siendo una adaptación del Test EFT.

Esta prueba consta de 18 ítems divididos en dos grupos, en principio del mismo nivel de dificultad, precedidos de 7 ítems que sirven de entrenamiento y no influyen en la calificación obtenida. Cada uno de esos ítems es una figura compleja donde está enmascarada otra más simple que debe ser identificada. La puntuación total de un sujeto en esta prueba es la suma de los elementos realizados correctamente en un tiempo limitado, por lo tanto la escala va de 0 a 18. Se entiende que una clasificación alta en la prueba indica una mayor capacidad para encontrar figuras simples en figuras complejas, lo que se traduce en un mayor grado de Independencia de Campo, y una clasificación baja en la prueba se traduce en un mayor grado de Dependencia de Campo. El número de aciertos se lleva a una escala de intervalos en la que se establecen cuatro niveles de menor a mayor independencia de campo:

Nivel 1: DIC- MBA (Muy bajo):	de 0 a 5 formas correctas
Nivel 2: DIC-BA (Bajo):	de 6 a 9 formas correctas
Nivel 3: DIC- ME (Medio):	de 10 a 13 formas correctas
Nivel 4: DIC-AL (Alto):	de 14 a 18 formas correctas

C. PRUEBAS PARA EL CONTRASTE DE LA HIPÓTESIS FINAL I

Las pruebas finales I, excepto el examen teórico elaborado por la profesora del GCON, han consistido en cuestionarios abiertos que permitiesen a los estudiantes de ambos grupos expresar sin ningún tipo de condicionante los conocimientos generados tras el aprendizaje realizado en el aula. Estas pruebas se ajustan a los mismos tipos de contenidos incluidos en los instrumentos de recogida de información en la fase inicial, porque se pretende contrastar la existencia de diferencias significativas en el aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes realizado por el GEXP frente al GCON.

Al tratarse de pruebas abiertas, donde los estudiantes tienen libertad a la hora de organizar sus ideas, las contestaciones de éstos han sido recogidas y catalogadas de forma que se pudiesen establecer comparaciones entre las respuestas de ambos grupos. Se ha optado por la elaboración de **redes sistémicas o network como instrumento de recogida de datos** (Bliss y otros, 1983; Jorba y Sanmartí, 1994).

C.1. Pruebas sobre conceptos

Como ya se ha indicado en otros apartados, los contenidos conceptuales son de dos tipos: referentes a Genética y herencia humana, y a la Naturaleza de la Ciencia.

□ **Prueba final de conceptos de Genética y herencia humana**

La comparación de los aprendizajes realizados al respecto se va a realizar a partir de los resultados obtenidos en el problema abierto, que se trata en el apartado siguiente, y de un ejercicio típico de la enseñanza tradicional.

Este examen, elaborado por la profesora del GCON, contiene preguntas de teoría y problemas cerrados de tipo causa-efecto y efecto-cause.

Para recoger información del examen o prueba teórica, además de valorarla corrigiéndola de forma clásica y dándole una calificación del 0 al 10, se va a elaborar

una red sistémica que nos ayude a realizar comparaciones entre las ideas y conocimientos que los estudiantes utilizan en sus contestaciones. En esta red sistémica organizaremos los resultados en torno a los tres **ámbitos de contenidos conceptuales** trabajados en la unidad didáctica: localización de la información hereditaria, la herencia de padres a hijos y la herencia de caracteres adquiridos.

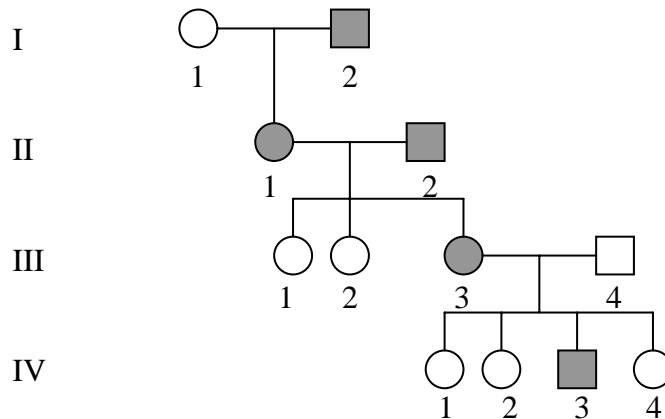
Esta prueba, también se utilizará para determinar si los estudiantes del GEXP, gracias a la MRPI, son capaces de enfrentarse de forma correcta a los problemas cerrados con los que hasta ahora no han trabajado.

El examen de teoría propuesto por la profesora del GCON es el siguiente:

NOMBRE
EDAD **SEXO:** hombre/mujer **CURSO** **NIVEL**
CENTRO ESCOLAR

Contesta a las siguientes preguntas:

1. La miopía es debida a un gen dominante; su alelo recesivo produce una visión normal. ¿Un hombre y una mujer miopes podrán tener un hijo de visión normal?. Razona tu respuesta.
2. En la especie humana la ictiosis es una enfermedad debida a un gen situado en el segmento diferencial del cromosoma Y. Un hombre con ictiosis, ¿podrán tener hijos varones que no posean esta enfermedad? Razona tu respuesta.
3. La coiloniquia es una malformación en las uñas que tienen forma de cuchara. Determina el genotipo de los individuos del siguiente árbol genealógico. (Los símbolos en negro son los individuos afectados).



¿Cómo crees que es la herencia de este carácter?

- a) Herencia determinada por el sexo, porque
- b) Herencia determinada por un gen localizado en un cromosoma distinto a los sexuales, porque

¿Qué alelo crees que es el dominante?

- a) El de uñas de cuchara, porque
- b) El de uñas normales, porque

4. Si una célula al final de la meiosis presenta 10 cromosomas, ¿cuántos cromosomas poseerá la célula madre de esa meiosis?

5. Cuál es la secuencia de ADN complementaria de:

A C C T A C A C A

6. Escribe el ARN sintetizado a partir de la siguiente secuencia de ADN:

A A T G C A T G C

7. Cita cuatro aplicaciones de la ingeniería genética.

□ **Prueba final de conceptos sobre la Naturaleza de la Ciencia**

El cuestionario que se ha usado es abierto y recoge las mismas ideas incluidas en la prueba inicial para poder realizar comparaciones; e incluso, algunas de ellas son similares o las mismas pero sin opciones de respuesta.

A continuación aparece la **gama de ideas** que se utilizó en la prueba inicial junto con las preguntas que las abordan en este cuestionario final. Éstas han constituido el conjunto de categorías de la red sistémica que recoge las respuestas de los estudiantes.

- Ideas sobre cómo se trabaja en Ciencia - preguntas 1, 2, 4, 5 y 10
- Ideas sobre lo que son las teorías - preguntas 4, 7 y 8
- Ideas sobre los científicos - pregunta 6
- Ideas sobre las relaciones C-T-S - preguntas 9 y 10

La prueba se recoge a continuación sin los espacios de respuesta.

NOMBRE
EDAD **SEXO:** hombre/mujer **CURSO** **NIVEL**
CENTRO ESCOLAR

Contesta a las siguientes cuestiones. Puedes pedir más papel.

1. ¿Qué entiendes por Ciencia?
2. ¿Cuáles de estas profesiones consideras que es una actividad científica trabajos en: biología, cocina, contabilidad, física, ingeniería, química, matemáticas, mecánica?, ¿por qué?, ¿hay alguna que consideres la más científica?.
3. ¿Cómo crees que se trabaja o se hace Ciencia?
4. ¿Qué es una hipótesis?, y ¿una teoría?
5. ¿En qué momento, dentro de una investigación sobre Genética, se puede realizar un experimento?
6. Indica las características que creas debe tener una persona para ser un científico/a.
7. Cuando los científicos, sobre una misma investigación, llegan a resultados diferentes, ¿a qué crees que es debido?
8. Muchas teorías científicas han sido reemplazadas por otras nuevas. ¿Por qué crees que ha sido?
9. ¿Qué entiendes por Tecnología?, ¿y por biotecnología?
10. Pon ejemplos de avances científicos, y de avances tecnológicos, en el campo de la Biología
Avances científicos:

Avances tecnológicos:

C.2. Prueba sobre procedimientos

Ambos grupos se enfrentaron a un problema abierto cuya resolución requiere el desarrollo de estrategias de resolución propias de la metodología de resolución de problemas asumida en esta investigación.

Se ha seleccionado un problema sobre parecidos familiares porque se enmarca dentro del tipo más sencillo de herencia, la mendeliana; y puede ser fácilmente abordado; y, de hecho, así sucede en las aulas de Secundaria. A nivel conceptual, requiere la utilización de los dos primeros esquemas conceptuales: la localización de la información hereditaria y la herencia de padres a hijos. Obviamente, este problema no había sido resuelto por el GEXP con anterioridad.

La valoración del mismo se ha realizado teniendo en cuenta los mismos criterios y niveles de resolución para cada una de las variables (metodológicas y de verbalización) que se siguieron en la valoración de los problemas abiertos realizados durante la fase de intervención en el aula.

PROBLEMA:

Un matrimonio tiene un hijo que se parece más al padre que a la madre. ¿Cómo puede ser esto posible?

La resolución, y la valoración de este problema por niveles en cada una de las variables metodológicas se encuentra, junto con el resto de los problemas abiertos elaborados para la unidad didáctica, en el Anexo II.

En el contraste de la hipótesis sobre diferencias de aprendizaje de procedimientos de resolución de problemas, como ya se ha indicado, también se tendrán en cuenta los problemas cerrados incluidos en la prueba teórica final sobre conceptos de Genética y herencia humana.

C.3. Pruebas sobre actitudes

Como ya se ha indicado, en este trabajo se estudian las actitudes relacionadas con la Ciencia y las relativas a las relaciones C-T-S, algunas de las cuáles se han centrado en contenidos de Genética. En el primer caso se ha elaborado un cuestionario abierto. En relación con los aspectos C-T-S, además de una prueba abierta, se ha diseñado una situación problemática personalizada sobre toma de decisiones en un tema de incidencia social que en su base tiene el uso de una técnica científica como es el test genético.

La decisión de incluir preguntas de Genética, tanto para indagar actitudes relacionadas con la Ciencia como relativas a C-T-S, se debe a que es el contenido que nos permite detectar diferencias entre los dos grupos de investigación al haber sido trabajado de distinta forma en el GEXP y GCON.

En lo que respecta a la situación problemática personalizada de toma de decisiones, tiene la intención de identificar el desarrollo de posturas críticas y personales ante temas C-T-S. Partimos de la premisa de que los estudiantes de ambos grupos no tienen, al principio de la investigación, formadas sus propias opiniones sobre temas con base científica porque, dentro de las pruebas iniciales, se enfrentaron a un problema abierto que, prestándose a este tipo de cuestiones, no fue abordado desde supuestos C-T-S.

□ **Prueba final de actitudes relacionadas con la Ciencia**

Las cuestiones que se han incluido en esta prueba final se van a ajustar a la gama de actitudes, relativas a la Ciencia, que se utilizaba en el cuestionario inicial:

Actitudes científicas o **sobre la Ciencia**, preguntas 4, 5 y 6

- Actitudes favorables, la Ciencia vista como algo útil, pragmática
- Actitudes desfavorables, la Ciencia vista como un peligro o sin utilidad
- Actitudes sobre la visión de las características de la Ciencia

Actitudes **hacia la Ciencia**, preguntas 1, 2 y 3

- Actitudes favorables hacia la Ciencia y su estudio
- Actitudes desfavorables hacia la Ciencia y su estudio

A continuación se recogen las preguntas de esta prueba. Para facilitar la lectura de la misma se ha reducido considerablemente el espacio que tenían asignado los estudiantes para responder a cada cuestión.

NOMBRE
EDAD **SEXO: hombre/mujer** **CURSO** **NIVEL**
CENTRO ESCOLAR

Contesta a las siguientes cuestiones. Puedes pedir más papel.

1. ¿Crees que es necesario que se impartan contenidos de Genética en el instituto?, ¿Por qué?
2. ¿Para qué crees que te va a ser de utilidad la Genética que has estudiado en el instituto?
3. ¿Crees que todo el mundo debería tener conocimientos sobre Genética, o sólo deberían estudiarla los futuros biólogos, médicos, etc.?, ¿Por qué?
4. La Genética ¿ha favorecido a la humanidad o la ha perjudicado? Pon ejemplos que apoyen tus ideas.
5. El pasado año, en las campañas de vacunación (recuerda, por ejemplo, que quizá tú te hayas podido vacunar de meningitis), se podía dar la oportunidad de elegir entre una vacuna sintética creada en el laboratorio a partir de compuestos químicos, y una vacuna obtenida a partir de microorganismos. ¿Qué tipo de vacuna te pondrías?, ¿Por qué?
6. El trabajo realizado por los científicos, ¿crees que presenta algún tipo de características especiales?, ¿cuáles?

□ **Prueba final de actitudes relativas a las relaciones C-T-S**

En esta ocasión se han utilizado dos instrumentos de medida, un cuestionario abierto y una situación problemática personalizada de toma de decisiones.

Enl **cuestionario final**, respecto a la visión que los estudiantes tienen sobre las relaciones C-T-S, y sobre el uso de la ingeniería genética, las preguntas 1 y 2 son similares a las que utilizan Solbes y Vilches (1992) para detectar ideas de los estudiantes sobre la relación de la Física y la Química con la Sociedad.

La gama de aspectos relativos a las relaciones C-T-S va a coincidir con la del cuestionario inicial:

- El papel del científico dentro de la Sociedad - pregunta 3
- La influencia de la Ciencia y la Tecnología en la Sociedad - preguntas 1, 2 y 6
- La finalidad de la Ciencia y el gasto en investigación - preguntas 4 y 5
- Los límites de la Ciencia y la Tecnología preguntas - 6, 7 y 8

La visión sobre el uso de los nuevos avances en Genética va a ser tratado de forma más amplia en este cuestionario ya que es un tema crucial a la hora de establecer diferencias en cuanto a la consecución de los objetivos C-T-S.

A continuación se recogen las preguntas de esta prueba. En la misma, y para facilitar su lectura, no hemos reflejado el espacio que tenían los estudiantes para contestar.

NOMBRE
EDAD **SEXO:** hombre/mujer **CURSO** **NIVEL**
CENTRO ESCOLAR

Contesta a las siguientes cuestiones. Puedes pedir más papel.

1. ¿Cómo crees que han influido los conocimientos de Genética en la vida de las personas, o en la Sociedad en su conjunto?
2. ¿Cómo puede influir la Sociedad en los avances genéticos?
3. Actualmente, se están investigando nuevas formas de curar enfermedades usando la terapia génica. Los ciudadanos, ¿qué deberíamos demandar a los investigadores?, y ¿a los gobiernos?, y ¿a otras personas o instituciones?
4. ¿Crees que es mejor dar dinero a las investigaciones científicas o a las tecnológicas?, ¿por qué? ¿De dónde debe salir ese dinero?
5. ¿Se debe dar dinero público a todo tipo de investigaciones científicas, o sólo a aquellas que sean potencialmente rentables para la sociedad?
6. Nuestro mundo tiene problemas. Indica cuáles crees que son sus causas y sus posibles soluciones:
Hambre:
Causas:
Soluciones:
Enfermedades hereditarias:
Causas:
Soluciones:
7. El Proyecto Genoma Humano va a permitir conocer la información genética humana. ¿Qué ventajas o inconvenientes crees que puede llegar a tener este tipo de conocimientos?
8. ¿Debería tener límites la investigación sobre Genética?, ¿Quién o quienes deberían controlar estas investigaciones?

La **situación problemática personalizada**, que plantea una cuestión de toma de decisiones, requiere que los estudiantes realicen un análisis de la situación que les permita tener una postura propia ante la misma. En esta prueba se valorará la incorporación de conocimientos científicos relativos a Genética y relacionados con las relaciones C-T-S en la toma de decisiones.

SITUACIÓN PROBLEMÁTICA PERSONALIZADA:

Imagina que en tu familia se han presentado varios casos de cáncer de colon, ¿te harías un test genético?

La resolución que realicen los estudiantes reflejará una amplia gama de ideas y actitudes hacia la Ciencia, la Tecnología y su relación con la Sociedad. Éstas serán organizadas, como en todas las pruebas abiertas, en una red sistémica.

D. PRUEBAS PARA EL CONTRASTE DE LA HIPÓTESIS FINAL II

Una de las hipótesis que nos habíamos planteado al inicio de este trabajo de investigación, era el efecto de la MRPI en el proceso de cambio conceptual, de procedimientos y actitudes, y, para considerar que se ha producido un cambio en el GEXP, éste debe perdurar en el tiempo.

Para analizar si dicha persistencia, en lo relativo a conceptos y procedimientos, se comparan los resultados de las pruebas finales I con los de las finales II, que se llevaron a cabo cinco meses después. Para el caso de las actitudes, que de por sí son muy variables dependiendo de las experiencias cotidianas, no se van a tener en cuenta.

D.1. Pruebas sobre conceptos

Las pruebas finales II sobre conceptos serán relativas a los dos tipos de contenidos conceptuales trabajados en la unidad didáctica, los relativos a Genética y a la Naturaleza de la Ciencia. Ambas pruebas se componen de ítems abiertos y han sido elaboradas a partir de las ideas principales que se indagaron en las pruebas iniciales y finales. Al igual que estas últimas, los resultados obtenidos se han organizado en redes sistémicas.

□ Prueba final II de conceptos de Genética y herencia humana

Las preguntas elaboradas para esta prueba se centran en los aspectos más relevantes de los esquemas conceptuales que han estado presentes en las pruebas iniciales, finales y en los problemas abiertos.

La relación entre las preguntas y el tipo de contenido conceptual tratado es el siguiente:

- Localización de la información hereditaria: preguntas - preguntas 1 y 2.
- La herencia de padre a hijos - preguntas 3 y 4
- La herencia de caracteres adquiridos - preguntas 5 y 6.

Los dibujos para la pregunta 1 se recogieron del archivo de imágenes que proporciona el propio editor de texto. En cuanto a la pregunta 6, ésta surge de la constatación que la profesora investigadora realiza, a lo largo del desarrollo de esta unidad didáctica y de su práctica docente, sobre la confusión existente entre hereditario y relacionado con la reproducción. Los estudiantes piensan que si una enfermedad se transmite de madres a hijos se debe a que tiene un origen hereditario. Es difícil que piensen que hay enfermedades infecciosas que pueden pasar la barrera de la placenta y afectar al embrión. También asocian las enfermedades de transmisión sexual con el propio proceso de reproducción y por lo tanto de herencia.

A continuación se recogen las cuestiones planteadas en esta prueba:

NOMBRE
EDAD SEXO: hombre/mujer CURSO NIVEL
CENTRO ESCOLAR

Contesta a las siguientes cuestiones de la forma más completa posible. Puedes pedir más papel.

1. Fíjate en los siguientes seres vivos:



- a) ¿Cuáles de ellos tienen información hereditaria?
 - b) ¿Dónde se localiza esta información?, ¿En qué tipo de estructuras?
2. a) ¿Dónde está tu información hereditaria?:
b) Por ejemplo, ¿tienes información en las células de la piel? Justifica tu respuesta.
 3. Cuando tengas un hijo, ¿qué información hereditaria recibirá de ti?, ¿dónde se localizará, y cómo pasará a tu hijo?
 4. Un niño ha nacido con un grupo sanguíneo Rh-, siendo sus dos padres Rh+. Se sabe que algunos antepasados suyos eran Rh-. ¿Cómo ha podido pasar esta información hereditaria desde los bisabuelos o abuelos al niño?
 5. Imagina que un grupo de humanos con visión correcta para los colores tuviera que vivir en cuevas con poca luz, viendo sólo en blanco y negro. Esta forma de vida la mantendrían durante muchos años. ¿Cómo sería la visión de los bebés que nazcan después de muchas generaciones?
 6. ¿Crees que el SIDA es hereditario?, ¿por qué?

□ **Prueba final II de conceptos sobre la Naturaleza de la Ciencia**

Las preguntas elaboradas para esta prueba también se corresponden con los aspectos de la Naturaleza de la Ciencia que fueron tratados en la prueba inicial y final I.

La relación entre las preguntas y el tipo de contenido conceptual tratado es el siguiente:

- Ideas sobre cómo se trabaja en Ciencia - preguntas 1 y 2
- Ideas sobre lo que son las teorías científicas - pregunta 3
- Ideas sobre los científicos - pregunta 4
- Ideas sobre las relaciones C-T-S - pregunta 5

A continuación se recogen las cuestiones de esta prueba. No se han mantenido los espacios entre preguntas, que tenían los estudiantes para contestar, para facilitar su lectura.

NOMBRE
EDAD **SEXO: hombre/mujer** **CURSO** **NIVEL**
CENTRO ESCOLAR

Contesta a las siguientes cuestiones de la forma más completa posible. Puedes pedir más papel.

1. Cuando te venden un producto diciéndote que ha sido probado científicamente, ¿qué es lo que te imaginas?, ¿crees que es mejor que otro producto similar en el que no incluyan esa información?

2. ¿Por qué realizan experimentos los científicos? ¿Crees que son necesarios en todas las investigaciones?

3. ¿Conoces alguna teoría científica?, ¿Cuál?:
Sobre la teoría que has indicado:
 - a) ¿Cómo crees que se elaboró?:

 - b) ¿Crees que fue la primera teoría científica que explicaba esos hechos?:

 - c) ¿Por qué crees que ahora se acepta esta teoría?:

4. Describe con todo lujo de detalles como te imaginas a un persona realizando una investigación científica.

5. Pon algún ejemplo de descubrimiento de carácter científico:

Y alguno de carácter tecnológico:

¿Por qué los has enmarcado en el campo de la Ciencia o en el de la Tecnología?:

D.2. Prueba sobre procedimientos

El problema abierto elaborado, para comprobar el nivel de permanencia de las etapas de la MRPI, es nuevo para los alumnos del GEXP; aunque similar a los realizados en clase. La resolución y valoración del mismo, al que denominamos P₁₃, también se encuentra recogida en el Anexo II.

El problema, por su formulación, se corresponde con los que habitualmente se trabajan en Secundaria: modelo de herencia mendeliana y, a nivel conceptual, requiere la utilización de los dos primeros esquemas conceptuales: la localización de la información hereditaria y la herencia de padres a hijos. Sin embargo, es posible que algún estudiante decida trabajar sobre supuestos de mutaciones o herencia de caracteres adquiridos.

PROBLEMA:

¿Cómo podrías saber si alguno de tus futuros hijos nacerá con algún defecto en su visión?

E. PRUEBA SOBRE LA ACTITUD DE LOS ALUMNOS HACIA LA METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO UNA INVESTIGACIÓN

Para determinar si esta forma de trabajo en el aula ha promovido una actitud positiva hacia el aprendizaje de las Ciencias en general, y hacia la resolución de problemas en particular, en el GEXP, se ha utilizado un cuestionario de 12 ítems recogido del trabajo de investigación de Varela (1994). Cada ítem se puntúa en una escala de tipo Likert con cinco valores (1 a 5), y se completa con una explicación sobre el por qué de la valoración asignada. Los únicos cambios efectuados han sido sustituir el término Física por Biología. El uso del mismo cuestionario nos permitirá comparar los resultados obtenidos cuando los alumnos trabajan con problemas abiertos en Física y en Biología.

La encuesta está diseñada alrededor de cuatro organizadores:

1. **Características de la tarea realizada** (resolución de problemas abiertos) en cuanto a nivel de dificultad, facilidad para el aprendizaje de conceptos y adquisición de destrezas científicas: ítems 1, 2, 3, 4 y 5
2. Incidencia sobre la **autoconfianza** del alumno para la resolución de problemas y su actitud hacia las Ciencias: ítems 6, 10 y 12
3. Factores relacionados con la **metodología de trabajo** y el papel jugado por el profesor: ítems 7 y 11
4. Posible **transposición de conocimientos** a otras materias científicas y a posibles actividades fuera del aula (dominio cotidiano): ítems 8 y 9.

A continuación se recoge el cuestionario:

NOMBRE
EDAD **SEXO: Hombre/mujer** **CURSO** **NIVEL**
CENTRO ESCOLAR

¿Estás interesado en realizar estudios superiores en que la Genética ocupe un lugar importante? En caso afirmativo, indica cuáles.

<p>1. La resolución de problemas abiertos (MRPI) me ha parecido una tarea aburrida 1 2 3 4 5 interesante porque...</p> <p>2. La MRPI me ha resultado una actividad difícil 1 2 3 4 5 fácil porque...</p> <p>3. La MRPI me ha ayudado a aprender conceptos de Genética poco 1 2 3 4 5 mucho porque...</p> <p>4. La MRPI me ha ayudado a familiarizarse con procedimientos más científicos de trabajo poco 1 2 3 4 5 mucho porque...</p> <p>5. La MRPI me ayuda a realizar problemas cerrados (tipo los que aparecen en el libro de texto) poco 1 2 3 4 5 mucho porque...</p> <p>6. Con las estrategias de resolución de problemas que he aprendido, me siento más capacitado para intentar resolver otros problemas que en principio me resultan desconocidos no 1 2 3 4 5 sí porque...</p>
--

7. ¿Cómo te ha resultado la ayuda que has recibido del profesor para aprender a resolver problemas?

inútil 1 2 3 4 5 muy útil

porque...

8. El tipo de problemas que hemos resuelto, ¿te ayudará en el futuro a resolver situaciones de tu vida cotidiana (salud, familia, como consumidor...)?

poco 1 2 3 4 5 mucho

porque...

9. ¿Crees que los procedimientos de trabajo que has practicado en la MRPI te van a ser útiles cuando resuelvas problemas de otras materias: Matemáticas, Química, Física?

poco 1 2 3 4 5 mucho

porque...

10. La forma en que hemos trabajado la asignatura, ¿te ha abierto nuevas perspectivas e interés sobre qué es la Biología o las Ciencias en general?

no 1 2 3 4 5 sí

porque...

11. ¿Cómo te ha resultado la metodología con que se han desarrollado las clases de Genética?

inadecuada 1 2 3 4 5 adecuada

porque...

12. El tipo de trabajo que hemos realizado, ¿ha aumentado tu autoconfianza para resolver problemas?

poco 1 2 3 4 5 mucho

porque...

Para terminar con este apartado recogemos en la siguiente tabla una síntesis de los momentos de recogida de información, hipótesis y pruebas elaboradas para su contraste.

		HIPÓTESIS Y PRUEBAS	TIPO
MOMENTOS DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN DENTRO DE LA INVESTIGACIÓN	Inicial	<p>Homogeneidad en GEXP y GCON:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conceptos → Genética y h. humana → Naturaleza Ciencia • Procedimientos → Problema • Actitudes → Relativas a Ciencia → Relativas a C-T-S 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 8 ítems cerrados ✓ 12 ítems cerrados ✓ 1 abierto ✓ 50 ítems (Likert) ✓ 9 ítems cerrados
	Intervención en el aula	<p>Aprendizaje GEXP</p> <ul style="list-style-type: none"> • MRPI → Problemas • Cambio conceptual → Problemas • Influencia DIC → Test GEFT 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 12 abiertos ✓ 12 abiertos ✓ test de figuras
		<p>Actitud hacia MRPI del GEXP</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 12 ítems (Likert)
	Final I	<p>Diferencias aprendizaje GEXP y GCON</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conceptos → Genética y h. humana → Naturaleza Ciencia • Procedimientos → Problema • Actitudes → Relativas a Ciencia → Relativas a C-T-S - Cuestionario - Situación problem. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ examen clásico ✓ 10 ítems abiertos ✓ 1 abierto ✓ 6 ítems abiertos ✓ 8 ítems abiertos ✓ caso personal
Final II	<p>Permanencia del cambio en el GEXP</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conceptos → Genética y h. humana → Naturaleza Ciencia • Procedimientos → Problema 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 6 ítems abiertos ✓ 5 ítems abiertos ✓ 1 abierto 	

Cuadro 4.2: Relación entre las pruebas, las hipótesis que contrastan y los momentos De recogida de información.

4.4.3. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS

Las investigaciones en el campo educativo, como ya se indicó en el Apartado 4.4.1., presentan un matiz de investigación social que implica la utilización de técnicas cualitativas y cuantitativas.

Los **análisis de tipo cualitativo**, propios de estudios de tipo etnográfico o social, se han aplicado en el proceso de interpretar y valorar los razonamientos e ideas de los estudiantes. Éstos han sido ampliamente utilizados en la valoración de los niveles de resolución de cada una de las variables de los problemas abiertos, y en el análisis de las pruebas finales donde se debían extraer los conocimientos de los estudiantes por tratarse de ítems abiertos.

Para analizar cuestionarios abiertos se han utilizado las **redes sistémicas o network**, método propuesto para organizar y analizar datos cualitativos recogidos en cuestionarios abiertos o entrevistas (Bliss y otros, 1983; Jorba y Sanmartí, 1994). Estas redes trabajan con categorías bien definidas, elaborándose de forma que recojan fielmente la naturaleza de los datos. La persona que analiza las respuestas dadas por los estudiantes a cada ítem, debe identificar qué respuestas son similares y pueden agruparse dentro de una misma categoría. De la misma forma, debe determinar si respuestas, que en principio parecen similares, presentan algún matiz por el que sea interesante diferenciarlas. De esta forma, las opciones de respuesta no están definidas a priori, sino que surgen del análisis de las contestaciones dadas por el conjunto de todos los estudiantes.

Los **análisis de tipo cuantitativo**, propios de las Ciencias Experimentales, se han basado en el tratamiento estadístico de los datos obtenidos por los estudiantes en las distintas pruebas. La bibliografía consultada se ha centrado en análisis estadísticos aplicados a estudios de tipo social (Fernández Díaz y otros, 1990; González López-Valcárcel, 1991; Martínez Arias, 1995). La hipótesis a contrastar, el tipo de datos, y los grupos implicados, han determinado el programa estadístico más adecuado para su análisis. En el contraste de la mayoría de las hipótesis se ha trabajado con estadística inferencial. Sólo se ha utilizado la estadística descriptiva al realizar los análisis multivariante que nos permitiesen establecer correlaciones entre variables.

En la siguiente tabla se recogen las diferentes técnicas de análisis estadístico con las que se ha realizado el contraste de nuestras hipótesis:

MOMENTO DE LA INVESTIGACIÓN	HIPÓTESIS	ESTADÍSTICOS
INICIAL	Homogeneidad entre GEXP y GCON	Chi-cuadrado
INTERVENCIÓN EN EL AULA	H1: Aprendizaje MRPI H2: Cambio conceptual H3: Influencia DIC	Análisis de Varianza Análisis de Varianza Análisis Multivariante
FINAL I	Diferencias en el aprendizaje entre el GEXP y GCON	U de Mann Whitney
FINAL II	Permanencia de aprendizajes en el GEXP	Wilcoxon y U de Mann Whitney

Cuadro 4.3: Conjunto de pruebas estadísticas utilizadas en el contraste de las hipótesis de esta investigación.

A continuación se realiza una breve descripción de las técnicas de análisis.

- Test de la **Chi-cuadrado** para el estudio de la homogeneidad inicial del GEXP y GCON en cuanto a conocimientos. Es una de las pruebas más utilizadas en el análisis de dos grupos independientes cuando el nivel de medición es nominal. La hipótesis nula es que las frecuencias de respuesta de ambos grupos sean homogéneos frente a la alternativa de que haya diferencias significativas. Como nos interesa apoyar la hipótesis nula, se decidió de antemano considerar no significativos, en este caso, aquellos contrastes en los que se obtengan $p > 0,1$ para detectar con claridad casos en los que no hay homogeneidad. Por lo tanto, se ha trabajado con el p valor que suponga una mayor discriminación. Este estadístico tiene algunas limitaciones. No debe aplicarse si más de un 20% de las frecuencias son menores a 5. Por eso, las frecuencias con valores bajos de ítems similares se han sumado; o bien, las frecuencias cero en ambos grupos y en un ítem se han eliminado, para favorecer la aplicación de este estadístico. Cuando en algún ítem, esta revisión de las frecuencias, ha generado sólo dos opciones de respuesta de los estudiantes (correcto frente a incorrecto), nos encontramos en una tabla 2x2 para la que el programa estadístico aplica la **corrección de Yates**.

- **Análisis de varianza** (ANOVA) para el estudio de la evolución del aprendizaje de la MRPI, realizado por los estudiantes del GEXP. Primero, se ha usado el **test de la F** que permite identificar la existencia de una diferencia significativa entre

las valoraciones medias alcanzadas por los estudiantes en cada uno de los problemas y de las variables analizadas. Posteriormente, se ha usado un **test de medias de rangos múltiples**, correspondiente a un diseño factorial (test de **Tukey** para $\alpha = 0,05$) que permite realizar un contraste entre cada una de las valoraciones medias obtenidas por los estudiantes, y determinar entre cuál de ellas hay una diferencia significativa que marque un salto importante en el aprendizaje realizado, o bien una diferencia entre el nivel de realización de las distintas variables. Se ha elegido el test de Tukey porque es habitual en investigaciones en estudios sociológicos (Fernández y otros 1990), y porque tiene un valor de discriminación intermedio entre otros test de medias de rangos múltiples, también muy comunes, como el de Scheeffe y el de Newman-Keuls.

- **Análisis multivariante** para el estudio de la influencia de la variable estilo cognitivo DIC en las variables metodológicas, de verbalización y de contenido relativas a la resolución de problemas abiertos. El análisis multivariante es una técnica descriptiva para estimar la correlación entre variables (González López-Valcárcel, 1991), y muy útil en investigación educativa y sociológica porque sólo requiere de datos ordinales. Hemos utilizado el **coeficiente de correlación de Kendall** que necesita que el conjunto de datos se organice en rangos (todas las variables presentan cuatro niveles) para calcular una correlación que estime en qué medida los conjuntos de rangos son concordantes. La representación gráfica nos permite realizar una interpretación descriptiva por la proximidad relativa entre las variables.

También hemos usado el análisis multivariante para buscar correlaciones entre las variables de contenido implicadas en la resolución de los problemas abiertos.

- Test de la **U de Mann-Whitney** para el estudio de las diferencias finales entre el GEXP y GCON. La hipótesis nula es que ambos grupos son homogéneos frente a la alternativa de que el GEXP sea significativamente mejor. Se ha optado por esta prueba porque nos interesaba demostrar que, al final del proceso de enseñanza-aprendizaje, ambos grupos, no sólo presentaban una diferencia significativa en los aprendizajes realizados, sino que esta diferencia era a favor del GEXP.

Este test también se utilizará para comparar resultados entre el GEXP, tras la fase Final II, y el GCON, al finalizar la fase Final I, en el caso de que exista un retroceso en los aprendizajes realizados por el GEXP

- Test de rangos señalados y pares igualados de **Wilcoxon** para el estudio de la persistencia en el tiempo de los aprendizajes realizados por un mismo grupo de estudiantes (muestras relacionadas), en nuestro caso se pretendía comparar los resultados del GEXP en la fase Final I y en la fase Final II. La hipótesis nula es que los resultados del grupo, al cabo del tiempo, son homogéneos frente a la alternativa de que sean significativamente peores al final.

Los análisis se han llevado a cabo gracias a los **programas estadísticos** STATGRAPHICS Plus 4.1 para las técnicas de estadística inferencial, y el SPSS para el análisis multivariante.

CAPÍTULO 5

ELABORACIÓN DE LA UNIDAD

DIDÁCTICA:

“¿SOY ASÍ POR PURO AZAR?”

INTRODUCCIÓN

Las unidades didácticas, dentro del nuevo marco legislativo (LOGSE) han dejado de ser bloques de contenidos cerrados y delimitados de forma preceptiva; y el diseño de las mismas no debe limitarse a una retahíla de objetivos, contenidos y actividades. La Reforma Educativa de la Enseñanza propone un modelo curricular que se organiza en tres niveles de concreción: el Diseño Curricular Base (DCB), el Proyecto Curricular de Centro (PCC) y las Programaciones de aula. Este tercer nivel de concreción, que debe ser planificado por los profesores de los departamento didácticos, se organiza en torno a una secuencia coherente de unidades didácticas. Por lo tanto, el actual Sistema Educativo deposita la responsabilidad de cerrar el currículo en el profesorado, y éste se articula en torno a unidades didácticas. Por ello, consideramos que un buen diseño de la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?”, que vamos a llevar al aula, además de ayudar a la buena marcha de nuestra investigación, puede ser una aportación interesante y útil para el profesorado de Secundaria.

La unidad didáctica es definida en el Diseño y Desarrollo Curricular del actual Sistema Educativo (CDL, 1990, p. 53) como “*una **unidad de trabajo** relativa a un proceso de enseñanza-aprendizaje, articulado y completo. En ella se deben precisar por tanto los contenidos, los objetivos, las actividades de enseñanza aprendizaje, y las actividades para la evaluación*”. La definición de unidad didáctica que vamos a utilizar en este trabajo, porque se ajusta más a nuestra visión del proceso de enseñanza-aprendizaje, va a ser la de **un itinerario de aprendizaje**, el camino que va a permitir al alumnado conseguir las metas de aprendizaje que nos hayamos marcado. Dentro del marco teórico en el que se enmarca el diseño de toda la investigación, una definición muy apropiada es la que utilizan Fernández González y otros (1999, p. 18): “*La unidad didáctica es un conjunto de ideas, una hipótesis de trabajo*”, las nuestras, sobre el aprendizaje esperado, se asientan en esta unidad didáctica que proponemos y fundamentamos en este apartado, y cuyas actividades y materiales se encuentran en el Anexo I.

5.1. EL MODELO DE UNIDAD DIDÁCTICA

Dentro del proceso de desarrollo de esta investigación, uno de los obstáculos o problemas que surgió fue el de la necesidad de elaborar una unidad didáctica que se ajustase a todas nuestras hipótesis de trabajo, y que nos permitiese llegar a conclusiones sobre los resultados obtenidos tras su puesta en práctica. El diseño de la misma es lo que definíamos como el segundo problema abierto de esa posible muñeca rusa a la que nos referíamos en la presentación y, como tal, iba a ser resuelto siguiendo las fases de la Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (MRPI).

La resolución de un problema debe empezar con un análisis cualitativo de la situación. Por ello, y teniendo en cuenta que la unidad didáctica es una tarea del profesor de aula, consideramos que los **modelos didácticos** pueden ser muy útiles para su análisis. Fernández González y otros (1999) reconocen los siguientes modelos:

- Transmisor
- Tecnológico
- Por descubrimiento
- Artesano-humanista
- Constructivista

Modelos clásicos como el *transmisor*, en los que se parte de los contenidos con una estructura tradicional de los mismos, o el *tecnológico*, en los que se busca una planificación rigurosa de objetivos, contenidos y ejercicios, no se ajustan a nuestra investigación. Tampoco el modelo de unidad didáctica que buscamos se encuentra en el *modelo por descubrimiento*, en los que los alumnos sólo aprenden lo que descubren por sí mismos, porque el alumno no puede llegar sin guía al descubrimiento del conocimiento científico; ni en el *artesano-humanista*, donde aprenden lo que les motiva y se elaboran las actividades según los fenómenos interesantes que tengan lugar, porque una proliferación de actividades sin una coherencia en su secuenciación no genera necesariamente un aprendizaje más significativo por parte del alumnado. Por último, está el *modelo constructivista* que parte de lo que sabe el alumno para determinar la secuencia de actividades y que busca que el aprendizaje de los estudiantes sea

significativo para ellos. La secuencia de las actividades sigue las tres fases de los modelos de cambio conceptual; es decir, actividades de inicio que exploren y articulen las ideas de los alumnos, actividades de desarrollo que creen conflictos cognitivos y permitan la reestructuración de las ideas, y actividades de acabado o síntesis que permita afianzar y aplicar las nuevas ideas.

Los supuestos de los que parte este trabajo de investigación, **introducción de un enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad (C-T-S) utilizando una MRPI y dentro de un marco teórico constructivista**, implica que el modelo de unidad didáctica que se busca sea acorde con todos estos elementos. Por lo tanto debe ser un **modelo constructivista e innovador** cuyo punto de partida sea un análisis profundo de todos los elementos que intervienen en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Propuestas constructivistas de secuenciación y organización de contenidos desarrolladas en nuestro país son las de:

- el **modelo de diseño de unidades didáctica** de Sánchez y Valcárcel (1993), y Sánchez (1999), que aúna las referencias teóricas que pueden fundamentar la toma de decisiones del profesor, y el procedimiento que se debe seguir para abordar cada una de estas tareas.
- los **programas-guía de actividades** (Gil, 1987), que se centran en familiarizar a los alumnos con el trabajo científico mediante la resolución de situaciones problemáticas abiertas.

En referencia a los fundamentos teóricos, que deben tenerse en cuenta a la hora de elaborar una unidad didáctica, recogemos en el siguiente cuadro los propuestos por Sánchez y Valcárcel (1993), ya validados en otros trabajos (Banet, 2001).

OBJETIVOS	PROCEDIMIENTOS
I. ANÁLISIS CIENTÍFICO	
a) La reflexión y actualización científica del profesor	1) Seleccionar los contenidos
b) La estructuración de los contenidos	2) Definir el esquema conceptual
	3) Delimitar procedimientos científicos
	4) Delimitar actitudes científicas
II. ANÁLISIS DIDÁCTICO	
a) La delimitación de los condicionamientos del proceso de enseñanza/aprendizaje: adecuación al alumno	1) Averiguar las ideas previas de los alumnos
	2) Considerar las exigencias cognitivas de los contenidos
	3) Delimitar implicaciones para la enseñanza
III. SELECCIÓN DE OBJETIVOS	
a) La reflexión sobre los potenciales aprendizajes de los alumnos	1) Considerar conjuntamente el análisis científico y el análisis didáctico
b) El establecimiento de referencias para el proceso de evaluación	2) Delimitar las prioridades y jerarquizarlas
IV. SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS	
a) La determinación de las estrategias a seguir para el desarrollo del tema	1) Considerar los planteamientos metodológicos para la enseñanza
b) La definición de tareas a realizar por profesor y alumnos	2) Diseñar la secuencia global de enseñanza
	3) Seleccionar actividades de enseñanza
	4) Elaborar materiales de aprendizaje
V. SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE EVALUACIÓN	
a) La valoración de la unidad diseñada	1) Delimitar el contenido de la evaluación
b) La valoración del proceso de enseñanza y de los aprendizajes de los alumnos	2) Determinar actividades y momentos del desarrollo del tema
	3) Diseñar instrumentos para la recogida de información

Cuadro 5.1: Modelo de diseño de unidades didácticas (Sánchez y Valcárcel, 1993, p.35)

En lo que respecta a la segunda propuesta, ésta ya ha sido desarrollada ampliamente en otros apartados.

En el esquema siguiente se puede apreciar cómo hemos resuelto el problema del diseño de la unidad didáctica conjugando estas dos propuestas teóricas.

ETAPAS DE LA MRPI (Gil y Martínez Torregrosa, 1983)	MODELO DE DISEÑO DE UNA U.D. (Sánchez y Valcárcel, 1993).
ANÁLISIS CUALITATIVO DEL PROBLEMA	<p>ANÁLISIS CIENTÍFICO (Apartado 5.2)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ La importancia de la Genética en la Sociedad actual y su desarrollo dentro del currículo de Educación Secundaria Obligatoria. ✓ Construcción de los conocimientos científicos relativos a la Genética y su desarrollo histórico. ✓ Selección y estructuración de contenidos escolares. <p>ANÁLISIS DIDÁCTICO (Apartado 5.3)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Conocer los resultados sobre las investigaciones relativas a la didáctica de la Genética. ✓ Conocer las ideas de los estudiantes sobre la herencia. ✓ Conocer las ideas de los estudiantes sobre la Naturaleza de la Ciencia y las relaciones C-T-S. ✓ Conocer los estudios sobre el interés y la actitud de los estudiantes relacionadas con la Ciencia ✓ Exigencias cognitivas de los contenidos. ✓ Delimitar implicaciones para la enseñanza ✓ Revisión de los modelos tradicionales de unidad didáctica que aparecen en los libros de texto.
EMISIÓN DE HIPÓTESIS	<p>SELECCIÓN DE OBJETIVOS (Apartado 5.4)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Cambio conceptual ✓ Cambio de procedimientos ✓ Cambio de actitudes
DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE RESOLUCIÓN	<p>SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS (Apartado 5.5)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Planteamiento metodológico ✓ Diseño y secuencia de actividades para la unidad didáctica (Recogidas en el Anexo I).
RESOLUCIÓN	Capítulo 6 de la memoria: Desarrollo de la investigación
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	<p>SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE EVALUACIÓN (Apartado 5.6)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Evaluación de la unidad didáctica (Capítulo 6) ✓ Evaluación del aprendizaje (Capítulo 7)

Cuadro 5.2: Paralelismo establecido entre las etapas de resolución de problemas abiertos según la MRPI y el modelo de diseño de unidades didácticas (U.D.) de Sánchez y Valcárcel (1993) aplicado a la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?”

A continuación se desarrollan cada uno de estos apartados.

5.2. ANÁLISIS CIENTÍFICO DE LOS CONTENIDOS DE GENÉTICA

En este análisis científico pretendemos dar respuestas a dos preguntas que todo profesor debería hacerse antes de iniciar el trabajo en el aula con estudiantes de Secundaria: ¿Qué interés (educativo, cultural, social) tienen estos contenidos para los estudiantes? y ¿Qué contenidos deben aprender y cómo se deben organizarlos para que se produzca un aprendizaje significativo? En el fondo, en este apartado y los siguientes, estamos respondiendo a la cuestión: ¿Por qué elaborar esta unidad didáctica?

Las respuestas las encontraremos en:

1. La importancia de la Genética en la sociedad actual y su desarrollo dentro del currículo escolar de Secundaria. Este análisis muestra la necesidad de elaborar una unidad didáctica desde un enfoque C-T-S que permita la alfabetización científica de los estudiantes y el desarrollo de futuros ciudadanos socialmente responsables en estos temas.
2. El recorrido a través del desarrollo histórico de la Genética, que nos dará la pauta de la secuencia de los contenidos de la unidad didáctica y la importancia de que los mismos se desarrollen con una metodología científica, que ponga en contacto a los estudiantes con la verdadera naturaleza de la Ciencia, y permita que sean ellos mismos los que construyan sus conocimientos de una forma significativa.

Y, estas respuestas, nos permiten realizar la selección de contenidos de la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?”, que se ajustan al currículo de Biología y Geología para 4º de E.S.O.

5.2.1. LA IMPORTANCIA DE LA GENÉTICA EN LA SOCIEDAD ACTUAL

El Colegio Oficial de Biólogos (COB) en su revista BIO, en el número 17 de 1999, presenta un monográfico sobre: “*La importancia de la Biología y la Geología en la formación ciudadana*”. Ya en su editorial deja constancia de cómo los contenidos de las Ciencias Biológicas forman parte de la cultura ciudadana:

“Actualmente, la Biología está presente en todos los órdenes de nuestra vida: salud, medio ambiente, materiales transgénicos, clonación, inmunodiversidad, biodiversidad, control de alimentos, consumo, etc. Todos estos ámbitos forman parte del acervo cultural básico del ser humano actual. La Sociedad del Conocimiento que parece abrirse en el siglo XXI requiere de unos ciudadanos bien formados que sepan interpretar los avances científicos, la cultura científica en que se encuentran inmersos, de otro modo serán analfabetos funcionales incapaces de pronunciarse con criterios sólidos y bien formados sobre los grandes retos y problemas que surgirán con el nuevo milenio.” (Bio, 1999, 17, p. 1)

De entre todos los conocimientos de la Biología, los que más incidencia social tienen, y van a tener en un futuro, son los nuevos avances en el campo de la ingeniería genética. Un claro exponente de la importancia de la Genética en la Sociedad actual es la cantidad de noticias que surgen a diario relacionadas con estos temas. Una fecha clave e histórica en la repercusión de la actualidad científica en los medios de comunicación fue la del día 26 y 27 de Junio de 2000 cuando se dieron a conocer los resultados del Proyecto Genoma Humano. Baste como muestra este párrafo sacado del periódico *EL País*, que en su sección *Sociedad* del 27/06/00 dedicó al tema de “*La revolución Genética*” las páginas 29 a 42, algo impensable para cualquier otro tipo de noticia científica en un periódico diario:

“El 26 de Junio ya es una fecha simbólica en la historia de la humanidad: el día en que, al descifrar el genoma humano, se entreabrió el libro de la vida”

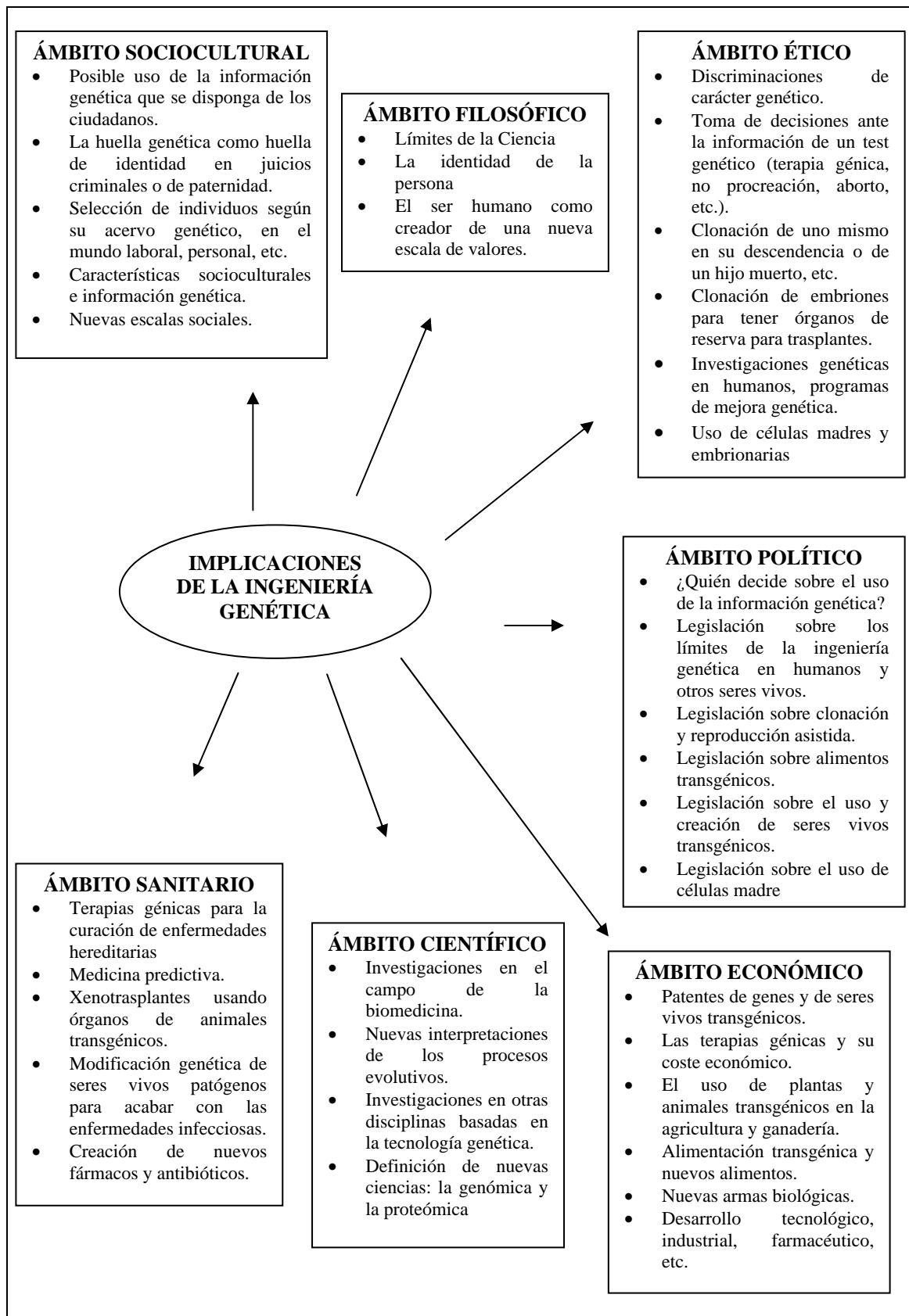
Las noticias de contenido científico que nos llegan por los diversos medios de comunicación, escrita y audiovisual, son en su mayoría referentes a los nuevos conocimientos sobre nuestros genes que está aportando el PGH (Proyecto Genoma

Humano); las nuevas terapias génicas que nos curarán de enfermedades hasta ahora incurables; seres vivos transgénicos y sus usos en alimentación, investigación clínica, xenotrasplantes, industria; clonaciones y sus posibles aplicaciones al ser humano; o el uso de los test genéticos en la determinación de paternidades y detección de enfermedades. Estas y otras aplicaciones de los nuevos avances científicos y tecnológicos en el campo de la Genética van a suponer un gran cambio en el desarrollo de las sociedades futuras, y en la concepción que los humanos tenemos de nosotros mismos y del resto de los seres vivos.

La importancia de la Genética en la sociedad actual puede percibirse en las implicaciones que estos avances tienen en diversos ámbitos: científicos, sanitarios, económicos, socioculturales, políticos, filosóficos, éticos.

La Genética que nace a principios de siglo XX, y va creando su cuerpo de conocimientos durante este siglo, ha dejado de ser un mero conocimiento académico para saltar al campo de la vida cotidiana. Las aplicaciones futuras de la biotecnología genética no son sólo cuestiones que se discutan en foros científicos, el público reclama información sobre las repercusiones que las mismas puedan tener en su vida. Algunos de los interrogantes que ya se plantean los ciudadanos son: ¿Qué es eso de los transgénico?; ¿Qué puede pasar si consumimos alimentos transgénicos?; Si en un diagnóstico genético me localizan el gen del Alzheimer, ¿es seguro que lo vaya a padecer?; ¿Podríamos clonar a un hijo muerto en accidente como propone la secta de los raelianos o algunos especialistas?; ¿Podríamos seleccionar un bebé a la carta?; etc.

El siguiente cuadro recoge algunas de estas implicaciones. Este cuadro es una ampliación del que presenta Ibáñez (1999, p.12) en el monográfico sobre la importancia de la Biología en la formación ciudadana, que hemos tomado como punto de partida para esta reflexión.



Cuadro 5.3: Implicaciones que la ingeniería genética tiene, y puede llegar a tener, en la sociedad del siglo XXI.

Una alfabetización científica y tecnológica de nuestro alumnado, y futuros ciudadanos, debe incluir los contenidos más relevantes de los nuevos avances en ingeniería genética. Esta formación la deberían de recibir a lo largo de la enseñanza obligatoria, antes de que se abandonen las aulas u opten por estudios en los que la Biología no esté incluida.

Por eso, nuestra unidad didáctica se enmarca dentro de la etapa de E.S.O., e introduce la actualidad científica de forma integrada dentro de la misma y no como un añadido o colofón final a una serie de contenidos científicos más académicos.

5.2.2. LA UNIDAD DIDÁCTICA DENTRO DEL CURRÍCULO DE LA EDUCACIÓN SECUNDARIA OBLIGATORIA

La unidad didáctica que pretendemos desarrollar abarca tres aspectos, contenidos de Genética, la MRPI, y el enfoque C-T-S, que deberían ser contrastados con las prescripciones curriculares definidas en la Reforma del Sistema Educativo.

En diversos momentos de este trabajo (Parte I. Marco teórico) se ha argumentado sobre las necesidades educativas a las que daban respuesta cada uno de los aspectos arriba mencionados. Sin embargo, para que esta unidad didáctica pueda aportar algo novedoso y útil al profesorado, es necesario que tenga cabida dentro del currículo escolar establecido. Por ello, se va a realizar un recorrido por las indicaciones curriculares que puedan estar relacionadas con los objetivos y contenidos de la misma.

A. LOS CONTENIDOS DE GENÉTICA EN LA E. S. O.

En el RD 1345/1991 se establece el currículo de la E.S.O. Los contenidos del área de las Ciencias de la Naturaleza que se desarrollarán a lo largo de los cuatro años de la Secundaria Obligatoria se distribuyen en 11 bloques. En el bloque de contenidos número 6, ‘Diversidad y Unidad de los seres vivos’, aparece el concepto de herencia recogido de la siguiente forma:

Conceptos: 6.4: “Los cromosomas y la transmisión de la herencia. Las mutaciones”.

Procedimientos y Actitudes: ningún apartado de estos tipos de contenidos hace referencia a aspectos relacionados con la herencia.

Criterios de evaluación: ninguno de los criterios de evaluación propuestos en este documento se refiere a cuestiones sobre la herencia.

En las especificaciones para 4º de E.S.O. se recomienda introducir estos contenidos en relación con temas de evolución.

Hasta la última modificación del currículo de E.S.O. (RD 937/2001), ésta había sido la escasa presencia de la Genética. Actualmente estos contenidos están recogidos de la siguiente forma:

“Genética. Reproducción celular. Mitosis y Meiosis. Reproducción y herencia. Mendel y las leyes de la herencia. Aproximación al concepto de gen. Mutaciones. Estudio de algunas enfermedades hereditaria. Aspectos preventivos: diagnóstico prenatal. ADN. Ingeniería y manipulación genética: aplicaciones más importantes. Código genético. Genoma. Biotecnología: aplicaciones más importantes y ejemplos. Valoración ética y social”

En esta última revisión se han tenido en cuenta aspectos relativos a nuevos avances científicos y sus repercusiones. También se recogen estos contenidos en uno de los criterios de evaluación:

“Resolver problemas sencillos de transmisión de caracteres hereditarios, incluyendo los relacionados con enfermedades en el hombre, aplicando los conocimientos de las leyes de Mendel”

A pesar de la importancia, que a lo largo de los documentos que desarrollan la Reforma del Sistema Educativo (Diseño Curricular Base, Cajas Rojas, Reales Decretos), se le confiere a la Ciencia como elemento configurador de nuestra cultura; un aspecto como la inclusión de los nuevos avances en Genética no aparece reflejado hasta las modificaciones más recientes, posteriores a nuestra propuesta. Como suele ser habitual, los cambios en la Sociedad van por delante de los cambios legislativos y, por ello, nosotros ya incluíamos estos aspectos tan relevantes de la Genética dentro del currículo de la E.S.O., en especial en el curso final de la misma sin esperar a cursos de Bachillerato para realizarlo.

Por otra parte, no hay que olvidar dos elementos que van a ser determinantes en la enseñanza-aprendizaje de estos contenidos:

1. Los contenidos de Genética se recogen, por primera vez, en el segundo ciclo de la E.S.O. Por lo tanto, los conocimientos que los estudiantes de esas edades tengan, sobre temas relativos a la herencia de caracteres, tendrán su origen en creencias personales y culturales.
2. Las exigencias cognitivas de los contenidos de Genética, hace que su inclusión no se realice hasta los últimos años de la Educación Secundaria, cuando los estudiantes deben haber alcanzado un nivel cognitivo correspondiente al de las operaciones formales.

B. INTRODUCCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO UNA INVESTIGACIÓN EN LA E.S.O.

En el texto, donde se desarrolla el área de las Ciencias de la Naturaleza para la etapa de E.S.O. (Cajas Rojas, 1992), se pueden encontrar referencias a los procedimientos científicos que se deben adquirir a lo largo de esta etapa, y que se enmarcan dentro de la MRPI:

“Pero igual importancia que a los conceptos debe concederse a los procedimientos. Al sistema conceptual altamente organizado de la ciencia están indisolublemente vinculadas pautas y reglas que caracterizan métodos científicos de indagación de la realidad. Por ello los alumnos han de utilizar algunos métodos habituales en la actividad científica a lo largo del proceso investigador: planteamiento de problemas y formulación clara de los mismos; utilización de fuentes de la información de manera sistemática y organizada; formulación de hipótesis pertinentes a los problemas; contraste de hipótesis mediante la observación rigurosa y, en ciertos casos, la planificación y realización de experimentos; recogida, organización y análisis de los datos; comunicación de resultados mediante el oportuno informe”. (p.15)

Además, se propone una secuencia por ciclos para los procedimientos. Las diferencias se encuentran en el nivel cognitivo de los estudiantes y se manifiesta en actividades más concretas para el primer ciclo y más abstractas para el segundo.

Para el primer ciclo (12-14), se puede leer:

“Con objeto de desarrollar la capacidad de abordar progresivamente problemas con una perspectiva científica, parecen más adecuados para este primer ciclo aquellos procedimientos basados en la observación cualitativa y cuantitativa, que van a permitir la descripción, la comparación, la búsqueda de regularidades, la clasificación o la identificación... Los problemas de investigación sugeridos podrán abordarse en situaciones familiares... La capacidad de aplicar estrategias personales en la resolución de problemas puede potenciarse planteando problemas de investigación en los que se establezcan relaciones sencillas entre dos variables”.
(p.49)

Para el segundo ciclo (14-16), se dice:

“Respecto a los procedimientos adecuados para este ciclo, que permiten avanzar en el desarrollo de la capacidad de aplicar estrategias personales en la resolución de situaciones problemáticas, se hará mayor hincapié en la emisión de hipótesis, en los diseños experimentales y en la comparación de leyes, modelos y teorías, señalando similitudes y diferencias” (p.53)

Este contenido tan amplio se desglosa en otros más concretos como (p.67):

- ✓ Resolver situaciones problemáticas en las que se puedan presentar más de una variable independiente y en las que haya que controlar alguna.
- ✓ Determinar en una investigación las variables que deben ser controladas.
- ✓ Diseño de experiencias con ayuda del profesor y a veces autónomamente.
- ✓ Emitir hipótesis ante un problema.

Todos estos contenidos relativos a procedimientos son propios de la actividad científica, y son los que se desarrollan en la MRPI con la que los alumnos van a trabajar en esta unidad didáctica.

En cuanto a los objetivos educativos referente a procedimientos, es de destacar que, en la última modificación del currículo (RD 937/2001), la importancia de aquellos que acercan al alumno a la naturaleza del trabajo científico, ha quedado difuminada. Un objetivo que anteriormente era recogido de la siguiente forma:

“Aplicar estrategias personales, coherentes con los procedimientos de la Ciencia, en la resolución de problemas: identificación del problema, formulación de hipótesis, planificación y realización de actividades para contrastarlas, sistematización y análisis de los resultados y comunicación de los mismos“ (RD 1345/1991, RD 1390/1995)

se recoge actualmente como:

“Iniciar al alumno en el conocimiento y aplicación del método científico” (RD 937/2001)

donde se pierde la referencia epistemológica que está debajo de la idea de método científico.

El papel de los procedimientos en la enseñanza queda aún mas desvirtuado en el currículo de Ciencias de la Naturaleza que establece la Comunidad de Madrid, donde se recoge como un bloque más de contenidos posterior a los conceptuales propios de la disciplina.

C. INTRODUCCIÓN DE UN ENFOQUE C-T-S EN LA E.S.O.

Hasta la reforma educativa de los 80 e inicios del 90, se le había dado poca importancia a las interrelaciones entre la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad. Sin embargo, una de las recomendaciones que se repite continuamente en la bibliografía sobre la enseñanza de las ciencias es la de la necesidad de incluir las metas del enfoque C-T-S. Por el momento, podemos encontrar referencias escritas, en los documentos oficiales sobre los que se ha estructurado la reforma educativa, que hacen alusión a la importancia del mismo:

En el DCB (Diseño Curricular Base, MEC, 1989) se puede leer: *“Otro conjunto de actitudes de gran relevancia son las que se refieren a la valoración de las implicaciones sociales de la ciencia y al desarrollo de las actitudes de solidaridad y defensa del patrimonio natural y del uso adecuado de los recursos propios y ajenos”*.(p.184)

En el documento en el que se desarrolla el área de la Ciencias de la Naturaleza (Cajas Rojas, 1992), se propone una secuenciación de los objetivos y contenidos por ciclos. Dentro de las actitudes recogidas se puede leer:

Primer ciclo (12-14): *“Tendrían que progresar en la capacidad de reconocer y valorar las aportaciones de la Ciencia, a través de una reflexión sobre el papel de ésta y la Tecnología en la sociedad actual y su repercusión en el aumento de la calidad de vida. Deberían, además adquirir consciencia de sus limitaciones”*. (p.51)

Segundo ciclo (14-16): *“En cuanto a las actitudes, valores y normas, aumenta en este ciclo la importancia de aquellas que colaboran a una mayor inserción social y aumentan la capacidad de elaborar criterios personales sobre problemas científicos y un aumento de la capacidad crítica. (...) Por otra parte, irán adquiriendo la capacidad de realizar una valoración más ajustada de la Ciencia, al considerarla como una actividad humana en continua construcción, que tiene limitaciones y que está sometida a presiones extracientíficas”*. (p.54)

Este contenido tan amplio se desglosa en otros más concretos como (p.73):

- ✓ Considerar que en el desarrollo y aplicación de los conocimientos científicos influyen a menudo razones de índole extracientífico (económicas, políticas, militares...)
- ✓ Valorar, ante cualquier aportación científica, lo que tiene de positivo y sus posibles repercusiones negativas.
- ✓ Reconocer la necesidad de la comunidad científica de modificar las teorías existentes ante la imposibilidad de explicar nuevos fenómenos.
- ✓ Reconocer que el aumento en la complejidad de los problemas exige una labor colectiva de toda la comunidad científica.

A lo largo del Bachillerato, en especial en la nueva asignatura que se crea con el nombre de Ciencia-Tecnología-Sociedad, estos objetivos y contenidos se recogen de forma más precisa. Es interesante recalcar que esta optativa se define por primera vez en la LOGSE, y pretende ser una reflexión crítica sobre la cultura, la sociedad, la ciencia y la tecnología. Los argumentos sobre los que se sustenta la necesidad de esta optativa son (BOE del 29 de Enero de 1993):

“La actividad científica y la sociedad en la que se desarrolla mantienen también una relación de interdependencia. La ciencia es una manifestación social condicionada, en cada momento histórico, por los problemas, valores y creencias que estructura el tejido social. (...) La fecundación de la técnica por la ciencia ha dado lugar a una actividad de síntesis, la tecnología, que caracteriza nuestro tiempo. (...) El desarrollo tecnológico ha inducido también a profundas transformaciones culturales y alterado las escalas de valores vigentes en distintos pueblos y culturas, ha influido decisivamente en la configuración del poder político, económico y militar ...”

Estos argumentos, sobre la necesidad de una enseñanza C-T-S en la etapa de Bachillerato, no deberían descuidarse en la etapa anterior obligatoria. Muchos alumnos no volverán a tener contacto con asignaturas de Ciencias; sin embargo en su vida cotidiana si se verán influidos por las relaciones C-T-S. Por lo tanto, este tipo de contenidos deben ser tenidos en cuenta, también, en la etapa en la que se están formando ciudadanos, de los que quizás algunos también sean futuros científicos.

A lo largo de esta tesis se va a apostar por la introducción de un enfoque C-T-S en la enseñanza de las ciencias durante el segundo ciclo de la E.S.O. Y, por ello, debemos partir de la siguiente consideración: ¿Es posible entroncar este enfoque educativo dentro de la estructura de la E.S.O.? La mejor forma de contestar a esta cuestión es confrontar los objetivos educativos de la etapa de Secundaria Obligatoria, y los objetivos del área de Ciencias de la Naturaleza para esta etapa, con los objetivos del enfoque C-T-S.

En el siguiente cuadro se recogen las metas C-T-S para la enseñanza de las ciencias, que habíamos elaborado y recogido en el Cuadro 3.2, en relación con los objetivos generales de la etapa educativa y del área de Ciencias de la Naturaleza, que se transcriben en los dos cuadros siguientes. Estos últimos están determinados por los Reales Decretos que establecen el currículo de la E.S.O. (RD 1345/91, modificado en el RD 1390/95 y en el RD 937/01) y sus enseñanzas mínimas (RD 1007/91, modificado en el RD 894/95 y en el RD 3473/00), y se refieren tal y como aparecen en la última modificación. En principio, suponemos que no tiene por qué haber diferencias con los que establezcan cada una de las comunidades autónomas.

	OBJETIVOS DE ETAPA													OBJETIVOS DE ÁREA								
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA																						
I. ... tener un conocimiento básico de los avances científicos ...			*							*			*	*	*	*			*	*	*	
II. Acercar la ciencia escolar a los intereses de los alumnos...										*	*					*		*		*	*	
III. Desarrollar destrezas de investigación científica ...				*	*								*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
IV. Integrar la historia, la filosofía y la sociología de la ciencia ...							*					*		*	*					*	*	*
V. Conocer y valorar las interrelaciones C-T-S.								*	*	*			*		*					*	*	*
RESPONSABILIDAD SOCIAL																						
I. Reconocer la importancia de la ciencia en ...																*					*	*
II. La resolución de problemas sociales, debidos a la aplicación de descubrimientos científicos es responsabilidad de todos ...								*					*						*	*	*	*
III. Desarrollar un espíritu crítico sobre los beneficios y perjuicios ...								*	*			*		*		*	*	*	*	*	*	*
IV. Desarrollar estrategias ... favoreciendo habilidades de toma de decisiones				*	*			*	*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
V. Desarrollar habilidades sociales como diálogo, cooperación ...									*				*		*	*	*	*	*	*	*	*

Cuadro 5.4: Relaciones entre los objetivos C-T-S (Cuadro 3.2) y los objetivos de la E.S.O. y del área de las Ciencias de la Naturaleza.

- a) Comprender y crear mensajes orales y escritos en lengua castellana con propiedad, autonomía y creatividad, y reflexionar sobre los procesos implicados e en el uso del lenguaje y la contribución de éste a la organización de los propios pensamientos.
- b) Comprender y expresarse con propiedad en la lengua o lenguas extranjeras objeto de estudio.
- c) Interpretar y utilizar con propiedad, autonomía y creatividad mensajes que utilicen códigos artísticos, científicos y técnicos, con el fin de enriquecer las competencias comunicativas y reflexionar sobre los procesos implicados en su uso.
- d) Obtener y seleccionar información utilizando las fuentes apropiadas disponibles, tratarla de forma autónoma y crítica, con una finalidad previamente establecida y transmitirla a los demás de manera organizada e inteligible.
- e) Elaborar estrategias de identificación y resolución de problemas en los diversos campos del conocimiento y la experiencia, mediante procedimientos intuitivos y de razonamiento lógico, contrastándolas y reflexionando sobre el proceso seguido.
- f) Favorecer el conocimiento de la personalidad, los intereses y capacidades personales para facilitar la toma de decisiones y saber superar las dificultades.
- g) Adquirir y desarrollar hábitos de respeto y disciplina como condición necesaria para una realización eficaz de las tareas educativas y desarrollar actitudes solidarias y tolerantes ante las diferencias sociales, religiosas, de género y de raza, superando prejuicios con espíritu crítico, abierto y democrático.
- h) Conocer, respetar y valorar las creencias, actitudes y valores básicos de nuestro acervo cultural y patrimonio histórico artístico.
- i) Analizar y valorar los derechos y deberes de los ciudadanos para contribuir al bienestar común del entorno social.
- j) Conocer las leyes básicas que rigen el funcionamiento de la naturaleza, valorar los avances científico-tecnológicos y su repercusión en el medio físico para contribuir a la conservación y mejora del medio ambiente.
- k) Utilizar las tecnologías de la información y la comunicación en los procesos de enseñanza y aprendizaje.
- l) Conocer y apreciar el patrimonio cultural y lingüístico de España, atendiendo a su diversidad pluricultural y plurilingüística.
- m) Conocer el funcionamiento del propio cuerpo, servirse del ejercicio físico y valorar los hábitos de higiene y alimentación para mejorar la calidad de vida

Cuadro 5.5: Objetivos generales de la Educación Secundaria Obligatoria

1. Iniciarse en el conocimiento y aplicación del método científico.
2. Comprender y expresar mensajes científicos utilizando el lenguaje oral y escrito con propiedad, así como interpretar diagramas, tablas, expresiones matemáticas sencillas y otros modelos de representación..
3. Interpretar científicamente de los principales fenómenos naturales, así como sus posibles aplicaciones tecnológicas, utilizando las leyes y conceptos de las Ciencias de la Naturaleza.
4. Participar de manera responsable en la planificación y realización de actividades científicas.
5. Utilizar de forma autónoma diferentes formas de información, incluidas las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, con el fin de evaluar su contenido y adoptar actitudes personales críticas sobre cuestiones científicas y tecnológicas.
6. Adquirir conocimientos sobre el funcionamiento del organismo humano para desarrollar y afianzar hábitos de cuidado y salud corporal.
7. Aplicar los conocimientos adquiridos en las Ciencias de la Naturaleza par disfrutar del medio natural, valorándolo y participando en su conservación y mejora.
8. Reconocer y valorar las aportaciones de la ciencia para la mejora de las condiciones de existencia de los seres humanos, y apreciar la importancia de la formación científica.
9. Entender el conocimiento científico como algo integrado, que se compartimenta en distintas disciplinas para profundizar en los diferentes aspectos de la realidad.

Cuadro 5.6: Objetivos generales de la enseñanza de las Ciencias Naturales en la etapa de Educación Secundaria Obligatoria

El nivel de coincidencia, entre los objetivos de la E.S.O. y la educación C-T-S, marcados con un asterisco, no refleja magnitud del mismo.

Los objetivos C-T-S que, de forma más evidente, son coincidentes con los objetivos curriculares de la enseñanza de las ciencias, hacen referencia a los contenidos conceptuales (conocimiento básico que permita entender los avances científicos y técnicos), de procedimientos (destrezas de resolución de problemas y toma de decisiones) y actitudes (desarrollar espíritu crítico) que se deben perseguir.

Otros objetivos C-T-S, como los relacionados con acercar los contenidos de la ciencia escolar a los intereses de los alumnos, o los relacionados con la introducción de aspectos históricos, filosóficos y sociológicos de la ciencia, han sido recogidos en los objetivos de la E.S.O. con menos fuerza. Sin embargo, este tipo de cuestiones sí que tuvieron una gran importancia en la elaboración de los documentos sobre la reforma educativa cuando se discutían las fuentes del currículo. Así consta en el D.C.B y otros

documentos posteriores que exponían las fuentes epistemológicas y sociológicas del currículo, como ya se comentó en el Apartado 1.3.

Otro de los objetivos que no aparece de forma muy explícita, dentro de los objetivos de la E.S.O., es el relacionado con el desarrollo de una conciencia de responsabilidad ciudadana frente a los problemas sociales y su posible solución. Este tipo de contenidos son recogidos en los temas transversales que deben ir fluyendo por cada una de las áreas. En el caso de las Ciencias Naturales, la forma de abordar estos temas transversales de educación en la ciudadanía y en la responsabilidad social, se deberían abordar desde aquellos problemas que surgen debidos a la utilización de determinados avances científicos o tecnológicos.

El análisis realizado de la correlación entre los objetivos del currículo actual de ciencias y los objetivos del enfoque C-T-S, sugiere que la introducción del mismo, además de ajustarse a las prescripciones curriculares, le complementa en aspectos de gran relevancia como es la formación científica de los estudiantes como futuros ciudadanos.

En conclusión, nuestra propuesta tiene cabida dentro del currículo del área de Ciencias de la Naturaleza de la E.S.O.

5.2.3. CONSTRUCCIÓN DE LOS CONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS RELATIVOS A LA GENÉTICA Y SU DESARROLLO HISTÓRICO

Toda elaboración de una unidad didáctica requiere de una previa revisión de los contenidos científicos que están en la base de la misma. En este caso, los contenidos de Genética, son uno de los conocimientos científicos que más han evolucionado en el último siglo, y que más han influido en la visión biológica que de los procesos naturales se tiene. Por ello es interesante realizar un pequeño recorrido por los hitos más importantes del proceso de creación de la Genética como conocimiento científico y tecnológico.

Además de seguir una **secuencia cronológica** de estos hechos, se va a plasmar la forma en la que se va **definiendo y reconceptualizando la Genética**. Hemos optado por diferenciar una serie de periodos en el desarrollo de esta Ciencia que hemos denominado: el periodo pre-genético, el periodo de definición de la Genética, el periodo de la Genética Molecular, y el periodo post-genético o de aplicación práctica de los conocimientos y el surgimiento de nuevas ciencias.

Periodo pre-genético (hasta finales del siglo XIX)

Las teorías preformistas explicaban los procesos embriológicos y la transmisión de caracteres de padres a hijos, sobre la base de que los nuevos seres ya estaban incluidos o diseñados en sus padres; e incluso que toda la humanidad ya estaba contenida en Eva. Para unos el esperma era una miniatura del nuevo ser (animaculistas) y el útero daba el calor o fuerza vital; para otros el útero contenía la semilla del nuevo ser que necesitaba del esperma para poder desarrollarse.

Durante los siglos XVII y XVIII son frecuentes los estudios de hibridaciones; sin embargo, no suponen ningún avance en el conocimiento sobre la herencia de caracteres. Además se mantienen ideas como la generación espontánea, las teorías catastrofistas y la creación divina, la influencia del ambiente y la transmisión de caracteres adquiridos.

Periodo de definición de la Genética (finales del siglo XIX y siglo XX)

En 1866 Mendel plantea en su conocido artículo, publicado en la Revista de la Sociedad de Historia Natural de Brno, la primera aproximación científica al proceso de la herencia. Formula sus tres **leyes sobre la herencia**, y demuestra que los caracteres hereditarios están determinados por dos factores, que pueden ser dominantes o recesivos a la hora de manifestarse.

A lo largo de los últimos años del siglo XIX, investigadores que trabajan en distintos campos (citólogos, botánicos, zoólogos, etc.), identifican la composición del núcleo celular, la nucleína o ácidos nucleícos (Miescher), y los nucleótidos con sus bases (Kossel, Levene). También, se descubre la existencia de los cromosomas (Strasburger y Fleming), y se estudian los procesos de división celular. Por otra parte, se conoce la existencia del fenómeno de las mutaciones.

En 1900 tres investigadores (de Vries en Holanda, Correns en Alemania y van Tsermak en Austria), que trabajaban sobre mutaciones e hibridaciones de forma independiente, llegan a las mismas conclusiones a las que llegó Mendel y redescubren sus leyes y su aportación a una nueva Ciencia, la Genética. Este término es utilizado por primera vez por Bateson en 1909.

A lo largo de los primeros años del siglo XX se define la **Teoría cromosómica de la herencia** (Sutton, Boveri, Morgan), y el concepto de gen (Johannsen) como una unidad de información dispuesta de forma ordenada y lineal en los cromosomas. Los trabajos se realizan con especies eucariotas como la mosca del vinagre o el maíz. Se descubren, entre otros aspectos, los procesos de ligamiento, sobrecruzamiento, y las mutaciones génicas y cromosómicas; de forma que las leyes de Mendel ya no son tan universales, porque no se cumplen en estos casos.

La teoría cromosómica de la herencia se mantiene en nuestros días a pesar de que, a lo largo de los años 40 Barbara McClintock, trabajando con maíz, descubre la existencia de transposones o 'genes saltarines'. Estos descubrimientos, publicados en 1951, no fueron entendidos en su totalidad y reconocidos hasta la década de los 80

cuando recibe el premio Nobel (1983). Por lo tanto, los genes ya no son esos bloques básicos de información dispuestos de una forma estrictamente lineal tal y como eran definidos, como *'perlas en una hilera'*.

Periodo de la Genética Molecular (mitad del siglo XX)

A partir de los años 30 y 40 los estudios realizados sobre Genética se centran en buscar la estructura química de los genes, y las investigaciones se trasladan desde organismos eucariotas y pluricelulares a microorganismos y, entre ellos, las bacterias procariotas. Durante estos años se discute si la información hereditaria es de naturaleza proteica (la línea principal de investigación), o nucleotídica. Los primeros en avanzar que el ADN era la molécula base de la herencia fueron Avery y McLeod en 1944. Diversos estudios llegan a la conclusión de que los genes son porciones de ADN (Chase y Hersey).

El gran hito científico de este periodo es el descubrimiento de la estructura del ADN en 1953 por Watson y Crick; usando, entre otros, los datos de difracción de rayos X de Rosalind Franklin, y las leyes de Chargaff sobre la proporción de cada una de las bases nitrogenadas. A partir de ahora, un gen se redefine como una secuencia de nucleótidos que codifican para una proteína o enzima. Estos mismos autores en 1958 establecen el **Dogma central de la Biología Molecular**: la información del ADN se traduce a ARN, y éste se transcribe en proteínas.

Las investigaciones en los años sucesivos permitirán conocer los procesos de duplicación del ADN, de traducción y de transcripción de la información genética. El resultado de estos estudios es el descubrimiento del código genético, en el que Severo Ochoa tiene un papel predominante.

Al mismo tiempo que se asentaban los conocimientos sobre el proceso de transmisión de la información genética, también surgieron nuevos datos que ponían en duda el dogma central de la Biología Molecular. En 1962 (Zinder) se descubren bacteriófagos con ARN, lo que cuestiona el papel del ADN como única molécula portadora de la información genética. Además, a lo largo de los años 80 se descubren

enzimas como las transcriptasas inversas que pasan la información de ARN a ADN, o se descubren las nuevas facetas del ARN como enzima (Ribozima, ARN-editor).

Periodo post-genético (finales del siglo XX)

Este periodo de la Genética, en el que nos encontramos, tiene sus orígenes en los años 70 con el descubrimiento de las enzimas de restricción que permitían secuenciar y manipular el ADN (Gilbert). La investigación ya no busca modelos o leyes de herencia, sino aplicaciones de los conocimientos de Genética en la resolución de cuestiones como la mejora genética de plantas y animales, la curación de enfermedades, etc. El desarrollo de técnicas de secuenciado, mapeado, clonado, etc. han permitido el desarrollo de uno de los proyectos de investigación más globalizadores que ha conocido la Humanidad: el Proyecto Genoma Humano.

Ahora nos encontramos en un momento en el que se están dando a conocer los datos sobre el genoma humano y sus posibles aplicaciones futuras; y, como consecuencia, los investigadores ya están apuntando la **emergencia de nuevas ciencias como la genómica y la proteómica**. Uno de los retos que surgen, una vez conocido nuestro genoma, es conocer nuestro proteoma, las proteínas codificadas por cada gen, su estructura y función dentro del organismo.

Este repaso por la historia de la Genética nos indica el camino que han seguido los científicos en su tarea de crear un cuerpo coherente de conocimientos y cómo han tenido que ir reestructurando sus propias creencias y dogmas. Por ello, los profesores debemos conocer la reconceptualización que se ha producido en los conocimientos sobre la Genética para evitar transmitir conceptos ya superados y para intuir las posibles ideas alternativas que van a presentar los estudiantes sobre los procesos de la herencia. Por otra parte, los estudiantes deben conocer que el conocimiento científico surge de una actividad humana de construcción de teorías, y que éstas no son verdades universales ni un conjunto de datos fijos y definitivos.

5.2.4. SELECCIÓN Y ESTRUCTURACIÓN DE CONTENIDOS ESCOLARES

Basándonos en el análisis anterior, los contenidos conceptuales deben seguir un desarrollo histórico para que los estudiantes puedan comprender su génesis y adquieran una idea adecuada sobre el proceso de creación científica. Los procedimientos deben ser similares a los empleados por la propia Ciencia y por ello se proponen los de la MRPI. En cuanto a las actitudes, éstas deben referirse a desarrollar aspectos relacionados con la Ciencia y relativos a las relaciones C-T-S por la gran importancia que la Ingeniería Genética tiene en nuestra sociedad.

A continuación se especifican estos contenidos.

A. CONCEPTOS TRABAJADOS EN LA UNIDAD DIDÁCTICA

Los conceptos científicos que se deben enseñar suele ser una de las cuestiones en las que, aparentemente, no hay mucho que discutir. Los docentes se encuentran cómodos al tomar decisiones sobre los contenidos conceptuales que se deben incluir a la hora de desarrollar una unidad didáctica. No en vano su formación ha sido principalmente de tipo conceptual.

Sin embargo, muchos de los problemas de aprendizaje, que se detectan en los estudiantes, surgen de cómo se han seleccionado, divulgado y secuenciado estos conceptos.

El proceso de transformación de un conocimiento en otro, cada uno con unas características y finalidades distintas, es lo que se ha venido a llamar “*la transposición didáctica*” (Chevallard, 1985) La transposición didáctica tiene que ver con las modificaciones que sufren los conocimientos científicos al pasar a conocimientos escolares; por lo tanto nos referimos a un proceso que parte de “*lo que potencialmente puede ser enseñado*” para llegar a “*lo que realmente puede ser aprendido*”(Marco y otros, 2000, p.16).

“La ciencia que hace el científico es distinta de la que habla el profesor y distinta de la ciencia que construyen los alumnos... La ciencia es una construcción humana

que a lo largo del tiempo ha ido evolucionando no siempre de forma lineal y, en cambio, se enseña como si fuera lineal... La ciencia que se enseña explica fenómenos seleccionados y acotados. La ciencia se fundamenta en teorías pero se enseña como si fuera teórica y fija” (Sanmartí y Pujol, 1997, p.16)

Lo que se pretende remarcar al introducir la noción de transposición didáctica es la necesidad de reflexionar sobre qué se puede aprender de todo lo que se puede enseñar; y la existencia de un proceso de reelaboración, más o menos consciente, que se realiza de los conceptos científicos desde el marco de ciencia de los científicos al de ciencia escolar, y posteriormente al de la ciencia de los alumnos (Hauslein y otros, 1992).

A.1. La selección de conceptos

De todo el conjunto de conocimientos posibles de la Genética nos vamos a centra en el desarrollo, por parte de los estudiantes, de un aprendizaje significativo de los siguientes aspectos: la localización de la información hereditaria, la herencia de padres a hijos, la herencia de caracteres adquiridos, y las aplicaciones biotecnológicas de la ingeniería genética.

La selección de los conceptos se ha hecho desde la perspectiva de los que sean útiles y funcionales, aquellos que debe manejar el alumnado para entender los procesos básicos de la Genética y herencia humana.

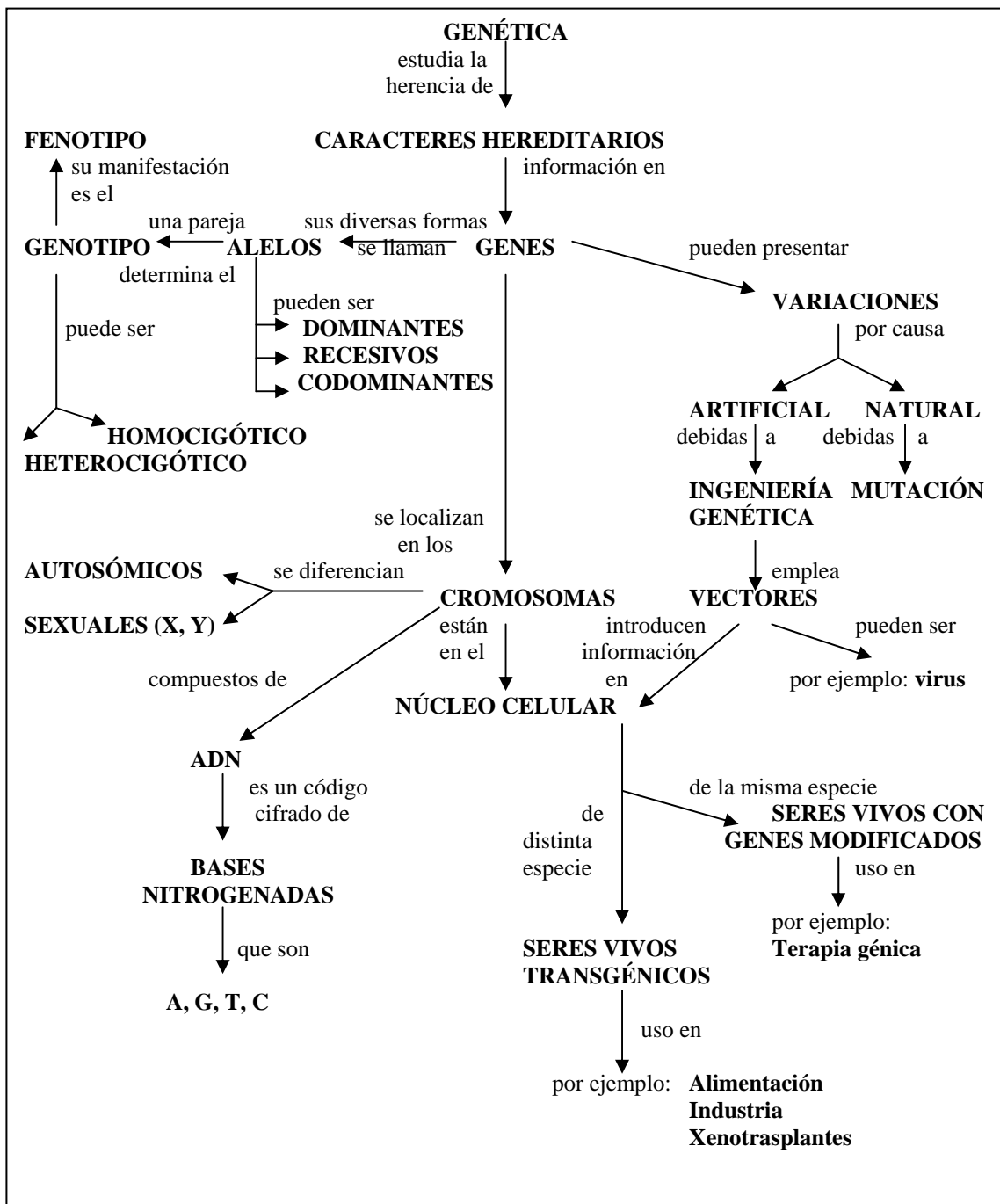
Algunos de estos conceptos son *básicos en el proceso de alfabetización científica y tecnológica* de una persona. Nuestros estudiantes, serán futuros ciudadanos y ciudadanas de esta sociedad, y deberían ser capaces de tomar decisiones o tener una postura propia y crítica en relación con uno de los temas frontera de la Biología, como es el del uso de los nuevos conocimientos sobre el genoma humano y las aplicaciones de la ingeniería genética. Las repercusiones sociales, económicas, políticas y éticas de los nuevos avances científicos y técnicos en el campo de la Genética son tan importantes, que este tipo de conocimiento científico debería formar parte de la cultura de todos los ciudadanos. Estos conceptos serían: gen, ADN, cromosoma, célula,

mutación, diagnóstico genético, enfermedad genética, terapia génica, seres vivos transgénicos, xenotrasplantes.

Otros conceptos son *funcionales dentro del proceso de resolución de problemas* genéticos, y son necesarios para que los alumnos puedan comprender el proceso de transmisión de la información hereditaria. Estos serían: bases nitrogenadas, alelo, dominante, recesivo, herencia mendeliana, herencia ligada al sexo.

Además, a lo largo de las actividades se pueden introducir otros, que podríamos considerar accesorios o no tan fundamentales, como: enzima de restricción, gel de electroforesis, etc.

Con los conceptos, que hemos considerado básicos o centrales en el desarrollo de los contenidos de la unidad didáctica, hemos confeccionado el mapa conceptual de la misma.



Cuadro 5.7: Mapa conceptual de la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?”

A.2. La secuenciación de conceptos

En el proceso de secuenciación de unos conceptos hay que diferenciar entre la secuencia lógica de la disciplina, tal y como aparece en los desarrollos curriculares, y la secuencia lógica desde el punto de vista del aprendizaje del alumno. En el cuadro 5.8 recogemos la diferencia entre ambas.

La secuencia didáctica lógica, desde el punto de vista de la disciplina, es el conocimiento escolar que surge tras la reelaboración del conocimiento científico, que a su vez se reestructura a partir de la incorporación de nuevos conocimientos. Se parte de lo específico a lo general, de las unidades estructurales al todo. En el tema de la Genética la secuencia de contenidos que aparece en la mayoría de los libros de texto comienza con la Teoría cromosómica de la herencia, después se introduce el concepto de ADN antes que el de gen, y al final se abordan las leyes de Mendel.

La secuencia lógica de aprendizaje sería desde lo general a lo específico; por ello, la secuencia histórica de la formulación de los nuevos conceptos en la Genética es la más propicia para facilitar un mejor aprendizaje por parte del alumno (González y otros, 1998).

Secuencia lógica desde el punto de vista de la disciplina	Secuencia histórica de incorporación de los conceptos, y secuencia lógica desde el punto de vista del estudiante
<p style="text-align: center;">CROMOSOMAS</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">ADN</p> <p style="text-align: center;">↓ ↘</p> <p style="text-align: center;">GENES BASES</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">FACTORES HEREDITARIOS</p>	<p style="text-align: center;">FACTORES HEREDITARIOS</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">CROMOSOMAS</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">GENES</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">ADN</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">BASES</p>

Cuadro 5.8: La secuencia de los contenidos conceptuales partiendo de dos visiones diferentes.

En la unidad didáctica, “¿Soy así por puro azar?”, los estudiantes construirán los conceptos a partir de la resolución de problemas como una investigación y, siguiendo el desarrollo histórico de la Genética. Por ejemplo; las primeras investigaciones que los alumnos realicen dentro de su familia sobre la herencia de un determinado carácter, permitirá crear distintos modelos o patrones de herencia. A partir de estas investigaciones se llegará a las investigaciones de Mendel, uno, dentro de los posibles, modelos de herencia. Una vez que se haya analizado la forma de trabajo de Mendel y sus resultados, se trabajarán distintos tipos de herencia bajo el marco teórico de la teoría cromosómica. Al final de la unidad didáctica llegaran a trabajar con la estructura molecular de los genes, y las aplicaciones técnicas de este conocimiento.

A.3. La divulgación de los conceptos científicos

La introducción de un concepto científico, con la intención de que sea comprendido y utilizado, implica que debe estar acuñado de forma que los alumnos puedan integrarlo en sus estructuras conceptuales y, también, que sea lo más funcional u operativo posible.

Borsese (1999), al tratar sobre las dificultades que supone la divulgación de los contenidos científicos, identifica cuatro niveles de conceptualización dependiendo del público al que va dirigida la información. Éstos serían:

1. *Descripción genérica*, cuando se traduce la ciencia en términos de lenguaje común, y donde nada tendría que darse por conocido de forma que cuando se utilice un término específico se debería acompañar de una explicación detallada en palabras comunes.
2. *Descripción específica*, cuando la transmisión de los conocimientos científicos implica la presencia de fragmentos de jerga científica en un discurso que todavía implica el lenguaje común.
3. *Formulación*, cuando el lenguaje empleado alcanza una coherencia lógico-sintáctica tal que disminuye el riesgo de ambigüedades pero hace que los contenidos sean rígidos.

4. *Formalización*, es el nivel más elevado donde la comunicación presenta un grado máximo de opacidad para el público y un grado máximo de transparencia para el experto.

Dentro del ámbito de la enseñanza-aprendizaje en un ámbito escolar y divulgativo, este autor especifica que “*el tercer y cuarto estadio del lenguaje deberían estar presentes sólo en fragmentos más o menos dispersos dentro de un discurso que tendría que mantener un buen nivel de transparencia*” (Borsese 1999, p. 46).

La propuesta de divulgación que se realiza ya está recogida en trabajos anteriores de Ibáñez: “*la introducción de los nuevos conceptos debe hacerse con un criterio de utilidad, incluyendo la información esencial que permita entender los procesos en los que están implicados*” (Ibáñez, 1997, p.68). Esta autora sugiere que la dificultad de introducir un concepto científico se manifiesta en el hecho de que las disciplinas van reconceptualizando sus conceptos estructurales, en especial en disciplinas que están emergiendo (Ibáñez, 1994, p. 77 y 1997, p.68).

Un ejemplo de la evolución que ha seguido el *concepto de gen* (concepto base de la Genética), son las definiciones que aparecen en diferentes diccionarios científicos y que son trasladadas a los libros de texto. A continuación recogemos algunas de ellas:

“el determinante hereditario de una diferencia específica entre individuos”

(Tomado de: Diccionario de Ciencia y Tecnología de Chambers, 1991)

“fragmento de DNA que constituye la más pequeña unidad funcional”

(Tomado de: Vocabulario Científico y Técnico, 1990 y Diccionario esencial de las Ciencias, 1999; ambos de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales)

“una secuencia de nucleótidos que codifica para una proteína”

(Tomado de: Un glosario de Biología Molecular, Clinical Chemistry, 1989)

El alumnado de Secundaria no tiene capacidad para entender estas definiciones; por ejemplo, si adoptáramos la última tendríamos que abordar la síntesis de proteínas como parte de los contenidos a trabajar en el aula, algo impensable para ese nivel.

El criterio divulgativo, centrado en la utilidad o posible aplicación del concepto, nos llevaría a definirlo como:

“una parte de la cadena de ADN que contiene información genética”

Si hemos definido previamente el ADN como “la molécula de la herencia, el contenido químico de los cromosomas”, el alumnado podrá asociar la idea de gen al ADN y captar al menos que el gen es un fragmento significativo del ADN.

Si un concepto como gen, que es el concepto ‘bandera’ de la Genética, plantea este nivel de dificultad a la hora de divulgarlo, ¿qué ocurrirá con otros conceptos básicos de los que aparecen en nuestro mapa conceptual?

Para resolver esta cuestión se ha realizado un pequeño ejercicio de búsqueda rastreando cómo son definidos otros conceptos genéticos. Se han utilizado los diccionarios elaborados por instituciones españolas de gran relevancia por ser los más habituales en las bibliotecas de los centros educativos. Estos son, el *Diccionario de la Lengua Española de la Real Academia Española* (1984, 1992), y el *Vocabulario Científico y Técnico* (1990, 1996), y el *Diccionario esencial de las Ciencias* (1999), ambos de la *Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.

Las definiciones que encontramos son del tipo de:

ADN: “Ácido nucleíco cuyas unidades constituyentes son desoxirribunucleótidos. Se encuentran, de modo fundamental, en el núcleo, mitocondrias y cloroplastos vegetales”. “Constituyen la base molecular de la herencia biológica”.

Cromosoma: “Material hereditario con distinto nivel de organización, cuya estructura adquiere complejidad creciente en la evolución. La función esencial de los cromosomas es la de conservar, transmitir y expresar la información genética que contienen”. “Cada uno de ciertos corpúsculos, casi siempre en forma de filamentos, que existen en el núcleo de las células y solamente son visibles durante la mitosis”.

Estas definiciones de dos conceptos básicos en el tema de la genética no pueden ser entendidas por los estudiantes, no son significativas ni funcionales. Cada una de estas definiciones implica la necesidad de manejar mucha más información que no es relevante, ni necesaria para la comprensión del concepto. Como curiosidad incluimos, por terminar este análisis de conceptos básicos, un último ejemplo recogido en un diccionario con un título que tiene pretensiones divulgadoras, como es el *Diccionario de la Ciencia para Todos* (Alianza Editorial, 1994), ADN: “*Agentes del diseño y unión de las proteínas, moléculas gigantes y complejas que constituyen el material básico de todo tipo de vida*”. La definición, como tal, no aporta nada que haga entender, a cualquier lector potencial, lo que es el ADN.

Respecto a conceptos más novedosos relativos a la genética, el resultado de nuestra búsqueda ofrece los mismos desafortunados resultados:

Clonación: “*Proceso de replicación eficiente de un gran número de moléculas de DAN idénticas*”. “*Multiplicación asexual de microorganismos o poblaciones celulares poseedoras del mismo patrimonio genético, y que son estrictamente idénticos entre sí*”. “*Técnica por la que se producen múltiples copias de un plásmido, o de cualquier otro vehículo de clonación, por inserción en un huésped adecuado*”.

Enzima de restricción: “*Endonucleasa*”. Restricción se recoge como “*fenómeno de destrucción de DNA por las bacterias*”.

Terapia génica: “*Tratamiento de las enfermedades causadas por alteraciones de los genes mediante métodos que corrigen los defectos moleculares existentes*”.

Las definiciones son complejas y ambiguas. Por esta razón, en esta unidad didáctica todos los conceptos científicos que se utilicen pasarán por el tamiz del criterio de utilidad anteriormente definido. En el cuadro siguiente aparecen algunas de las definiciones de estos conceptos tal y como serán utilizadas en el aula.

Gen: “una parte de la cadena de ADN que contiene información genética”

Alelo: “cada una de las posibles variaciones dentro del carácter determinado por un gen, ej. gen: tipo de pelo, alelos: liso o rizado”

ADN: “la molécula de la herencia, el contenido químico de los cromosomas”

Bases nitrogenadas: “compuestos químicos que se repiten en la cadena de ADN aportando un lenguaje cifrado”

Cromosomas: “estructuras que aparecen en el núcleo celular y contienen los genes”

Terapia génica: “reemplazar un gen que contiene una información errónea por otro que la tiene correcta”

Vector: “virus, bacteria o trozo de ADN que se fabrica de forma totalmente artificial, y se utiliza como vehículo para transportar genes al interior de las células”

Clonación: “producción en serie de seres idénticos”

Enzimas de restricción: “*tijeras* bioquímicas que cortan el ADN por lugares determinados”

Electroforesis: “técnica de laboratorio que permite separar distintas moléculas según su peso y su carga eléctrica”.

Ser vivo transgénico: “ser vivo (bacteria, planta o animal) que lleva genes de otros seres vivos que pertenecen a especies diferentes”

Xenotrasplante: “trasplante de órganos entre individuos de diferente especie”

Cuadro 5.9: Relación de definiciones de los conceptos básicos de esta unidad didáctica. (Algunas definiciones están recogidas de: Ibáñez, 1994, 1997).

El aprendizaje de los estos conceptos se realizará dentro de actividades motivadoras, y siempre que sea posible con actividades de tipo manual (trabajo con modelos de cromosomas, tiras de ADN de papel, imágenes de los geles de electroforesis en casos de diagnóstico genético, etc.).

B. PROCEDIMIENTOS TRABAJADOS EN LA UNIDAD DIDÁCTICA

Los procedimientos son esenciales en esta unidad didáctica porque se fundamenta en una metodología de resolución de problemas como una investigación que permite, además de generar el desarrollo específico de los mismos, el aprendizaje de otro tipo de contenidos. A través de los procedimientos, se pretende que los estudiantes creen sus conocimientos conceptuales sobre la Genética y herencia humana y sobre la Naturaleza de la Ciencia, porque la utilización en la enseñanza de problemas abiertos ayuda a que los estudiantes desarrollen conexiones explícitas entre el conocimiento conceptual y los procesos de resolución (Slack y Stewart, 1990; Hafner, 1992). A su vez, también, facilitarán el desarrollo de actitudes científicas (Garrett, 1986, 1987, 1988; Varela, 1994). Por lo tanto, debemos seleccionar con cuidado los procedimientos y la forma de trabajarlos en el aula.

B.1. La selección de procedimientos

La revisión sobre los procedimientos relacionados con la resolución de problemas pone de manifiesto la gran variedad, y las numerosas clasificaciones que se han realizado de los mismos (Sigüenza y Sáez, 1990; Perales, 1993; Watson, 1994; Pro Bueno, 1998).

Los procedimientos, que esperamos que nuestros estudiantes aprendan, organizados según las variables metodológicas de la MRPI y la variable de verbalización, son:

VM1: Análisis cualitativo del problema

Representación y comprensión de la situación

Reformulación del problema y planteamiento de cuestiones

Restricción de condiciones

Identificación de partes del problema

VM2: Emisión de hipótesis

Emisión de hipótesis a partir de un marco teórico

VM3: Elaboración de una estrategia de resolución

Identificación y control de variables

Determinación de los datos necesarios para la resolución del problema

Planificación una estrategia de resolución

Selección de pruebas adecuadas para contrastar la hipótesis

VM4: Resolución

Uso de los datos y variables de forma adecuada

Organización y representación gráfica de datos

Interpretación de observaciones y datos

Elaboración de un informe de resultados

VM5: Análisis de los resultados

Interpretación de los resultados a la luz de las hipótesis y del marco teórico utilizado

Búsqueda de generalizaciones

Realización de un juicio crítico de los resultados y del proceso de obtención de datos

VV: Variable de verbalización

Comunicación escrita del proceso de resolución utilizando de forma correcta el lenguaje científico y desarrollando de forma adecuada cada una de los aspectos que se han trabajado.

B.2. La enseñanza y aprendizaje de procedimientos

En el proceso de aprendizaje de una metodología, la discusión principal que se establece entre los didactas es la siguiente: ¿cuándo realizar este tipo de aprendizaje?, ¿antes de aplicar la metodología en el aprendizaje de unos contenidos , o bien durante el propio proceso de aprendizaje?

Los dos frentes de la cuestión son: la *visión atomista* de la enseñanza de los procedimientos (proceso por proceso) y la *visión holista* (dentro del proceso de

resolución de problemas). Estas aproximaciones presentan sus propias argumentaciones y, por supuesto, sus críticas. En el siguiente cuadro se recogen algunos de los principales argumentos que proponen los autores más representativos de cada visión; y, también, las críticas que ambas posturas se realizan de forma mutua.

	VISIÓN ATOMISTA (Warwick Science Project, 1986)	VISIÓN HOLISTA (Woolnough, 1989, 1991; Caamaño, 1992)
ARGUMENTOS	<p>La complejidad conceptual y de procedimientos de los trabajos prácticos y de investigación, sugieren un aprendizaje por partes de los mismos.</p> <p>Una vez aprendidos los procesos, su aplicación al aprendizaje de unos contenidos concretos será más rápida.</p>	<p>Visión constructivista del proceso de aprendizaje. Los aprendizajes se realizan dentro de los marcos conceptuales en los que son aplicados, y no fuera de contexto.</p> <p>Aspectos epistemológicos sobre el origen del conocimiento científico como un todo; conceptos, procesos y actitudes que se desarrollan en la resolución de problemas.</p>
CRÍTICAS	<p>Los constructivistas cuestionan que los procesos cognitivos implicados en una resolución de problemas puedan ser aprendidos de forma aislada.</p> <p>También, se cuestiona que los alumnos puedan realizar una transposición de lo aprendido fuera de un contexto, a la resolución de problemas referentes a algún contenido en concreto.</p> <p>El aprendizaje de procesos fuera de un contexto y de forma exhaustiva puede desmotivar al alumnado.</p>	<p>Los defensores del enfoque atomista consideran que es difícil que los alumnos puedan estar pendientes del aprendizaje de los procedimientos si a la vez han de estar concentrados en la resolución de las investigaciones.</p> <p>Lentitud en el desarrollo de los primeros contenidos sobre los que se aplican los procesos.</p>

Cuadro 5.10: Resumen de argumentos y críticas sobre la visión atomista y holista del aprendizaje de procedimientos

La visión holista propone un acercamiento más constructivista del proceso de aprendizaje, y se ajusta más a la realidad de la creación de nuevos conocimientos científicos. La visión atomista propone un acercamiento más pragmático al “problema” de enseñar unos procedimientos. Podríamos resumir la cuestión diciendo que son visiones distintas de un proceso de enseñanza-aprendizaje porque, una se plantea cómo favorecer un aprendizaje y, la otra, cómo facilitar una enseñanza.

En nuestro caso, la introducción de los procedimientos necesarios para trabajar con la MRPI, se va a apoyar en la visión holista cuya fundamentación es de naturaleza epistemológica y psicopedagógica, que no es contradictoria con abordar aspectos puntuales de la metodología de forma previa. Esta visión más ecléctica entre ambas posturas, es recogida por autores constructivistas de tendencias holistas (Millar, 1991).

C. ACTITUDES TRABAJADAS EN LA UNIDAD DIDÁCTICA

Es importante trabajar y dar valor a las actitudes dentro del aula porque numerosas investigaciones ponen en evidencia que los estudiantes desarrollan actitudes negativas hacia la Ciencia, tendencia que aumenta con los años de escolarización (Schibechei, 1984; Giordan, 1985; James y Smith, 1985; Welch, 1985; Yager y Penick, 1983, 1986; Simpson y Oliver, 1990; Espinosa y Román, 1991; Ortega y otros, 1992; Solbes y Vilches, 1997; Vázquez y Manassero, 1997).

Las actitudes que se van a trabajar en esta unidad didáctica surgen de los objetivos del enfoque C-T-S relativos a la incorporación de contenidos sobre la Naturaleza de la Ciencia y de los aspectos sociales de la misma. También, el modelo didáctico constructivista en el que nos movemos implica tener muy en cuenta los aspectos motivacionales y afectivos en la selección de los contenidos que se van a trabajar.

En nuestro caso, las actitudes científicas y hacia la ciencia van a ser facilitadas por el tipo de contenidos conceptuales, motivadores y cercanos a la realidad del alumno, y la MRPI que va a facilitar una visión más cercana a las posturas epistemológicas actuales sobre la forma en que se elabora el conocimiento científico. Además el trabajo que realicen los estudiantes con esta metodología les permitirá sentirse protagonistas de su propio aprendizaje, aspecto importante desde el punto de vista del interés y la autoconfianza.

C.1. La selección de actitudes

El conjunto de actitudes que se van a trabajar se han diferenciado en actitudes relacionadas con la Ciencia, tanto científicas como hacia el estudio de la misma, y actitudes relativas a las relaciones C-T-S.

Actitudes relacionadas con la Ciencia

- Actitudes científicas o sobre la Ciencia:
 - Considerar de forma favorable la importancia de la Ciencia como conocimiento, y valorar los logros obtenidos gracias a la investigación científica.
 - Valorar la curiosidad, creatividad, apertura de mente, objetividad, el trabajo en equipo y la utilización de criterios científicos, entre otras, como características de la Ciencia.

- Actitudes hacia la Ciencia
 - Motivación e interés hacia el estudio de la Ciencia, y en concreto de la Genética, porque se aprecia la importancia de tener una formación científica.
 - Motivación e interés hacia la MPRI.

Actitudes relativas a las relaciones C-T-S

- Valorar la interacción que el conocimiento científico y tecnológico, en concreto en el campo de la Genética, presente en diversos ámbitos sociales como el económico, el político, el ético, etc.

- Desarrollar opiniones propias y críticas sobre los avances de la ingeniería genética en aspectos como: la terapia génica, los test genéticos, la clonación de embriones, la creación de seres vivos transgénicos, etc., que permita tomar decisiones con criterio científico sobre estas cuestiones.

C.2. La enseñanza y aprendizaje de actitudes

El proceso de enseñanza-aprendizaje de actitudes presenta peculiaridades que hace difícil su puesta en práctica (Pozo y otros, 1991). En primer lugar, no se pueden situar en un área de conocimiento determinado por su carácter transversal; tampoco se pueden ordenar en una secuencia didáctica determinada; y, por último, no es sencillo constatar la progresión de los aprendizajes realizados.

Además, antes de abordar el aprendizaje de actitudes, hay que tener en cuenta sus *componentes afectivos, cognitivos e intencionales* (Azjen y Fishbein, 1980, cit. en Serrano, 1989). La dimensión afectiva de la actitud se plantea en términos de interés, satisfacción, entretenimiento, deseo o preferencia; la dimensión cognitiva se encuentra en la base de conocimientos que deben sustentar a la actitud; y, por último, la dimensión intencional se manifiesta en la conducta o comportamiento de los estudiantes. Por lo tanto, estas tres dimensiones deben tenerse en cuenta a la hora de diseñar actividades, de forma, que puedan:

- Motivar, al generar expectativa en los estudiantes sobre su aprendizaje y, permitir que se sientan satisfechos con su trabajo y esfuerzo.
- Aportar la información adecuada para provocar que se produzca un cambio de actitud.
- Poner a los estudiantes en situaciones en las que tengan que manifestar las actitudes que han desarrollado.

Todos estos condicionantes se han tenido en cuenta en la elaboración de la secuencia de actividades de esta unidad didáctica. En conjunto, las actividades de enseñanza implican activamente al alumno en su aprendizaje, le proponen diversos retos cuya resolución le llenará de satisfacción, le aportan informaciones que debe contrastar y discutir con sus compañeros de trabajo, y le involucran en la toma de decisiones, tanto en la elección de conocimientos y estrategias de resolución, como en su postura personal ante problemas sociales con base científica.

5.3 ANÁLISIS DIDÁCTICO DE LOS CONTENIDOS DE GENÉTICA

Las investigaciones realizadas para valorar los resultados obtenidos en el aprendizaje de contenidos sobre Genética, por parte de alumnado de diferentes niveles educativos, revela las dificultades que entraña este aprendizaje, y la falta de comprensión de los procesos biológicos implicados en la herencia de caracteres.

En este apartado se pretende recoger un resumen de los distintos aspectos que influyen en el aprendizaje de la Genética. Para ello nos apoyaremos en los resultados de distintos trabajos e investigaciones relativas a la enseñanza de la Genética (Apartado 5.3.1) y a las ideas alternativas de los estudiantes sobre la herencia (Apartado 5.3.2). La introducción de la MRPI y el enfoque C-T-S, que fundamentan nuestra unidad didáctica, requiere conocer las ideas alternativas de los estudiantes sobre la Naturaleza de la Ciencia y las interrelaciones ente Ciencia, Tecnología y Sociedad (Apartado 5.3.3). Otro de los aspectos a considerar es la influencia de la actitud de los estudiantes hacia el estudio de las ciencias (Apartado 5.3.4). También, nos referiremos al nivel de desarrollo cognitivo de los estudiantes de 4º de E.S.O., en relación con las exigencias cognitivas de estos contenidos de (Apartado 5.3.5).

De todo este estudio surge la concreción de la unidad didáctica como una alternativa novedosa a cómo se trabaja de forma habitual en los libros de texto (Apartado 5.3.6).

5.3.1. LAS DIFICULTADES DE LA ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA GENÉTICA

En una revisión bibliográfica reciente, realizada por Bugallo (1995), sobre la didáctica de la Genética, se constata la importancia de este tema en el número creciente de publicaciones. No en vano, la Genética es un conocimiento base en la teoría de la evolución, que orienta la interpretación de los hechos biológicos, y tiene grandes repercusiones económicas, éticas y sociales.

Numerosas investigaciones confirman que, tras la instrucción, los estudiantes siguen manteniendo, en gran medida, sus ideas alternativas iniciales sobre la localización de la información hereditaria, la forma en que se transmite y, la herencia o no de caracteres adquiridos; y que no resuelven correctamente los problemas al no comprender la relación entre cromosomas, genes, alelos y carácter, y en qué consiste el proceso de meiosis (Stewart, 1982 y 1983; Collins y Stewart, 1989; Pashley, 1994; Banet y Ayuso, 1995 y 2000).

Estudios sobre el pensamiento del profesor ponen de manifiesto que los contenidos de Biología son los más importantes y difíciles en la enseñanza (Finley y otros 1982) y en su aprendizaje (Jonhstone y Mahmound, 1980).

Las posibles causas de dicha dificultad en el proceso de enseñanza-aprendizaje se puede buscar en:

1. Las ideas alternativas de los estudiantes sobre la herencia.
2. Las exigencias cognitivas de dichos contenidos
3. El uso de la terminología.
4. Las dificultades en la resolución de los problemas.
5. Las características de los sistemas tradicionales de enseñanza.

Sobre los dos primeros puntos nos vamos a referir en apartados específicos dentro de este análisis didáctico (5.3.2 y 5.3.5). Respecto a los otros tres puntos, vamos a realizar una revisión sobre la información que aparece en la bibliografía.

Para algunos autores la **terminología científica** utilizada en esta disciplina genera problemas en el aprendizaje por:

- Los conceptos básicos de la Genética se usan de forma incorrecta en los libros de texto (Cho y otros, 1985; García cruz, 1990) y en el aula. A este respecto, podemos referirnos al análisis de los diccionarios científicos que aparece en el Apartado 5.2.4. y al hecho, ya mencionado, de la reconceptualización que sufren las ciencias.
- Algunos de esos conceptos se utilizan con otro significado en el lenguaje coloquial (Albadalejo y Lucas, 1988).
- Se usan metáforas inapropiadas (Martins y Ogborn, 1997).
- La semejanza superficial de los procesos de división celular, mitosis y meiosis, genera confusión entre los términos (Radford y Bird-Stewart, 1982; Smith, 1991).
- No se establecen las relaciones entre conceptos imprescindibles para un correcto aprendizaje (Collins y Stewart, 1989), en especial, la relación entre meiosis y distribución de la información hereditaria en la formación de gametos (Radford y Bird-Stewart, 1982; Brown, 1990; Smith, 1991; Cavallo, 1996).

En relación a la **dificultad en la resolución de problemas de Genética**, las investigaciones se han centrado en aspectos relacionados con la necesidad de conocimientos de tipo conceptual y matemático, con el tipo de problemas y las estrategias de resolución, y con el nivel de desarrollo cognitivo que requiere (Ayuso y otros 1996). El aspecto conceptual ya ha sido mencionado arriba, y las exigencias cognitivas se recogen en el Apartado 5.3.5.

Como en otras investigaciones relacionadas con la resolución de problemas, se ha demostrado que el hecho de que los alumnos resuelvan correctamente problemas cerrados, los ejercicios clásicos, no significa necesariamente que usen un conocimiento conceptual adecuado (Kinnear, 1983; Stewart, 1983; Hackling y Treagust, 1984; Thompson y Stewart, 1985; Moll y Allen, 1987; Ayuso y otros 1996). Los alumnos aplican algoritmos, o representaciones como el cuadro de Punnett, sin comprender el entramado conceptual que subyace en ellos. En consecuencia, diversos trabajos sugieren

que se ponga más énfasis en los procesos de resolución de problemas que en la obtención de una respuesta correcta por parte de los estudiantes (Smith, 1988, Stewart y Dale 1989; Stewart y Hafner, 1991).

En nuestra investigación esta dificultad supone extremar las consideraciones porque trabajamos con problemas abiertos, lo que implica el uso de diversas estrategias, incluida la elaboración de árboles genealógicos, que estarán determinadas por el análisis cualitativo que realicen los estudiantes del problema y, por la hipótesis que emitan. Estos problemas entran dentro de la categoría de problemas de “*investigación*”, auténticos problemas donde se deben aplicar las estrategias propias del proceso de investigación (Gil y Martínez Torregrosa, 1983).

Por último, **la enseñanza tradicional de la Genética** parece no generar un aprendizaje significativo en los estudiantes como sugieren las investigaciones realizadas al respecto (Thomas, 2000).

El conjunto de características que presenta la enseñanza habitual de la Genética en torno a los contenidos, la resolución de problemas y las estrategias de enseñanza, es abordada por Banet y Ayuso (1995, 1998 y 2000) que sugieren algunas propuestas de cambio, para que el proceso de enseñanza-aprendizaje sea más eficaz, recogidas en el siguiente cuadro:

CARACTERÍSTICAS DE LA ENSEÑANZA TRADICIONAL DE LA GENÉTICA (Banet y Ayuso, 1998)	IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA (Banet y Ayuso, 1995, 1998, 2000; Ayuso y Banet, 2002)
Selección y secuenciación de contenidos	
<ul style="list-style-type: none"> • El estudio de la herencia biológica suele iniciarse con las leyes de Mendel (utilizando las plantas como ejemplos). • En ocasiones, se definen previamente los conceptos básicos de Genética (gen, alelo, homocigosis). • No se suelen relacionar mitosis y meiosis con la transmisión de la información hereditaria, sino con división celular y/o reproducción • La herencia de los caracteres adquiridos en las personas suele desarrollarse al final de la Genética 	<ul style="list-style-type: none"> • Tratar los trabajos de Mendel con posterioridad, al menos cuando los estudiantes puedan interpretar adecuadamente los resultados. • Tener en cuenta la propia estructura de la Genética como disciplina científica. • Establecer relaciones oportunas entre mitosis y meiosis y la transmisión de la información hereditaria. • Trabajar la herencia humana como tema central
Resolución de problemas	
<ul style="list-style-type: none"> • Los problemas son de lápiz y papel (cerrados, de solución única, causa efecto) y poco centrados en caracteres humanos. • Alcanzar la solución correcta se considera un indicador del aprendizaje de los estudiantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajar con problemas que permitan entender mejor los conceptos de Genética y que propongan ejemplos sobre herencia humana • La resolución de problemas debe poner en práctica procedimientos característicos de la actividad científica
Estrategias de enseñanza	
<ul style="list-style-type: none"> • Basada, fundamentalmente, en la explicación del profesorado. • El principal material de enseñanza lo constituye el libro de texto correspondiente. • No se suelen tener en cuenta los conocimientos previos de los estudiantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar estrategias para facilitar la superación de los obstáculos de aprendizaje • Partir de las ideas alternativas de los estudiantes

Cuadro 5.11: Comparación entre las características de la enseñanza tradicional de la Genética y las propuestas de cambio, elaborada a partir de Banet y Ayuso.

Otros autores también plantean propuestas de cambio en relación con nuevas estrategias (Walker y otros, 1980; Radford y Bird-Stewart, 1982; Cho y otros 1985; Pearsons y Hugues, 1988; Cavallo y Schafer, 1994), con la introducción de la perspectiva histórica (Jiménez y Fernández, 1987; Corcos y Monaghan, 1987; Kinnear, 1991; González y otros 1998), y con la necesidad de hacer que la herencia humana sea el tema central (Haddow y otros 1988; Mertens, 1990). Todas estas implicaciones o propuestas se incluyen en el diseño de la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?”. En ella, se propone una nueva forma de trabajar la Genética a partir de la MRPI abordando verdaderos problemas que permitan a los estudiantes un aprendizaje significativo; se plantea el desarrollo de los contenidos siguiendo una secuencia histórica de los mismos y, teniendo en cuenta las ideas alternativas de los estudiantes; y, por último, todos los problemas y actividades son muy motivadores porque se refieren a herencia humana y, a la importancia social de los conocimientos científicos y tecnológicos de la Genética.

5.3.2. LAS IDEAS ALTERNATIVAS DE LOS ESTUDIANTES SOBRE LA HERENCIA

Los estudios sobre las concepciones de los alumnos es una de las líneas de investigación en didáctica de las ciencias experimentales que, en las últimas décadas, más se ha desarrollado y, dentro del campo de la Biología, el tema de la herencia, ha sido uno de los más tratados.

En la bibliografía se pueden encontrar diversas revisiones bibliográficas sobre este tema (Mintzes y Arnaudin, 1984; Carmichael y otros, 1990; Driver y otros, 1994; Banet y Ayuso, 1995; De Manuel y Grau, 1996). En este apartado no se pretende realizar una nueva revisión de estas ideas, ni un nuevo barrido sobre la bibliografía que existe sobre ello. Sólo se pretende analizar y categorizar los resultados obtenidos.

Para ello hemos recurrido a publicaciones aparecidas, en los últimos quince años, en los cauces de comunicación de la didáctica de las ciencias y educación anglosajonas (*International Journal of Science Education, Journal of Research in Science Teaching, Journal of Biological Education, Science Education, Handbook of Reseach on Science Teaching an Learning*), francófonas (A.S.T.E.R.) y españolas (*Enseñanza de las Ciencias, Investigación en la escuela, Infancia y Aprendizaje, Alambique*). Las muestras de estudio abarcan toda la etapa de Secundaria (12-18 años) y los primeros cursos de Universidad, y los instrumentos que se utilizan en estos trabajos son diversos como las entrevistas y los cuestionarios cerrados y abiertos. El estudi de Ramagoro y Wood-Robinson (1995) en África, es interesante porque amplía la procedencia cultural de los sujetos de investigación.

Tras analizar toda la información así recogida, la hemos organizado en torno a tres grandes núcleos o ámbitos que conforman los contenidos que se van a desarrollar en la unidad didáctica, y que son:

1. La localización de la información hereditaria
2. La herencia de padres a hijos.
3. La herencia de caracteres adquiridos

En lo referente a contenidos conceptuales sobre la biotecnología genética y sus aplicaciones no hemos encontrado ideas específicas más allá de las reflejadas para los ámbitos anteriores. Por otra parte, los conocimientos sobre la mitosis y meiosis (por ejemplo, confusión entre cromátidas y cromosomas, o las diferencias en la distribución del material genético en los dos procesos de división celular), para los alumnos con los que se realiza esta investigación son contenidos escolares nuevos que no influyen en sus ideas alternativas.

En el siguiente cuadro se recogen las concepciones de los alumnos sobre la herencia que nos permiten conocer los obstáculos que podemos encontrar a la hora de generar un cambio conceptual, y nos guían en el diseño del itinerario de aprendizaje de nuestra unidad didáctica.

ÁMBITO	CATÁLOGO DE IDEAS	AUTORES
La localización de la información hereditaria	<ul style="list-style-type: none"> • Los seres vivos que no sean animales, como las plantas, no tienen células, ni cromosomas, ni genes • La información genética sólo se encuentra en los gametos (cromosomas sexuales). • No localizan los cromosomas en el núcleo y los genes en los cromosomas, e incluso un ser vivo tiene genes pero puede no tener cromosomas. • Confusión entre cromátidas y cromosomas homólogos. Los cromosomas homólogos llevan la misma información o las cromátidas distinta. La estructura del cromosoma con dos cromátidas se relaciona con la diploidía. • Gen y alelo como algo distinto o bien los alelos como partes del gen. • Todos los cromosomas de una persona llevan la misma información • Cada célula lleva información genética distinta según su función. Las células del mismo tipo son genéticamente idénticas, y las células distintas contienen distinta información hereditaria. • Las nuevas células que se forman son de una forma determinada por su función, no debido a la información hereditaria. 	<p>Banet y Ayuso, 1995 y 2000 Wood-Robinson y otros, 1998 Banet y Ayuso, 1995 y 2000</p> <p>Lawson, 1988 Banet y Ayuso, 1995 y 2000 Lewis y otros, 2000 a</p> <p>Browning y Lehman, 1988 Kindfield, 1991 Ayuso y otros, 1996</p> <p>Ayuso, y otros, 1996</p> <p>Ayuso y otros, 1996</p> <p>Banet y Ayuso, 1995 y 2000 Wood-Robinson y otros., 1998 Lewis y otros, 2000 b</p> <p>Banet y Ayuso, 1995</p>
La herencia de padres a hijos	<ul style="list-style-type: none"> • La aparición de algunos caracteres porque es mayor la influencia de uno de los padres (generalmente el padre). • Los gemelos son idénticos porque proceden de los mismos padres y en el mismo parto • Herencia del sexo determinada por los espermatozoides, la sangre o la suerte. 	<p>Banet y Ayuso, 1995 Ramagoro y Wood-Robinson, 1995 Lawson, 1988</p> <p>Ramagoro y Wood-Robinson, 1995</p> <p>Ramagoro y Wood-Robinson, 1995</p>
La herencia de caracteres adquiridos	<ul style="list-style-type: none"> • Atribuyen cierta influencia del medio en el origen de la variabilidad genética, en la especie humana y en otros seres vivos. • Transmisión de los caracteres adquiridos. La mutaciones ocurridas en cualquier célula se transmiten. 	<p>Banet y Ayuso, 1995 Ramagoro y Wood-Robinson, 1995</p> <p>Banet y Ayuso, 1995 Ramagoro y Wood-Robinson, 1995</p>

Cuadro 5.12: Catálogo de ideas alternativas de los estudiantes sobre la herencia.

A partir de este catálogo de ideas hemos indagado sobre la posible **categorización de las mismas en esquemas conceptuales con coherencia interna**. Los estudiantes no utilizan todas estas ideas alternativas de forma inconexa, sino que se articulan dentro de estructuras conceptuales que les permiten dar explicaciones a los procesos de herencia de caracteres.

El trabajo de identificar esquemas, que van aproximándose a un nivel de formulación más científico, es una labor que requiere disponer de una gran cantidad de datos y, realizar un estudio minucioso en grupos de estudiantes con las mismas concepciones. Banet y Ayuso (1995) y Wood-Robinson y otros (1998) han descrito sendos sistemas de categorías complementarios sobre la localización de la información hereditaria, conocimiento fundamental para construir el resto de esquemas.

A partir de los trabajos de estos autores, de la información recogida en la bibliografía, y de la propia experiencia docente, que nos aporta una visión sobre cómo piensan los estudiantes, hemos generado niveles de categorías de ideas para cada uno de los tres grandes ámbitos de contenidos sobre los procesos de herencia, que van a permitir explicar la evolución de las ideas de los alumnos hacia posturas más complejas y próximas a las aceptadas actualmente por la ciencia, y que son:

Nivel 0: No se puede deducir ningún esquema conceptual en la respuesta dada (lo que no quiere decir que no exista).

Nivel 1: Las respuestas dadas no son coherentes y están alejadas de lo científicamente aceptado.

Nivel 2: Las respuestas presentan un esquema alternativo que aplican con cierto grado de coherencia.

Nivel 3: Las respuestas se pueden considerar científicamente aceptables dentro de las limitaciones propias del nivel educativo de los estudiantes como problemas de lenguaje y expresión.

En el siguiente cuadro se presenta la relación entre los esquemas conceptuales (EC) y el tipo de explicación asociada con cada nivel, que vamos a utilizar en esta investigación como criterio para evaluar el aprendizaje de contenidos conceptuales.

ESQUEMA CONCEPTUAL	NIVEL	TIPO DE EXPLICACIONES
EC1: La localización de la información hereditaria	1	La información hereditaria se encuentra en algunas estructuras (genes, ADN, células sexuales) sin relación entre sí.
	2	La información hereditaria se encuentra en los cromosomas sexuales (XX para la mujer, y XY para el varón) de los gametos.
	3	La información hereditaria se encuentra en los cromosomas que hay en los núcleos de las células. Un par de estos cromosomas se llaman cromosomas sexuales..
EC2: La herencia de padres a hijos	1	Un hijo puede recibir más información genética de uno de sus padres, sobre todo los hijos de los padres y las hijas de las madres. Además la herencia de algunos caracteres presenta saltos, pasando de los abuelos a los nietos.
	2	Los hijos reciben la mitad de la información hereditaria de cada uno de sus padres (cromosomas). Aunque pueden recibir más caracteres físicos de uno, y más psicológicos de otro, por ejemplo. Sus padres, a su vez, recibieron información genética de los abuelos.
	3	Los hijos reciben la mitad de la información hereditaria del padre y de la madre (cromosomas) a través de los gametos. Por lo tanto para cada carácter presentan dos alelos, uno de cada padre, y manifiestan aquel que sea dominante. A veces se manifiestan caracteres recesivos que los padres portaban sin manifestarlos.
EC3: La herencia de caracteres adquiridos	1	El medio ambiente modifica la información genética siempre que el cambio sea importante para sobrevivir (color de piel). Estos cambios se heredan, poco a poco, de generación a generación.
	2	Sólo se heredan nuevos caracteres, provocados por el ambiente, si se ha producido una mutación en la información genética de las células, o ya estaban en otros antepasados y se ha producido un salto.
	3	Sólo se heredan nuevos caracteres, provocados por el ambiente, si las mutaciones se han producido en los gametos, o si la información genética ya estaba presente (recesiva) en el individuo.

Cuadro 5.13: Relación de los esquemas conceptuales y sus niveles según la coherencia interna de las explicaciones dadas y la cercanía a esquemas conceptuales aceptados por la comunidad científica

5.3.3. LAS IDEAS ALTERNATIVAS DE LOS ESTUDIANTES SOBRE LA NATURALEZA DE LA CIENCIA Y LAS RELACIONES C-T-S

Son numerosas las investigaciones que se han realizado sobre las ideas de los alumnos referentes a estos temas. Éstas demuestran que la ciencia escolar transmite de forma implícita una visión inductivista y muy estereotipada de la ciencia y una imagen del trabajo científico muy alejada de la realidad; además, no permite el conocimiento y el desarrollo de una postura crítica ante las relaciones C-T-S. Los resultados de estas investigaciones son muy similares, con independencia del lugar de realización de las mismas, el tipo de metodología (cuestionario cerrado o abierto, dibujos, entrevistas) y, la edad de los individuos.

De forma semejante a como se hizo en el Apartado 5.3.2, sobre las ideas de herencia, hemos procedido para recopilar información los estudios que en los últimos 15 años han aparecido en las principales revistas de didáctica y educación.

Las ideas de los estudiantes se han agrupado en torno a cuatro categorías o ámbitos como queda reflejado en el cuadro 5.14:

La información, que se ha obtenido con esta revisión bibliográfica, confirma nuestra idea sobre la importancia de introducir este tipo de contenidos en el currículo de la enseñanza de las ciencias experimentales en Secundaria Obligatoria, de ahí su presencia en la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?”.

ÁMBITO	CATÁLOGO DE IDEAS	AUTORES
Ideas sobre cómo se trabaja en ciencia	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo de laboratorio, con productos químicos humeantes y, supuestamente, explosivos. • Trabajo individual, científicos trabajando en solitario. • Los descubrimientos se realizan de forma brusca y azarosa. • El método científico empieza con la observación que permite llegar a explicaciones, visión empirista de la ciencia. • La finalidad de la ciencia es conocer el mundo e inventar cosas. • Los experimentos son impredecibles. (los alumnos de más edad tienen otra visión, los científicos sí saben lo que esperan de los experimentos) 	<ul style="list-style-type: none"> Reiss, 1993 Solomon, 1994 b Vázquez y Manassero, 1998 <ul style="list-style-type: none"> Durant y otros, 1989 Duveen y otros, 1993 <ul style="list-style-type: none"> Duveen y otros, 1993 Solomon y otros, 1996
Ideas sobre lo que es una teoría	<ul style="list-style-type: none"> • Las teorías son el resultado correcto de los experimentos y, por lo tanto, no hay diferencia entre las teorías y las evidencias o hechos reales. • Las teorías son predicciones o suposiciones y, por lo tanto, no diferencian teoría de hipótesis. 	<ul style="list-style-type: none"> Solomon y otros, 1996 Duveen y otros, 1993
Ideas sobre los científicos	<ul style="list-style-type: none"> • Varón, raza blanca, calvo, con gafas gordas, vestido a la europea, con bata blanca llena de remiendos, realizando experimentos químicos y trabajando sólo en sitios cerrados. • Personas honestas, objetivas, inteligentes, sin prejuicios (incluso también fuera de su trabajo como científicos). La principal motivación del científico es resolver problemas, satisfacer su curiosidad y hacer del mundo un lugar mejor en el que vivir. • La imagen de la mujer en la ciencia como científica no es relevante, y siempre en un papel secundario o pasivo. • Los científicos son expertos con capacidad de decisión sobre los problemas sociales 	<ul style="list-style-type: none"> Serrano, 1987 a Reiss, 1993 Solomon, 1994 b Vázquez y Manassero, 1998 <ul style="list-style-type: none"> Serrano, 1987 a Ryan, 1987 Fleming, 1987 Aikenhead, 1987 <ul style="list-style-type: none"> Matthews, 1994 Ryan, 1987 <ul style="list-style-type: none"> Fleming, 1987
Ideas sobre las relaciones C-T-S	<ul style="list-style-type: none"> • La tecnología se asocia a un proceso de diseño, a los inventos, las cosas modernas y positivas, a la electricidad y el poder. • No diferencian los papeles de la ciencia y la tecnología. • La responsabilidad de los efectos perjudiciales de algunos avances científicos, se debe al mal uso que de ellos hacen las personas. • Se debe invertir en investigaciones que sean útiles. 	<ul style="list-style-type: none"> Raat y De Vries, 1987 Rennie y Jarvis, 1995 <ul style="list-style-type: none"> Fleming, 1987 Borreguero y Rivas, 1995

Cuadro 5.14: Catálogo de ideas alternativas de los estudiantes sobre la Naturaleza de la Ciencia.

5.3.4. LA INFLUENCIA EN EL APRENDIZAJE DE LA ACTITUD HACIA EL ESTUDIO DE LA CIENCIA

La enseñanza de la ciencia es algo fundamental en una sociedad tan dependiente de los avances científico-tecnológicos como temerosa de los mismos. Sin embargo, numerosos trabajos con estudiantes de 12-16 años ponen en evidencia actitudes poco favorables hacia la Ciencia y su estudio; así como, la pérdida de interés que se produce con el paso de los años de escolarización. Como ejemplo, pueden servir los siguientes trabajos. Giordan (1982) realiza un estudio con estudiantes de 12-14 años para analizar los comportamientos de chicos y chicas cuando se les plantean situaciones de investigación sobre temas de ciencias naturales. Sus conclusiones son que los estudiantes, al llegar a estas edades, han perdido por completo la actitud de curiosidad necesaria para comenzar cualquier proceso de investigación. Según el autor, los métodos escolares han favorecido ‘la extinción de la capacidad investigadora del niño’ frente a los fenómenos naturales. Ante situaciones que tienen que resolver, los estudiantes no se creen capaces y su actitud es de huida, intentando buscar las respuestas en los libros de texto. Kelly (1986) realiza un estudio longitudinal sobre el interés de los estudiantes hacia las ciencias. Esta autora comprueba que, en general, es mayor en chicos que en las chicas, hasta el fin de la educación primaria (11 años); y, que en ambos sexos, este interés disminuye con los años, algo que también se ha constatado en contexto español (Serrano 1987b, 1988c; Ortega y otros, 1992).

Por estos motivos, y para su posterior utilización en el diseño de la unidad didáctica, vamos a realizar una revisión bibliográfica sobre los aspectos que inciden en la actitud de los alumnos. Tomamos como referencia una amplia revisión de las actitudes y el aprendizaje de la Biología realizada por Serrano (1989), y las ideas ejes propuestas por la autora para organizar la información.

Interés por la materia y preferencia de temas de ciencias naturales

Diversos trabajos indican que los estudiantes presentan más interés por el estudio de la Biología que por Física o Química; en especial, de temas relacionados con la biología humana (Lazarowitz y otros, 1985; Gardner y Tamir, 1989; Osborne y Collins 2001). Las razones que esgrimen, además del tipo de contenido y su utilidad en

la vida diaria, son referentes a cuestiones de clima de aula y metodología que comentamos a continuación (Lazarowith y otros, 1985).

En el ámbito anglosajón hay estudios que relacionan el género con las asignaturas elegidas, Biología las chicas y Física los chicos (Lazarowith y Lazarowith, 1979; Erikson y Erikson 1984; Kelly, 1986; Osborne y Collins 2001). Algunos autores han justificado estos resultados aludiendo tanto a la imagen que la sociedad tiene de una ciencia masculina y, que la educación refuerza y transmite de forma implícita (Sahuquillo y otros, 1993), como a factores específicos de género. Sobre la existencia de estereotipos sociales discriminatorios, Spear (1984) constata que los profesores califican mucho más alto los mismos exámenes si el autor es un chico que si es atribuido a una chica. No obstante, aunque para nuestra muestra de estudio, con un 76;66% de mujeres, estos aspectos no se podrían analizar, de forma empírica Varela (1994) comprobó en una investigación semejante a la nuestra la no influencia del género en los resultados obtenidos.

Dentro de los objetivos del enfoque C-T-S, que presenta esta unidad didáctica, se encuentra el de favorecer una visión de la Naturaleza de la Ciencia más cercana a la epistemología actual y, por lo tanto, menos estereotipada.

La influencia del clima de aula

Sobre la influencia que el ambiente de estudio tiene en el aprendizaje de las ciencias, también se han realizado diversos estudios (Lawrenz, 1976; Fraser y Fisher, 1983; Hofstein y Lazarowitz, 1986; Escribano y Peralta 1993), cuyas conclusiones son que los estudiantes:

- prefieren un clima de aula que se caracterice por la utilidad de lo que aprenden en su vida cotidiana; competitividad no muy alta; mayor organización del aprendizaje; menor nivel de dificultad de la materia (consideran que estas características se dan más en las clases de Biología que en las de otras disciplinas científicas);
- perciben como negativa las fricciones entre ellos, y situaciones de favoritismo por parte del profesor;
- desean una atención más individualizada y menos distante por parte del profesor;

- les gustaría que sus opiniones y sugerencias se tuvieran en cuenta y poder participar más en la organización y desarrollo de la clase;
- en aspectos relativos al trabajo de investigación en el aula y, al trabajo diferenciado según capacidades e intereses de ellos mismos, sus posturas son ambiguas.

El tipo de trabajo que se va a seguir en el desarrollo de la unidad didáctica, donde los estudiantes, en grupos de trabajo, van a resolver problemas, mientras que la profesora actúa de guía en el proceso de aprendizaje, va a generar un ambiente de aula muy propicio al aprendizaje. Es verdad, que, en principio, esta forma de trabajo les ocasionará desconcierto y hasta frustración; pero, una vez que hayan empezado a resolver los problemas por sí mismos, les llenará de satisfacción (Martínez Aznar y Ovejero, 1997).

La influencia de la metodología

Gayford (1989) realiza un estudio sobre la percepción de los estudiantes de 14-16 años sobre la metodología de aula seguida en las clases de ciencias. Entre los resultados más significativos, destaca la preferencia de los estudiantes por actividades relacionadas con el enfoque C-T-S, en especial relativas a problemas de relevancia personal y social. También, consideran que en las clases hay demasiadas actividades de atender a explicaciones y recoger notas; aunque manifiestan poco interés en realizar actividades con un planeamiento más experimental o de ‘ciencia en la acción’, quizá por desconocimiento de lo que realmente son.

El hecho de que esta unidad didáctica tenga un enfoque C-T-S, y vaya a desarrollarlo a través de la MRPI, va a influir positivamente en la predisposición de los estudiantes al estudio.

La conclusión de esta revisión bibliográfica es que, todos estos factores, tienen una influencia decisiva en las actitudes de los estudiantes hacia el estudio de la ciencia y, por lo tanto, deben tenerse muy en cuenta en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Consideramos que, el diseño de la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?”, va a favorecer una actitud positiva de los estudiantes hacia el estudio, porque:

- Los contenidos, centrados en herencia humana, son de gran interés para los estudiantes.
- Este tipo conocimiento tiene una gran utilidad en cuestiones que se les pueden plantear en su vida diaria como: ¿Qué color de ojos podría tener un hijo mío?, ¿Padeceré Alzheimer como la abuela?, ¿Qué pasaría si me detectan una enfermedad genética incurable?
- La metodología de trabajo va a ser estimulante, activa, creadora.
- La resolución de problemas tiene lugar en grupos de trabajo que, por una parte, va a permitir una relación más cercana entre los estudiantes y el profesor que debe seguir los progresos que realizan; y, por otra parte, les va a dar una imagen del trabajo científico alejado de estereotipos como el del científico varón trabajando aislado y rodeado de productos peligrosos.
- El enfoque C-T-S se refleja, entre otras cosas, en la introducción de la actualidad científica de gran interés para los estudiantes por las repercusiones que tienen en nuestra Sociedad y, en la realización de actividades donde los mismos deben tomar decisiones, en base a sus conocimientos científicos, sobre situaciones problemáticas personalizadas.

5.3.5. EL NIVEL DE DESARROLLO COGNITIVO DE LOS ESTUDIANTES DE SECUNDARIA Y LAS EXIGENCIAS COGNITIVAS DE LOS CONTENIDOS DE GENÉTICA

La discusión sobre la introducción o no de los contenidos de Genética en Secundaria, y la controversia entre la importancia del tema y su dificultad, se mantiene en la actualidad entre los diseñadores de currículos.

Los **argumentos en contra** de incluir estos contenidos en el currículo de Secundaria, se basan en la falta de correspondencia entre el estadio evolutivo de los estudiantes de esta edad y las exigencias cognitivas que estos contenidos y la resolución de problemas presentan, lo que hace que su aprendizaje sea difícil. Los autores que apoyan esta postura la justifican en el hecho de que la mayoría de los estudiantes de Secundaria se encuentran aún en un estadio evolutivo de las operaciones concretas, siendo el contenido de esta disciplina abstracto y, requiriendo el uso de un razonamiento de tipo hipotético-deductivo, analítico y probabilístico, que los estudiantes no poseen (Lawson, 1983; Mitchell y Lawson, 1988).

Siguiendo las ideas piagetianas, Shayer y Adey (1984) en su taxonomía, al establecer las relaciones entre los contenidos de Biología y el desarrollo cognitivo de los estudiantes, refleja que los de Genética y Evolución son los que tienen unas exigencias cognitivas más altas, apareciendo por primera vez en el nivel formal inicial, y determinando así el mínimo para mantener el interés del alumno que propicie su aprendizaje. Hay que destacar que nuestros alumnos se encuentran en el promedio de edad (15 años y medio) que estos autores establecen para abordar la Genética, sin olvidar que la cronología de los estadios es una de las ideas de Piaget más criticadas ya que no toda la población adulta llega a alcanzar el estadio de las operaciones formales (Arons, 1976; Cinquepalmi y otros, 1983 cit. en Gutiérrez y otros, 1990; Shayer y Adey, 1984)

Los **argumentos a favor**, con planteamientos neopiagetianos, se basan en la aceleración cognitiva que supone enfrentar al sujeto con conflictos que llevan a posibles desequilibrios y equilibrios sucesivos (Deadman y Kelly 1978; Walker y otros 1980). Otros autores, ponen en duda que los estudiantes en un estadio concreto no puedan

entender los conceptos genéticos, en su mayoría formales, porque poseen destrezas cognitivas suficientes para resolver los problemas más típicos de la genética clásica (Smith y Suthern, 1992). También se afirma que los estudiantes de estas edades tienen capacidad de realizar operaciones mentales de tipo combinatorio (Stewart, 1982), y que el origen, de las ideas deterministas que los estudiantes tienen de las proporciones (ejemplo: si la herencia es 3:1, entonces si tres plantas tienen semillas amarillas la cuarta las debe tener verdes), no se debe a su estadio evolutivo sino que muchas veces es fomentada por la clase de problemas que aparecen en los libros de texto (Jiménez, 1994).

Diversos autores, que apoyan la inclusión de los contenidos de Genética a estas edades, realizan algunas propuestas como la necesidad de desarrollar estrategias y secuencias didácticas que faciliten el desarrollo cognitivo hacia el pensamiento formal (Tolman, 1982); la revisión de los conceptos básicos y necesarios para entender la Genética junto con la modificación de los materiales curriculares hacia un contexto familiar del proceso de la herencia (Hackling y Treagust, 1984); o la inclusión de una perspectiva historicista y epistemológica de los contenidos (González y otros 1998).

Más allá de las posturas enfrentadas y objeto de debate, lo cierto es que en el currículo actual los estudios sobre Genética aparecen en 4º de E.S.O. y son contenidos centrales para entender y desarrollar el conocimiento biológico.

Consideramos que la MRPI, que proponemos como forma de trabajo en el aula, va a facilitar a los estudiantes el desarrollo de las destrezas necesarias para comprender los conceptos de Genética de forma significativa. Haciéndonos eco de las aportaciones de Stewart (1988), la utilidad de los problemas verdaderos, los que requieren de un análisis de la situación y la emisión hipótesis de trabajo antes de iniciar la resolución, además de motivar y hacer explícitas las ideas de los estudiantes sobre la herencia biológica, les permite reestructurar sus conocimientos y aprender de forma comprensiva.

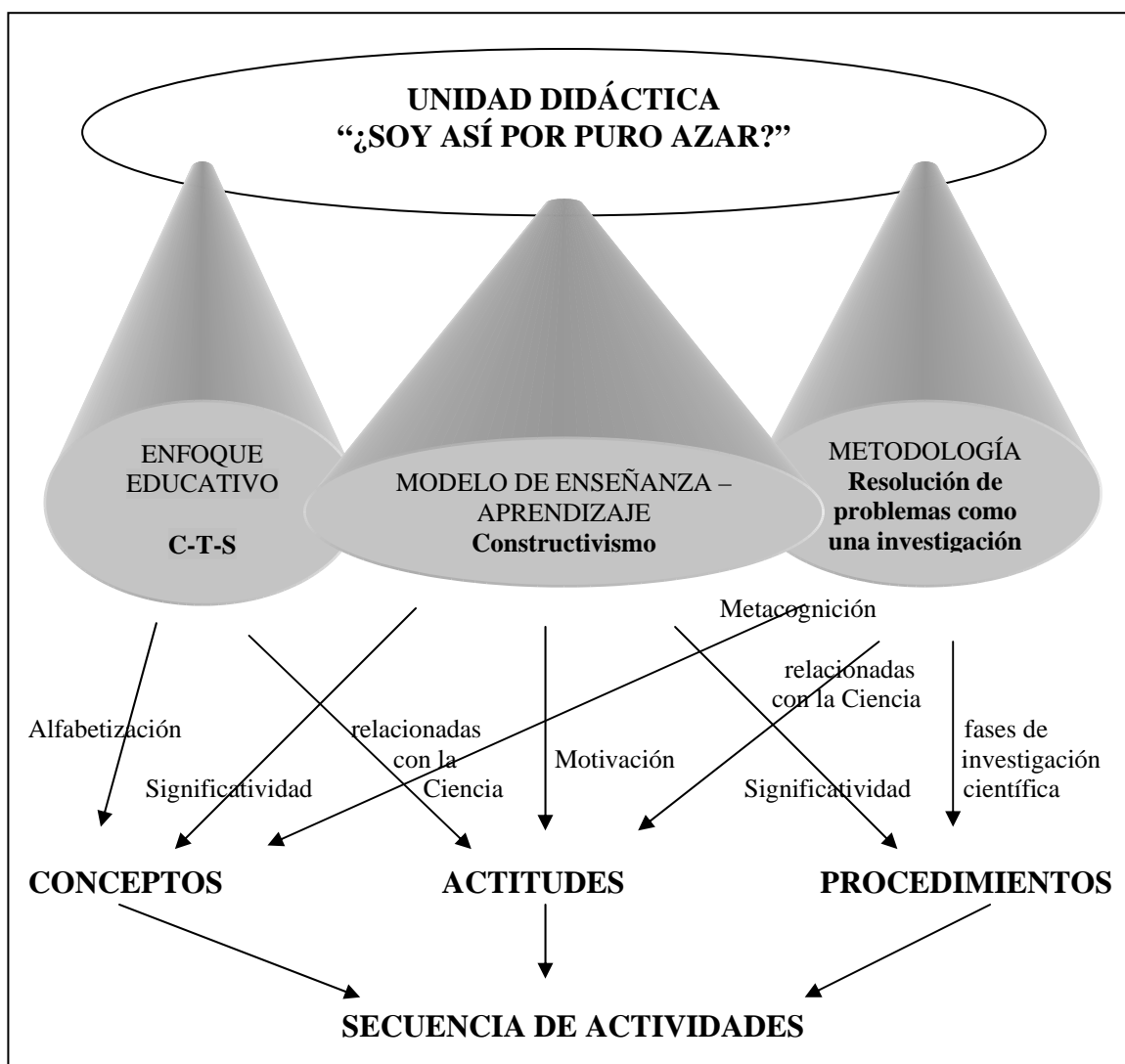
5.3.6. ¿QUÉ APORTA DE NOVEDOSO LA UNIDAD DIDÁCTICA “¿SOY ASÍ POR PURO AZAR”?

El análisis de los últimos cinco apartados nos ha permitido conocer las dificultades que la enseñanza de la Genética presenta en un contexto de Secundaria, y las propuestas para superarlas

Al diseñar la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?”, cuya secuencia de actividades se recoge en el Anexo I, hemos tenido en cuenta todo este análisis didáctico; y, también el análisis científico anterior (Apartado 5.2). Consideramos que lo que aporta de novedoso ésta es **la forma en que intentamos solventar las dificultades de la enseñanza de la Genética en Secundaria**, basada en tres pilares: **un modelo didáctico constructivista, una metodología de resolución de problemas como una investigación (MRPI) y un enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad (C-T-S)**.

Estos pilares o marcos teóricos, que han marcado la elaboración del itinerario de aprendizaje, se corresponden con temas latentes en la investigación didáctica de los últimos tiempos (Caamaño, 1988; Gil, 1994b; Palacios y otros, 1993; Porlán, 1998). No obstante, consideramos que sigue siendo necesario la realización de trabajos en los que estos pilares confluyan y, en concreto, nuestra investigación se encontraría entre ellos.

En el siguiente cuadro reflejamos el carácter integrador teórico de la investigación aquí descrita.



Cuadro 5.15: Confluencia de los marcos teóricos en la elaboración de la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?”.

Para poner de manifiesto las peculiaridades de esta unidad frente a las de los libros de texto, hemos elaborado un cuadro donde se recogen las características de nuestra unidad y las de la enseñanza tradicional (Cuadro 5.11) y su presencia o ausencia en los libros de texto habituales en los centros. Como se puede ver los manuales utilizados son anteriores a las últimas modificaciones de los contenidos mínimos (RD 3473/2000) lo que generará algunos cambios en los mismos.

APORTACIONES DE LA UNIDAD DIDÁCTICA	LIBROS DE TEXTO											
	BRUÑO, 1995	ECIR, 1995	SANTILL, 1995	SM 1995	EDEBÉ 1996	AKAL 1997	CASALS 1998	ANAYA 1998	EDITEX 1998	OXFORD 1998	TEIDE 1998	EDELVIV. 1999
Act. inicial motivar											●	
Visión historicista							●					●
Divulgación concp.					●		●					
H. humana central							●					
Meiosis-gametos			●	●	●	●	●	●	¿?	●		●
Prob “efecto-causa”		●	¿?					¿?	¿?	¿?		¿?
Prob. Humanos		●		●	●	●	●	●	●	●	●	●
Temas biotecnolo.			●	¿?				¿?	●	●		
Actividades biotec.										¿?		
Enfoque C-T-S	¿?	¿?	●									
MRPI												
ENSEÑANZA (*) TRADICIONAL												
Empezar Mendel	●	●							●			
ADN antes que gen		●	●	●	●	●				●		
Vocabulario previo			●						●			
Prob “causa-efecto”	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Prob. plantas, etc.	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●

(*) En las características de la enseñanza tradicional no hemos recogido aquellas opuesta a las de la unidad didáctica para evitar repeticiones (por ejemplo, no incluir meiosis). (¿?) Hemos puesto símbolos de interrogación cuando alguna actividad aislada sólo introducía algo relacionado con el aspecto tratado.

Cuadro 5.16: Características de nuestra unidad didáctica y de la enseñanza tradicional y su presencia o ausencia en los libros de texto para 4º ESO.

Como se desprende del análisis de este cuadro la mayoría de los libros de texto mantienen características de la enseñanza tradicional de la Genética y, no han incorporado muchas de las propuestas que se van recogiendo en las investigaciones sobre su didáctica (visión historicista, enfoque C-T-S, nuevas metodologías, trabajo con problemas efecto-causa, etc.). En conjunto, podemos destacar que los libros de texto analizados:

- Siguen incidiendo en el estudio de la Genética a través de problemas causa-efecto. La mayoría de las ejemplificaciones son sobre flores o cobayas, con alguna referencia a herencia humana, sobre todo al tratar el tema de la herencia de los grupos sanguíneos o ligada al sexo. En algunos textos se plantean actividades de investigación sobre la herencia de un carácter dentro de la familia; sin embargo, no son totalmente abiertas porque los estudiantes conocen de antemano qué carácter es dominante, o porque están extremadamente guiadas en su realización y en las conclusiones a las que tienen que llegar.
- Aunque en muchos textos se introduce la meiosis, dentro de los contenidos de Genética, el estudio es muy teórico (incluso con un nivel de desarrollo de la etapa Post-Obligatoria) y, pocas veces, se proponen actividades donde se apliquen estos conocimientos en la distribución de los cromosomas durante el proceso de herencia de caracteres.
- Los conceptos están poco divulgados. En gran medida, se introducen, por primera vez, sin relacionarlos con ningún conocimiento anterior y, se definen tal y como aparecen en los diccionarios científicos analizados en el Apartado 5.2.4 A.
- No se plantea ninguna actividad inicial que despierte el interés de los estudiantes hacia el estudio de la Genética, o que les permita ver la importancia cultural y social de estos conocimientos.
- Los temas de actualidad científica son tratados al final, o en anexos a la unidad, y se basan en alguna lectura o en información de tipo teórico.

5.4. SELECCIÓN DE OBJETIVOS DE LA UNIDAD DIDÁCTICA

Los objetivos que la enseñanza de las ciencias debe perseguir se han visto continuamente revisados y ampliados desde las reformas educativas de los años 60 y 70. A las primeras metas educativas, que sólo pretendían la adquisición de una serie de contenidos científicos, se unió la necesidad de incorporar los procesos propios de la ciencia. En estos momentos los objetivos han sufrido una ampliación por:

- El fracaso de programas educativos anteriores, basados en una formación diseñada para preparar futuros científicos y que buscaba la “excelencia”.
- La interacción entre los avances científico-técnicos y los cambios sociales, económicos y políticos que se reflejan en la sociedad.

Para la selección de los objetivos de la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?” hemos tenido en cuenta todos los argumentos esbozados en el apartado anterior de análisis didáctico. Estos objetivos guían las hipótesis de trabajo de esta investigación y se refieren a un aprendizaje significativo de todos los contenidos trabajados de forma que se pueda hablar de un cambio conceptual, de procedimientos y de actitudes

Cambio conceptual

- ✓ Los estudiantes utilizarán esquemas conceptuales sobre Genética y herencia humana más próximos a la visión científica actual, en relación con: la localización de la información hereditaria, la herencia de padres a hijos y la herencia de caracteres adquiridos.
- ✓ Los estudiantes adquirirán una visión de la Naturaleza de la Ciencia más cercana a la epistemología actual.

Cambio de procedimientos

- ✓ Los estudiantes desarrollarán las destrezas propias de las etapas de la MRPI, y las relacionarán con la forma en que se abordan las investigaciones científicas.

Cambio de actitudes

- ✓ Los estudiantes manifestarán una actitud favorable hacia la Ciencia como conocimiento, valorando la importancia del mismo en nuestro mundo. También reconocerán la importancia de recibir una educación científica, en especial en temas de Genética.

- ✓ Los estudiantes serán conscientes de las interacciones entre la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad, y serán capaces de tomar decisiones en temas científicos con gran incidencia social, utilizando criterios propios con base científica.

5.5. SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS

Las normas de actuación más adecuadas y eficaces para conseguir los objetivos que nos hemos propuestos en esta unidad didáctica, se van a referir a:

- El planteamiento metodológico o forma de trabajo dentro del aula (Apartado 5.5.1)
- El diseño y secuencia de actividades para la enseñanza (Apartado 5.5.2)

5.5.1. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

Las funciones o forma de actuar del profesorado y del alumnado, dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje, está definido por el modelo didáctico que se encuentra en la base de la unidad didáctica.

El modelo didáctico constructivista que nos ha guiado presenta una serie de peculiaridades que le diferencian de un modelo transmisor como se ve en el siguiente cuadro.

	MODELO TRANSMISOR	MODELO CONSTRUCTIVISTA
OBJETIVOS	Impuestos por un escalón superior o por técnicos en diseño curricular.	Basados en las ideas previas de los alumnos. Resultan de un contrato discutido con los alumnos y tienen como fin los procesos, habilidades, actitudes y conocimientos.
PROGRAMACIÓN	Basada en contenidos con objetivos cognitivos, reseñados en programas según la distribución lógica de la asignatura.	Basada en una planificación negociada, utiliza una planificación curricular abierta como hipótesis de trabajo en construcción y contrastación permanente. Interdisciplinaria tendente integrada.
METODOLOGÍA	Magistral, expositiva y demostrativa.	Resolución de problemas por investigación. Activa por descubrimiento guiado. Prioridad a los procesos, se atiende más al cómo que al por qué.
ORGANIZACIÓN	Un solo grupo de estudiantes.	Grupos variables y pequeños formados de común acuerdo.
COMUNICACIÓN	Exposición verbal y escrita. Clases magistrales del profesor.	Dirigida por el profesor pero modificada por la interacción con los alumnos. La relación entre los alumnos tiene un papel importante.
MEDIOS UTILIZADOS	Pizarra, vídeo.	Lugares con material flexible y de elección abierta.
DOCUMENTACIÓN	Libros de texto y apuntes.	Biblioteca de aula/varios libros. Cuaderno o archivo personal del alumno.
ACTIVIDADES/ EXPERIENCIAS	Ejercicios de aplicación de teoría, resolución de ciertos “tipos”. Se suele carecer de parte experimental. Experiencias de apoyo al discurso, como ilustración y con carácter de aprendizaje técnico.	Planteamiento de problemas abiertos, incluso sin solución. actividades y experiencias encargadas y guiadas por el profesor, relacionadas con el tema de trabajo. Los alumnos eligen el diseño o lo hacen ellos mismos.

Cuadro 5.17: Peculiaridades de los modelos didácticos transmisor y constructivista (Fernández González y otros, 2001, p. 52)

En resumen, podemos decir que la actuación de la profesora-investigadora, en el desarrollo de la unidad didáctica, será de guía en el proceso de construcción de conocimientos por parte de los estudiantes y, la actuación de éstos será de generadores de su propio conocimiento a partir de actividades diversas, en especial, resolución de problemas abiertos. El trabajo de los estudiantes se realizará, de forma mayoritaria, en grupos de investigación donde se incrementa su nivel de participación y creatividad al tener que ir abordando las distintas actividades desde sus propios planteamientos y, luego, intercambiar resultados con el resto de grupos.

5.5.2. DISEÑO Y SECUENCIA DE ACTIVIDADES PARA LA UNIDAD DIDÁCTICA

En este apartado podemos diferenciar entre las actividades que dan cuerpo a la unidad didáctica como tal, y que podemos llamar **actividades de aula**, y el conjunto de actividades que la profesora investigadora lleva a cabo relacionadas con la metodología de investigación en la que está inmersa. Estas últimas, a las que podríamos llamar **actividades de investigación**, son todo el conjunto de pruebas de recogida de información a las que ya nos hemos referido en el Apartado 4.4.2.

Por lo tanto, ahora sólo nos vamos a referir a las actividades de aula. Si la investigación demuestra la validez de esta unidad didáctica para conseguir los objetivos de aprendizaje marcados, este conjunto de actividades, recogidas en el **Anexo I**, constituyen un material de trabajo que puede ser utilizado por los profesores en su práctica docente.

A. DISEÑO DE ACTIVIDADES

Los materiales curriculares que se trabajan a lo largo de esta unidad didáctica son de dos tipos: problemas abiertos y otras actividades como lecturas, juegos de simulación o estudio de casos. A continuación referimos el proceso de elaboración o selección de los mismos.

A.1. Diseño de problemas abiertos

Constituyen la base del trabajo realizado a lo largo de la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?”, y se diseñaron y secuenciaron siguiendo dos criterios:

- **Los conocimientos previos de los alumnos.** Los contenidos de Genética se van a trabajar utilizando problemas abiertos relativos a los tres ámbitos de ideas alternativas, sobre las que se ha recogido información en la bibliografía (Cuadro 5.12): la localización de la información hereditaria, la herencia de padres a hijos y la herencia de caracteres adquiridos. Estos tres ámbitos o esquemas conceptuales son

los básicos en la enseñanza de la Genética. Los primeros problemas se refieren a los dos primeros esquemas conceptuales porque están en la base de cualquier proceso de herencia. Una vez afianzados estos conocimientos se puede abordar la herencia de caracteres adquiridos con una base teórica suficiente.

- **La génesis histórica del conocimiento sobre Genética.** Los problemas se secuencian siguiendo los momentos de desarrollo teórico de la Genética. Primero, el inicio de la Genética con la herencia mendeliana y la formulación de la teoría cromosómica de la herencia; segundo, la inclusión de casos donde no se cumple la herencia mendeliana; tercero, la herencia de los caracteres adquiridos y su origen genético o no; y, por último, los nuevos avances biotecnológicos en el campo de la ingeniería genética.

Dentro de los problemas sobre herencia no mendeliana se han seleccionado ejemplos de los casos que habitualmente se estudian en la escuela: herencia intermedia (P₂); codominancia (P₃); herencia ligada al sexo (P₄) o influida por él (P₇); y herencia poligénica (P₅).

Por otra parte, los problemas diseñados se refieren exclusivamente a **herencia humana**. Se eligieron, en la mayoría de los problemas, caracteres genéticos interesantes para los estudiantes como tipo de pelo, grupo sanguíneo, calvicie, etc.

Los problemas referentes a **aplicaciones biotecnológicas** también se diseñaron de forma que fuesen muy **cercanos a los intereses de los estudiantes**. El problema sobre los diagnósticos genéticos se centra en el Alzheimer, un enfermedad que muchos estudiantes conocen por sus abuelos y, el problema sobre los seres vivos transgénicos se aplica a la obtención de uvas más dulces, cultivo propio de la zona donde residen.

Cada uno de los problemas se ha resuelto y ha sido valorado, por niveles de complejidad, para cada una de las variables metodológicas. Estos datos se encuentran en el **Anexo II**, y son los criterios de evaluación que se usarán para valorar el nivel de las resoluciones que realicen los estudiantes.

A continuación se recogen los enunciados del conjunto de problemas abiertos trabajados en la unidad didáctica, según el orden de realización.

P₀	<input type="checkbox"/> ¿Cómo se hereda un carácter relacionado con el pelo? (sin conocimiento de la Teoría Cromosómica de la Herencia)
P₁	<input type="checkbox"/> ¿Cómo se hereda un carácter relacionado con el pelo? (con conocimiento de la Teoría Cromosómica de la Herencia)
P₂	<input type="checkbox"/> ¿Qué ocurriría si un carácter no fuese ni dominante ni recesivo?
P₃	<input type="checkbox"/> La herencia de los grupos sanguíneos A, B, AB y O, era utilizada como prueba para determinar la posible paternidad de los padres de un bebé. ¿Podrías conocer el grupo sanguíneo de un hijo tuyo?
P₄	<input type="checkbox"/> ¿Qué ocurriría si el gen para un carácter se localizase en los cromosomas sexuales?
P₅	<input type="checkbox"/> ¿Qué pasaría si un carácter estuviera determinado por más de un gen?
P₆	<input type="checkbox"/> ¿Podría aparecer un nuevo carácter en una familia?
P₇	<input type="checkbox"/> La calvicie es un asunto que preocupa más a hombres que a mujeres. ¿Por qué crees que este carácter aparece principalmente en varones?
P₈	<input type="checkbox"/> Un grupo de personas de piel blanca colonizó una región del África del Sur. Una vez establecida su comunidad, realizaron matrimonios entre ellos. ¿Cómo crees que será la piel de los bebés que nazcan después de muchas generaciones?
P₉	<input type="checkbox"/> Una persona expuesta al sol desarrolla cáncer de piel, ¿sus hijos tendrán cáncer de piel?
P₁₀	<input type="checkbox"/> ¿Cómo saber si padeceré Alzheimer?
P₁₁	<input type="checkbox"/> Los viticultores de Arganda buscan que sus vides produzcan uvas con mayor cantidad de azúcar. ¿Cómo conseguiríamos este tipo de vides?
P₁₂	<input type="checkbox"/> Un matrimonio tiene un hijo que se parece más al padre que a la madre. ¿Cómo puede ser esto posible?

Cuadro 5.18: Secuencia ordenada de los problemas abiertos que conforman la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?”.

Estos problemas se agrupan, según los esquemas conceptuales más identificables en su resolución, de la siguiente forma:

1. **La localización de la información hereditaria:** P₂, P₃, P₅, P₆, P₁₂
2. **La herencia de padres a hijos:** P₁, P₂, P₃, P₄, P₆, P₇, P₁₀, P₁₁, P₁₂
3. **La herencia de caracteres adquiridos:** P₆, P₈, P₉

Atendiendo a los marcos teóricos que se manejan en la Genética, y a la diferenciación y secuencia de los problemas en ámbitos escolares, podemos relacionar los nuestros con estos tipos:

TIPO 1 - **herencia mendeliana**: P₀, P₁, P₆, P₁₂

TIPO 2 - **herencia no mendeliana**: P₂, P₃, P₄, P₅, P₇

TIPO 3 - **herencia de caracteres adquiridos**: P₈, P₉

TIPO 4 - **ingeniería genética o aplicaciones biotecnológicas**: P₁₀, P₁₁

A.2. Diseño de otras actividades

Además de los problemas abiertos, la unidad didáctica presenta otras actividades variadas (exposiciones, trabajo con vídeo, lecturas, juegos de simulación, estudio de casos) que han requerido de la utilización de materiales muy diversos tomados de fuentes de información tanto formales (libros, revistas científicas, etc.) como informales (prensa, Internet).

Como la unidad didáctica es material autosuficiente para que los alumnos aprendan, es necesario introducir nexos que den más información para acceder a nuevos problemas, además de generar más variación y dinamismo en el desarrollo de la misma.

El criterio de selección de los materiales de trabajo ha sido, además de que se ajustasen a los objetivos de la actividad, que fuesen interesantes y motivadores para estudiantes de Secundaria.

En la **Actividad 1**, “*La actualidad científica en temas de Ingeniería Genética*”, se utilizan lecturas con un cuestionario final. Las lecturas, “*Las primeras niñas con nuevos genes*” e “*Idénticos y en masa*”, han sido tomadas de Ibáñez (1994, 1997). Las lecturas, “*Los alimentos transgénicos a juicio*”, “*Los dueños del genoma humano: el negocio del siglo*” y “*Vivir con un corazón de cerdo*”, se han tomado de Marco, Ibáñez y Albero (2000). Todas ellas son ejercicios de divulgación de diversas informaciones aparecidas en prensa, y en revistas científicas en los últimos años. También, se utilizan artículos de prensa sobre los últimos avances científicos y sus implicaciones. Por ejemplo: “Patentan

una técnica de clonación humana por error”, tomado de *El Mundo*, sección de Salud, 26-02-00; o “Asalto final al genoma”, tomado de *El País*, sección Sociedad, 15/05/98.

En la **Actividad 2**, “*Los inicios de la Genética: Mendel*”, se usa un texto sobre los experimentos de Mendel tomado de Jiménez y Fernández (1987). Estos autores realizan una traducción propia del artículo publicado en la *Revista de la Sociedad de Historia Natural de Brno en 1866*.

En la **Actividad 4**, “*La teoría cromosómica de la Herencia*”, se usan imágenes de vídeo para visualizar la estructura tridimensional de los cromosomas y su localización en el núcleo. El vídeo utilizado es “*El ADN estructura y función*” de la colección Ciclos de la Vida nº 8, San Pablo, 1998 y, sólo se usan cinco minutos del mismo donde se puede apreciar la forma de cromosomas y cómo se condensan en el núcleo celular.

La **Actividad 6**, “*Cariotipos y herencia de cromosomas*”, es un juego de simulación sobre los caracteres que recibe un bebé a partir de la información de sus padres. El material de trabajo es una traducción de la actividad de Sharon Zupo (1992), recogida en la página de Internet *www.woodrow.org*, que edita The Woodrow Wilson National Leadership Program in Biology.

En la **Actividad 11**, “*El descubrimiento de la estructura del ADN, duplicación y mutación*”, se usa un vídeo para visualizar la estructura tridimensional del ADN, y de los procesos de duplicación. Se utilizan 10 minutos del vídeo “*El ADN, el código de la vida*” perteneciente a la colección Ciclos de la Vida nº 8 de San Pablo, 1998.

La **Actividad 16**, “*¿Quién es el padre del bebé?*”, está tomada de la revista *The Science Teacher* (Mayo y Bertino, 1991). Esta actividad ha sido adaptada y traducida por Ibáñez (1994, 1997).

En la **Actividad 17**, “*Estudio de casos: los diagnósticos genéticos*”, se utilizan diversas historias. Los estudios de casos 1 y 2 han sido tomados y traducidos de la revista *The Science Teacher* (Morris, 1994). El 3 ha sido tomado y traducido de Bennett, C. (1992), y recogido en la página de Internet *www.woodrow.org*, que edita

The Woodrow Wilson National Leadership Program in Biology. Por último, el caso de estudio 4 ha sido tomado y traducido de Kellman, E. (1992), y recogido en la misma página de Internet.

La **Actividad 19**, “*Crear un ratón humano*”, ha sido tomada de Marco, Ibáñez y Albero (2000).

B. SECUENCIA DE ACTIVIDADES

Las actividades de la unidad didáctica se han secuenciado siguiendo el modelo trifásico de la enseñanza constructivista, y por ello se han agrupado en tres bloques: actividades de inicio, de desarrollo y de síntesis y evaluación.

Actividades de inicio: su objetivo es explicitar los conocimientos previos de los alumnos y motivarlos hacia el tema de estudio.

Las ideas previas de los estudiantes es el punto de partida de todo planteamiento constructivista del proceso de enseñanza-aprendizaje. Los profesores deben conocerlas y trabajar con ellas, aunque algunos autores indican que ni es necesario ni conveniente realizar de forma continua indagaciones sobre las mismas para evitar su refuerzo. En nuestro caso, y mucho antes de comenzar con el desarrollo de esta unidad didáctica, realizamos una serie de pruebas para identificar los conocimientos iniciales de los estudiantes y que se incluyen en lo que hemos llamado actividades de investigación.

Propiamente, la unidad didáctica se inicia con una actividad que consiste en lecturas, sobre la actualidad científica en temas de Genética, a partir de las cuales se genere expectación en los estudiantes de forma que estén motivado hacia el estudio; se les familiarice con los contenidos de la unidad de forma sencilla y amena; y se expliciten algunas de las ideas que posean. Además, de esta forma los aspectos C-T-S están presentes desde el principio.

Actividades de desarrollo: pretenden la construcción y manejo significativo de los conceptos, el desarrollo de procedimientos de resolución de problemas como una investigación y la generación de actitudes relativas a la ciencia y las relaciones C-T-S.

El amplio conjunto de actividades, que forman este bloque, están organizadas, como ya hemos indicado, siguiendo el hilo histórico de la creación de los conocimientos sobre Genética, de forma tal que cada actividad permita alcanzar los objetivos de las siguientes, o refuerce los de actividades anteriores. Se pueden diferenciar en: *actividades de información*, donde la profesora, a través de un variado conjunto de recursos, introduce nuevas ideas y genera situaciones de conflicto cognitivo; y, en *actividades de aplicación*, donde los estudiantes deben utilizar las nuevas ideas en diferentes situaciones. Dentro de estas últimas, el grueso de las mismas son problemas abiertos sobre la herencia de diferentes caracteres humanos. Otras actividades son juegos de simulación de procesos biológicos como la meiosis, o de técnicas biotecnológicas como los test genéticos o la creación de seres vivos transgénicos, o estudios de casos que permiten generar a los estudiantes las habilidades necesarias en la toma de decisiones en situaciones donde intervengan los nuevos avances científicos y, tengan que sopesar los pros y contras de los mismos.

Actividades de síntesis y evaluación, que como su nombre indica pretenden hacer una síntesis de todo lo aprendido y evaluarlo.

El conjunto de las actividades de la unidad didáctica permiten realizar un seguimiento del aprendizaje realizado por los estudiantes. Además, hemos planteado un conjunto de pruebas finales para constatar el aprendizaje de contenidos que han consistido en la resolución de un problema abierto y una situación problemática personalizada de toma de decisiones ante una situación C-T-S.

A continuación se recoge la secuencia de actividades de la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?”. La descripción de cada actividad, donde se especifican los objetivos, la organización del trabajo en el aula, y la forma en que se desarrolla cada una de ellas; y los materiales de trabajo se encuentra en el **Anexo I**.

ACTIVIDADES DE LA UNIDAD DIDÁCTICA	TIEMPO
Actividad de inicio	
A ₁ - (Lecturas) La actualidad científica en temas de ingeniería genética	2 sesiones
Actividades de desarrollo	
A ₂ - (Lectura) Los inicios de la Genética: Mendel	1 sesión
A ₃ - (P₀) ¿Cómo se hereda un carácter relacionado con el pelo?	2 sesiones ✂
A ₄ - (Vídeo) La teoría cromosómica de la herencia	1 sesión
A ₅ - (P₁) ¿Cómo se hereda un carácter relacionado con el pelo?	1 sesión
A ₆ - (Juego de simulación) Cariotipos y herencia de cromosomas	2 sesiones ✂-
A ₇ - (P₂) ¿Qué ocurriría si un carácter no fuese dominante ni recesivo?	1 sesión ✂
A ₈ - (P₃) ¿La herencia de los grupos sanguíneos A, B, AB, y O, era utilizada como prueba para determinar la posible paternidad de los padres de un bebé. ¿Podrías conocer el grupo sanguíneo de un hijo tuyo?	✂
A ₉ - (P₄) ¿Qué ocurriría si el gen para un carácter se localizase en los cromosomas sexuales?	2 sesiones ✂
A ₁₀ - (P₅) ¿Qué pasaría si un carácter estuviera determinado por más de un gen?	✂
A ₁₁ - (Vídeo) El descubrimiento de la estructura del ADN, duplicación y mutación	1 sesión
A ₁₂ - (P₆) ¿Podría aparecer un nuevo carácter en una familia?	1 sesión
A ₁₃ - (P₇) La calvicie es un asunto que preocupa más a hombres que a mujeres. ¿Por qué crees que este carácter aparece principalmente en varones?	✂
A ₁₄ - (P₈) Un grupo de personas de piel blanca colonizó una región de África. Una vez establecida su comunidad, realizaron matrimonios entre ellos. ¿Cómo crees que será la piel de los bebés que nazcan después de muchas generaciones?	1 sesión
A ₁₅ - (P₉) Una persona expuesta al sol desarrolla cáncer de piel, ¿sus hijos tendrán cáncer de piel?	✂
A ₁₆ - (Juego de simulación) Las nuevas tecnologías: ¿quién es el padre del bebé?	1 sesión
A ₁₇ - (Estudio de casos) Los diagnósticos genéticos.	1 sesión
A ₁₈ - (P₁₀) ¿Cómo saber si padeceré Alzheimer?	1 sesión
A ₁₉ - (Juego de simulación) Las nuevas tecnologías: crear un ratón humano	1 sesión
A ₂₀ - (P₁₁) Los viticultores de Arganda buscan que sus vides produzcan uvas con mayor cantidad de azúcar. ¿Cómo conseguiríamos este tipo de vides?	1 sesión
Actividades de evaluación	
A ₂₁ - (P₁₂) Un matrimonio tiene un hijo que se parece más al padre que a la madre. ¿Cómo puede ser esto posible?	2 sesiones
A ₂₂ - (Situación problemática personalizada de toma de decisiones) Tu familia presenta varios casos de cáncer de colon, ¿te harías un test genético?	

Cuadro 5.19: Secuencia global de la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?”. El símbolo ✂ significa que parte del trabajo se desarrolla fuera del aula.

5.6. SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE EVALUACIÓN

En el modelo de diseño de unidad didáctica, en el que nos movemos, este apartado es muy importante. En nuestro caso, se incorpora dentro de la propia investigación, tanto en el **Capítulo 6**, donde se desarrolla el trabajo seguido en el aula, como en el **Capítulo 7**, donde se recogen y analizan los resultados obtenidos a partir de las actividades que hemos denominado en el apartado anterior de investigación y de aula.

Respecto a la evaluación de la ejecución de la unidad didáctica como tal; es decir las actividades de aula que han realizado tanto profesora como alumnos, se han utilizado instrumentos como la grabación en **vídeo** y la elaboración de **diarios de clase** para asegurar la adecuación de la programación a una situación real de aula; y que , por lo tanto, puede ser reproducida.

Por otra parte, la evaluación de los aprendizajes realizados gracias a la unidad didáctica se han realizado gracias a pruebas finales. No obstante, aclarar que las propias actividades de la unidad, en concreto las actividades de síntesis o evaluación recogidas como actividades de aula, sirven para esta finalidad.

PARTE III.

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN Y RESULTADOS

CAPÍTULO 6

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

INTRODUCCIÓN

En este capítulo vamos a narrar el desarrollo de la investigación centrándonos en el trabajo de aula, puesto que otras tareas como la elaboración de pruebas ya se han incluido en el capítulo 4. El relato de estas acciones va a seguir la cronología de las fases de la investigación definidas en el Apartado 4.1:

1. Fase preliminar. Realización de **ensayos y pruebas piloto** (Apartado 6.1)
2. Fase experimental previa. **Aprendizaje de la MRPI** por parte del GEXP (Apartado 6.2)
3. Fase experimental empírica. **Trabajo en el aula** (Apartado 6.3)

6.1. FASE PRELIMINAR: PRUEBAS PILOTO

A lo largo de los cursos 1997/98 y 1998/99 se llevaron a cabo algunas pruebas piloto para validar cuestionarios y problemas abiertos; y para que la profesora, que iba a realizar la investigación, se familiarizase con una nueva metodología de trabajo en el aula.

Durante el año 1997/98, se realizaron algunos ensayos preliminares en el I.E.S. La Poveda de Arganda del Rey, con un curso de 4º de E.S.O., formado por 21 estudiantes, de los cuales 6 eran varones y siete superaban la edad correspondiente a este nivel educativo.

En principio se planteó la posibilidad de trabajar con la MRPI en contenidos de Ecología o de Genética y se diseñaron y trabajaron problemas de ambos contenidos, como por ejemplo: “*Cuando tenemos en casa patatas almacenadas, al cabo de un tiempo, aparecen raíces. ¿Cómo se forman?*”; “*¿Cómo acabar con los mosquitos en verano?*”; “*¿Cómo dotar de energía a una aldea hindú?*”; “*¿Podría aparecer un nuevo carácter en una familia?*”

Al final, la investigación se centró de forma exclusiva en Genética porque, como ya se indicó en el diseño de la investigación (Capítulo 4), es uno de los pocos contenidos que se trabajan resolviendo problemas, y esto nos permite determinar las diferencias de aprendizajes entre grupos de estudiantes que trabajen con los mismos contenidos a través de problemas cerrados o abiertos.

Algunos de estos problemas se han mantenido en la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?”, o bien han sido utilizados como actividades de aprendizaje previo de la MRPI. El desarrollo de los mismos permitió detectar:

- Las necesidades de la profesora a la hora de llevar a cabo esta metodología en el aula.
- La diferencia en la forma en que los estudiantes se enfrentan a problemas abiertos cuando tienen, o no, una pauta de trabajo.
- La necesidad de que los estudiantes aprendan la metodología antes de que se enfrenten a una unidad didáctica basada en la resolución de problemas abiertos.
- La implicación y motivación que esta forma de trabajo genera en los alumnos.

Durante el curso 1998/99, la profesora investigadora validó algunas pruebas iniciales y problemas con estudiantes de 1º de Bachillerato de Ciencias buscando mayor riqueza en sus producciones escritas. Estos alumnos ya han terminado la Secundaria Obligatoria, lo que nos permite detectar qué aprendizajes o ideas quedan sobre la herencia y su visión de la Naturaleza de la Ciencia; además de conocer la forma en que abordan problemas abiertos. Estas pruebas piloto se realizaron en el I.E.S. El Carrascal de Arganda del Rey; y la muestra estuvo formada por 31 estudiantes de 1º de BCN, de los cuales 17 eran mujeres y 14 varones.

Respecto a la prueba para indagar ideas sobre la Naturaleza de la Ciencia, se constató su validez. Los estudiantes reflejaron todos los estereotipos que sobre los científicos y la forma de hacer ciencia han sido recogidos en la investigación didáctica.

En cuanto a la resolución de problemas abiertos, se enfrentaron al que sería finalmente utilizado como prueba inicial de procedimientos para los grupos de la

investigación: “¿La sustancia A es efectiva contra la enfermedad X?”. La forma en que lo intentaron resolver, permitió identificar la falta de procedimientos de tipo investigativo que manejan los alumnos al final de la Secundaria; y optar por una redacción más adecuada del mismo: “*Los laboratorios LAB están creando nuevos fármacos para el tratamiento de enfermedades. ¿Cómo pueden estar seguros de su efectividad?*”

Al final de este curso, los estudiantes se enfrentaron a un problema abierto que luego sería utilizado en la fase empírica de la investigación: “*¿Cómo se hereda un carácter relacionado con el pelo?*”. En este caso, los alumnos ya habían estudiado los contenidos de Genética en el curso anterior; y, además, siguieron un guión de resolución del problema muy detallado, porque desconocían la MRPI. La resolución que hicieron estos estudiantes nos ayudó a identificar los esquemas conceptuales alternativos que utilizan en la resolución de un problema, y a tener unas pautas para la evaluación de los mismos.

Por otra parte, la forma en que los estudiantes de 1º de Bachillerato contestaron a las cuestiones abiertas nos hizo plantearnos que en una prueba inicial lo mejor era utilizar cuestionarios cerrados, y dejar las cuestiones abiertas para las pruebas finales. La capacidad de los alumnos para expresarse sobre un tema, en un primer momento, es muy limitada, y es preferible que en las pruebas iniciales tengan diversas opciones que se ajusten a sus ideas.

6.2. FASE EXPERIMENTAL PREVIA: APRENDIZAJE DE LA METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO UNA INVESTIGACIÓN

6.2.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROCESO DE APRENDIZAJE PREVIO

Uno de los problemas a los que nos hemos tenido que enfrentar, antes de la puesta en práctica de nuestra investigación, ha sido el de elaborar una estrategia de aprendizaje de la MRPI adaptada a la disciplina y al grupo de alumnos. En el diseño de este proceso, se nos han planteado los siguientes interrogantes:

¿Por qué enseñó la MRPI previamente a trabajarla en la unidad didáctica?

Como toda nueva forma de trabajo en el aula, la introducción de la misma requiere cierto entrenamiento, máxime en esta situación que precisa que los estudiantes usen y desarrollen capacidades cognitivas complejas, y cuyos resultados van a ser evaluados en la propia investigación..

Por otra parte, en esta investigación, la aplicación de la MRPI se limita a la elaboración y puesta en práctica de una única unidad didáctica, y como los estudiantes desconocen esta metodología, se impone el realizar un pequeño proceso de aprendizaje previo.

¿En qué momento se introduce la MRPI?

Como ya se indicó en el Apartado 5.2.4, en la selección de los procedimientos de la unidad didáctica, la discusión principal que se establece entre los didactas sobre el proceso de aprendizaje de una metodología es la siguiente: *¿cuándo realizar este tipo de aprendizaje?, ¿antes de aplicar la metodología en el aprendizaje de unos contenidos , o bien durante el propio proceso de aprendizaje?*

En el Cuadro 5.10, se recogían los argumentos y críticas de las dos concepciones sobre la enseñanza-aprendizaje de procedimientos. En resumen, recordamos que la *visión atomista* de la enseñanza de los procesos (proceso por proceso) es más pragmática y se centra en facilitar la enseñanza, y la *holista* (dentro del proceso de resolución de problemas) propone un acercamiento más constructivista del proceso de aprendizaje.

Nuestra propuesta de enseñanza-aprendizaje de procedimientos es holista; sin embargo, eso no significa que no se puedan realizar aprendizajes puntuales de algunos procedimientos (Millar, 1991). En el inicio del proceso de aprendizaje previo de la MRPI se trabaja de una forma más atomista porque se busca un primer acercamiento de los estudiantes a la misma. Posteriormente, los estudiantes trabajan de forma holista trabajando con problemas abiertos de lápiz y papel y experimentales.

¿Cómo abordar y concretar este aprendizaje previo dentro del currículo de Biología de 4º de E.S.O.?

El aprendizaje previo de la MRPI tuvo lugar a lo largo de los dos primeros trimestres del curso 1999/00, en los que se trabajaron los contenidos curriculares de Biología previstos para este nivel, Geología y Ecología. El desarrollo de los mismos no se realizó dentro de una unidad didáctica de características similares a la de la investigación. Por lo tanto, sólo se diseñaron actividades y problemas abiertos para trabajarlos de forma puntual dentro del desarrollo habitual de estos contenidos en el aula.

A continuación se presenta el diseño y secuenciación de las actividades desarrolladas para facilitar el aprendizaje de la MRPI.

6.2.2. DISEÑO Y SECUENCIA DEL PROCESO DE APRENDIZAJE PREVIO

El diseño del proceso de aprendizaje de la MRPI, y la selección y elaboración de las actividades para la consecución del mismo, se ha apoyado en dos ejes:

1. Las actividades de aprendizaje deben realizarse dentro del contexto de trabajo en el aula en el que los alumnos se encuentren.
2. Las actividades deben presentar una gradación de dificultad en su realización.

La contextualización de las actividades es importante para evitar la desconexión entre el aprendizaje de conceptos y procedimientos. Por otra parte, el trabajar la metodología en diversos contenidos conceptuales favorece en los estudiantes el proceso de extrapolación de los aprendizajes de unos contextos a otros.

Las primeras actividades son referentes a contenidos de Geología, que se desarrollaron a lo largo del primer trimestre de este curso, y suponen una aproximación muy guiada del proceso de resolución de problemas abiertos. Incluso, algunas de ellas inciden de forma particular en una u otra de las fases de la resolución. La actividad final consistió en la resolución completa de un problema abierto de Ecología, contenidos que se trabajaron durante el segundo trimestre.

En líneas generales, el aprendizaje de la metodología se realizó en los siguientes pasos:

A. Estudio de una investigación científica:

¿Por qué las auroras boreales aparecen en los polos?

B. Resolución guiada de un primer problema abierto:

El ayuntamiento de Arganda del Rey debe decidir sobre la localización de un basurero en las cercanías del pueblo. Para almacenar estos residuos se disponen de cuatro posibles ubicaciones formadas por distintos tipos de materiales o rocas (A, B, C y D). ¿Cuál de estos terrenos será el más idóneo para almacenar residuos y evitar que puedan contaminar arroyos, aguas subterráneas o cultivos cercanos?

C. Elaboración de un guión de trabajo con las fases y pautas a seguir en una resolución de problemas. Este guión será entregado a los estudiantes para que lo utilicen de referencia en la resolución de problemas abiertos.

D. Realización de ejercicios que se centran en alguna de las fases de la metodología de resolución de problemas:

D.1 Análisis cualitativo: *prevenir los riesgos posteriores a un seísmo*

D.2 Emisión de hipótesis y control de variables: *la orientación de los murciélagos; la elección de una variedad de patata para el cultivo; adaptaciones de las tortugas al medio.*

D.3 Diseño de una estrategia de resolución: *el cultivo de plantas; diseño experimental de Van Helmont.*

D.4 Interpretación de los resultados: *factores que influyen en el desarrollo de la clorofila.*

E. Resolución no guiada de un problema abierto:

En mi entorno hay numerosos seres vivos que son unos grandes desconocidos. Tengo curiosidad por saber algo de ellos; por ello, un grupo de compañeros nos proponemos investigar los seres vivos con lo que convivimos.

Vamos a describir el desarrollo de cada una de estas actividades y los materiales que se usaron.

A. ESTUDIO DE UNA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

La primera actividad de aprendizaje previo de la MRPI que se realizó consistió en ver un vídeo donde se explica el proceso de resolución de un problema por parte de unos investigadores. El vídeo pertenece a la serie “*El Planeta Milagroso*”, capítulo 11: ‘La atmósfera’. De este vídeo de 45 minutos de duración sólo se utilizaron los últimos diez minutos en los que se narra la investigación científica.

Una transcripción resumida del contenido de este fragmento de vídeo es la siguiente:

La troposfera almacena el calor del Sol y la estratosfera destruye los rayos U.V. (...) el espacio más allá de la atmósfera de la Tierra posee una barrera invisible. (...) La corona solar que se ve en un eclipse de Sol son protones y electrones que liberan las explosiones nucleares. Cuando choca con la atmósfera se producen destellos de una luz fantasmal, las auroras boreales. (...) En la foto de una aurora boreal sobre el polo Norte, tomada desde un satélite, se ve que tiene forma de anillo que rodea el polo. (...) La pregunta que nos hacemos es: ¿por qué las auroras aparecen sólo sobre las regiones polares? (...)

Se puede considerar a la Tierra como un enorme imán con grandes campos magnéticos (...) La esfera magnética de la Tierra o magnetosfera desvía el viento solar y sus peligrosas partículas. Parte del viento solar vuelve y se concentra en el interior de la magnetosfera. Estas partículas son las que forman los hermosos fuegos pirotécnicos de las auroras. Las partículas solares se alinean con las fuerzas de la magnetosfera situándose sobre los polos N y S. Cuando chocan con la atmósfera a unos 100 km. de altitud resplandecen como auroras. Como los campos magnéticos actúan en equilibrio es de suponer que las auroras boreales surjan simultáneamente en los dos polos y sufran los mismos cambios. ¿Es cierto esto?

Para descubrirlo hemos ido a Islandia en el Atlántico Norte. Unos científicos japoneses han mostrado aquí una base de observación para realizar una investigación simultánea con un equipo similar situado en la Antártida (...) a 16.000 km. de distancia. La observación simultánea de las auroras debe hacerse en las mismas condiciones. Entre Marzo y Septiembre las noches comienzan a la vez en los dos polos (...); tiempo claro en ambos sitios y a la misma hora (...); y deben aparecer las auroras porque no son muy frecuentes.

En la primera observación de una aurora en Islandia, en la Antártida estuvo el cielo cubierto. Tres días después, el 26 de Septiembre, hizo buen tiempo en la Antártida. Además de las cámaras en la Tierra se envió un globo a la atmósfera. (...) Existe una diferencia de cuatro horas entre las dos bases. (...) Las imágenes (satélite de observación desde el espacio) de las dos auroras son iguales y aparecen simétricamente a derecha e izquierda como imágenes especulares. Unos 8 minutos después las auroras empiezan a ensancharse y a la vez se parten en dos. La fantasmal belleza de la aurora demuestra que existe una barrera que protege a la Tierra del viento solar. (...) Las auroras demuestran cómo actúan las defensas más externas de nuestro planeta.

La actividad se llevó a cabo en un periodo de clase. Los alumnos se dispusieron en grupos y tomaron datos sobre la investigación científica que se explicaba en el vídeo. Tras la visión del mismo, trabajaron el cuestionario que se recoge a continuación.

**DISEÑO DE UNA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA:
LAS AURORAS BOREALES**

COMPONENTES DEL GRUPO:

El siguiente fragmento de un vídeo sobre la atmósfera (de la colección El Planeta Milagroso), presenta el desarrollo de una investigación que trata de resolver el problema que surge tras la observación de un fenómeno muy curioso como es el de las auroras boreales.

Después de ver el vídeo (cuya duración es de 10') debéis contestar a estas cuestiones:

1. ¿Qué problema o problemas tratan de resolver los investigadores?
2. ¿De qué hipótesis o suposiciones parten?
3. ¿Qué variables o condiciones de la investigación tienen que controlar y por qué?
4. Describe el diseño experimental que realizan los investigadores.
5. ¿Cuáles han sido los resultados?, ¿Se confirma la hipótesis?
6. ¿Crees que el experimento que han realizado ha sido el más adecuado?, ¿Podrían haber realizado algún otro tipo de prueba para resolver el problema inicial?, ¿Deberían repetir el experimento en condiciones diferentes?
7. Una vez terminada esta investigación y aceptados los resultados, ¿Plantearíais nuevos problemas a resolver a partir de estos datos?

Al final de la sesión se realizó una puesta en común sobre la metodología de investigación que habían seguido los científicos que aparecían en el vídeo.

B. RESOLUCIÓN GUIADA DE UN PROBLEMA ABIERTO

La segunda actividad consistió en poner a los alumnos frente a un problema. La elección del tema estuvo condicionada por el tipo de contenidos que se trabajaban en el aula, la litología y los relieves; y se situó en Arganda, lugar de residencia de los alumnos, para que su motivación e implicación en la resolución del mismo fuera mayor.

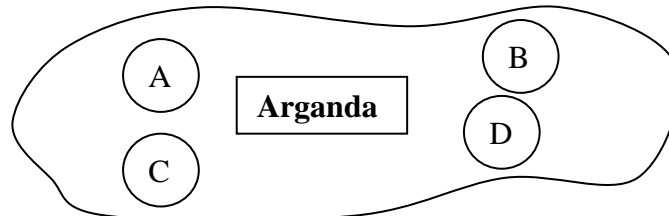
En principio sólo debían realizar las tres primeras fases de la MRPI. Esta parte del trabajo era individual y fue corregida por la profesora para valorarla y exponer una síntesis de las mismas a la clase. Posteriormente los alumnos resolvieron el problema en el laboratorio. En esta segunda parte de la actividad se unificaron los pocos diseños experimentales que se habían presentado y se decidió cuál era la variable más importante en la resolución del problema. Se formaron grupos de trabajo que trajeron distintos tipos de tierra (arcilla, arena, mezcla de ambas y grava) y estudiaron su capacidad de filtración.

Tanto en el proceso de diseño final de la investigación (único para todos los grupos), como en la forma en que debían recoger los datos en tablas (cantidad de agua/tiempo) y su representación en gráficas, los alumnos estuvieron muy guiados por las intervenciones de la profesora, porque el fin último de esta actividad era que ellos identificasen una serie de fases en el proceso de resolución de un problema.

El guión de la actividad que se entregó a los alumnos fue el siguiente:

LOS PRIMEROS PASOS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS ABIERTOS

PROBLEMA: El ayuntamiento de Arganda del Rey debe decidir sobre la localización de un basurero en las cercanías del pueblo. Para almacenar estos residuos se disponen de cuatro posibles ubicaciones formadas por **distintos tipos de materiales** o rocas (A, B, C y D).



¿Cuál de estos terrenos será el más idóneo para almacenar residuos y evitar que puedan contaminar arroyos, aguas subterráneas o cultivos cercanos?

PASOS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS ABIERTOS

1. **Análisis del problema:** ¿Qué crees que deberías saber o controlar antes de empezar a pensar en la solución del problema?, ¿Qué factores pueden influir en la solución del mismo?
2. **Hipótesis** o posible solución: ¿Qué características debe presentar un terreno para que se instale un basurero en él?
3. **Diseño experimental** o elaboración de una estrategia de resolución: ¿Qué tipo de experimento o pruebas realizarías para poder determinar qué terreno cumple la hipótesis?

Los siguientes pasos de la resolución del problema se realizarán en otro momento (si es posible en el laboratorio).

4. Resolución del problema
5. Análisis de los resultados

C. ELABORACIÓN DE UN GUIÓN DE TRABAJO

Los estudiantes recibieron un guión de las fases que implicaba la resolución de un problema abierto.

PARA RESOLVER LOS PROBLEMAS.....

REPRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

1. Análisis cualitativo del problema

Representación y comprensión de la situación

Restricción de condiciones

2. Emisión de hipótesis

Emisión de hipótesis acerca de los factores que pueden determinar la magnitud buscada

Estudio de casos límite de fácil interpretación

RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA

3. Elaboración de estrategias

Análisis del problema por partes o resolución de casos más simples

Establecimiento de analogías con situaciones tratadas anteriormente

Indicación del marco teórico de referencia

Determinación de los datos necesarios para la solución del problema

Estudio del problema usando tablas, gráficos, porcentajes, etc.

4. Resolución del problema

Hacer en primer lugar una resolución algebraica

Verbalización el proceso de resolución

Aplicación a un caso concreto con datos numéricos preferentemente sacados de un caso real

ANÁLISIS DEL PROBLEMA

5. Análisis de los resultados

Interpretación del resultado a la luz de las hipótesis y del marco teórico utilizado

Comprobación de los casos límites

D. REALIZACIÓN DE EJERCICIOS QUE SE CENTREN EN ALGUNA DE LAS FASES DE LA METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Las siguientes actividades abordan las fases de la MRPI de forma independiente para que los alumnos vayan identificando los procesos que tienen que realizar en cada una de ellas, y se ha seleccionado atendiendo a los contenidos que se trabajaban en el aula. Cada una de ellas se trabajó en grupo y a lo largo de un periodo de clase.

Las actividades son, en su mayoría, elaboraciones propias realizadas a partir de documentación diversa. A continuación se detalla su origen, o su proceso de elaboración.

La actividad D.1, sobre análisis cualitativo, se elabora a partir de diversos artículos de prensa como fuente de información.

Respecto a las actividades del bloque D.2, sobre identificación y control de variables:

- la primera, sobre la orientación de los murciélagos, se elabora a partir de textos como el *Programa de especialización del Profesorado de EGB*. Unidad 7 (1976, UNED, Madrid, p. 34-36), o “¿Qué es esa cosa llamada ciencia?” de Chalmers (1991, p.70-71).
- la segunda, sobre el cultivo de patatas, está tomada de Cañas y otros (1991).
- la tercera, sobre las diferencias de las tortugas adaptadas a diversos medios usa imágenes tomadas de un libro de texto (editorial Akal).

En relación con el bloque de actividades D.3, sobre la validez de los diseños experimentales:

- la primera propone dos investigaciones sobre el cultivo de plantas, y está tomada de Cañas y otros (1991).
- La segunda, sobre el diseño experimental de Van Helmont, se elabora a partir de ideas y datos obtenidos en el libro de Asimov “*Fotosíntesis*” (1985), y en una actividad del curso *ACD-A de Ciencias* (Gené, 1990, MEC, Avila).

La actividad D.4, sobre la interpretación de datos, se ha extraído del libro de Baker y Allen (1968) “*Hypothesis, prediction and implication in Biology*”.

D.1. Análisis cualitativo

Los estudiantes debían realizar un análisis cualitativo del siguiente problema:

Sois un grupo de expertos y expertas en sismología. El Ministerio del Interior os ha pedido que realicéis un informe pormenorizado y exhaustivo sobre las zonas de riesgo sísmico en España, y las medidas de prevención y sismorresistentes que deben tomar las administraciones respectivas.

Como fuente de información, disponían de artículos recientes sobre terremotos (“Unas normas sismorresistentes que no hacen milagros”, *El País*, 25/1/95, p.32; “Los expertos atribuyen al azar que los seísmos sean tan mortales”, *El Mundo*, 22/9/99, p. 34-35;), además de su libro de texto y todos los conocimientos que habían ido adquiriendo en su estudio de la teoría de la Tectónica de Placas y la interpretación de los terremotos dentro de la misma.

D.2. Emisión de hipótesis y control de variables

1ª actividad

COMPONENTES DEL GRUPO:

Indica cuáles fueron las hipótesis que originaron la realización de los siguientes experimentos.

Lázaro Spallanzani, científico del siglo XVIII, observó que los murciélagos se desplazaban en cavernas muy oscuras y no chocaban contra obstáculo alguno. Este hecho llamó la atención de Spallanzani, que quiso resolver el problema de cómo se orientan los murciélagos en la oscuridad.

¿Cuáles fueron las hipótesis formuladas por el investigador antes de diseñar sus experimentos?

Hipótesis 1:

En un primer experimento, Spallanzani, priva de la vista a algunos murciélagos, y los suelta. Observó que eran capaces de desplazarse y de alimentarse.

La primera hipótesis era falsa.

Hipótesis 2:

En un segundo experimento, Spallanzani, taponó los conductos auditivos de algunos murciélagos. Estos murciélagos quedaban totalmente desorientados.

La segunda hipótesis era válida

Tras la resolución de este problema surgió otro problema: ¿para qué utilizaban los oídos los murciélagos si eran animales silenciosos? Este problema no se podía resolver con los conocimientos de la época de Spallanzani y su resolución tuvo que esperar unos cuantos años. Mientras tanto, las conclusiones de este investigador fueron rechazadas o ridiculizadas.

Ahora, trata de transformar las hipótesis en esta forma de pensamiento lógico:

SI (hipótesis) ENTONCES (predicción o consecuencia)

NOTA: Las predicciones son muy importantes porque proporcionan una orientación muy clara sobre lo que es necesario hacer (experimento) para comprobar la hipótesis.

2ª actividad

COMPONENTES DEL GRUPO:

Un labrador desea determinar qué variedad de patata debe cultivar en sus tierras para obtener mayor rendimiento. Elige varias parcelas del mismo tipo de suelo, tamaño y orientación. Planta en cada parcela la misma cantidad de cada una de las variedades que quiere experimentar y las riega igual.

1. La **hipótesis** que se formula el labrador será:

- a) El riego determina el rendimiento.
- b) La cantidad de sol que recibe cada parcela influye en la producción.
- c) El tipo de simiente es factor decisivo en la cantidad producida.
- d) Los abonos aumentan el rendimiento.

2. La **variable dependiente** es:

- a) El tipo de variedad de patata.
- b) La cantidad de patata producida.
- c) La frecuencia de riego.
- d) La temperatura.

3. La **variable independiente** es:

- a) La variedad de patata.
- b) La cantidad de simiente.
- c) La cantidad de patata producida.
- d) La temperatura.

3ª actividad

COMPONENTES DEL GRUPO:

PROBLEMA

¿Cómo sabrías si una tortuga es marina o terrestre? Indica las diferencias que deberían presentar.

CONTINUACIÓN DEL PROBLEMA

A continuación tenéis las imágenes de una tortuga marina, terrestre, y de medio fluvial y terrestre a la vez. Debéis comprobar si vuestras hipótesis eran correctas, e indicar alguna adaptación que no tuvisteis en cuenta.

D.3. Analizar la validez de distintos diseños experimentales

1ª actividad

COMPONENTES DEL GRUPO:

Un chico tiene cuatro plantas iguales, pero no sabe qué cantidad de agua necesitan.

¿Cómo lo podría averiguar?

- a) Colocando dos plantas al sol y dos a la sombra y regándolas en abundancia.
- b) Regando cada planta con diferentes cantidades de agua y midiendo cuánto han crecido.
- c) Regando todas las plantas con idéntica cantidad de agua y midiendo lo que han crecido.
- d) Echando fertilizantes a todas las plantas y midiendo su crecimiento.

Se colocaron diez plantas en tierra arenosa y otras diez en tierra arcillosa. Ambos grupos de plantas se mantuvieron a temperatura ambiente, se les echó la misma cantidad de agua y se colocaron en una habitación soleada.

1. Este experimento comprueba el efecto de:
 - a) Diferentes tipos de tierra sobre el crecimiento de las plantas.
 - b) La temperatura sobre el crecimiento de las plantas.
 - c) La luz del Sol sobre el crecimiento de las plantas
 - d) El agua sobre el crecimiento de las plantas.
2. ¿Por qué?. ¿Cómo crees que está diseñado el experimento?
3. ¿Qué hubiera ocurrido si en el experimento no se hubiera controlado la temperatura?
4. ¿Por qué crees que hay una serie de ‘variables’ que deben mantenerse constantes en una investigación?

2ª actividad

COMPONENTES DEL GRUPO:

El experimento de Helmont (1648): ¿De qué está hecha la materia?

Desde la época de los filósofos griegos se pensaba que la naturaleza estaba formada por cuatro elementos: agua, tierra, aire y fuego. Por otra parte, desde que las primeras civilizaciones habían desarrollado la agricultura, se presumía que el suelo y el agua eran los elementos que se transformaban en materia vegetal.

A partir de estos conocimientos Jan Baptista Van Helmont diseñó un experimento muy sencillo y crucial para comprobar su hipótesis de que toda la materia estaba formada por agua. Van Helmont pensaba que el agua era la sustancia fundamental del Universo; y, por lo tanto, todas las sustancias eran agua que adoptaba diferentes formas. Este trabajo fue muy importante por ser el primer experimento biológico en que se pesaron y observaron cambios de peso en seres vivos.

Van Helmont empezó por trasplantar un vástago de un joven sauce a un gran cubo lleno de tierra. Pesó el sauce y la tierra, por separado. Así, si el sauce formaba sus tejidos absorbiendo sustancias de la tierra, lo que ganase en peso debería perderlo la tierra. Van Helmont cubrió cuidadosamente la tierra para asegurarse de que no se perdía, ni ganaba tierra del exterior. Y, naturalmente, regó el sauce para que creciese

Durante cinco años, Van Helmont regó su árbol con agua de lluvia y éste creció. Tras ese periodo de tiempo, extrajo el sauce cuidadosamente del cubo, sacudió la tierra de sus raíces y pesó de nuevo el sauce y la tierra por separado.

Lee el texto y contesta a estas cuestiones

- ¿Qué problema científico origina esta investigación?:
- ¿Cuál era la hipótesis de Van Helmont?:
- ¿Qué variables tuvo en cuenta en su experimentación?, ¿cuál era la variable dependiente y cuál la independiente?:
- ¿Crees que hay más variables implicadas que el investigador no tuvo en cuenta?:
- ¿Por qué controló la cantidad de tierra del cubo?:
- ¿Cuáles crees que fueron los resultados: a) la tierra perdió peso
b) el peso de la tierra permaneció igual
c) la tierra ganó peso

Explica tu respuesta:

El experimento de Van Helmont (2ª parte)

Los resultados obtenidos por Van Helmont fueron los siguientes: en cinco años el sauce había aumentado 7,5 kg. de peso; sin embargo la tierra sólo había perdido 2 onzas (57 g). Como el suelo no había perdido los 7,5 kg. ganados por el sauce, y la única otra sustancia que había estado en contacto con el sauce era el agua, Van Helmont llegó a la siguiente conclusión: que la planta no obtenía su sustancia del suelo sino del agua, y por lo tanto el agua era la sustancia fundamental del Universo. El agua podía transformarse en tejido vegetal o en cualquier otra cosa.

Tras ver los resultados obtenidos por Van Helmont:

1. ¿Llegas a las mismas conclusiones que el investigador?, ¿Crees que el agua se ha transformado en tejido vegetal?:
2. ¿Harías algún otro tipo de prueba para comprobar si la hipótesis de Van Helmont es cierta?:
3. A partir de los datos que aparecen en la siguiente tabla, ¿crees que es válida la hipótesis de agricultores y otras personas que creen que el suelo y el agua son los elementos indispensables para el crecimiento vegetal?

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL SUELO		COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA		COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS TEJIDOS VEGETALES	
Sustancias	Átomos	Sustancias	Átomos:	Sustancias	Átomos
Agua	H y O	Agua	H y O	Agua,	H y O
Oxígeno	O			Sales minerales	N, Na, K, Cl, Mg, P, S, Fe,
sales minerales	N, Na, K, Cl, Mg, P, S, Fe,			Glúcidos	C, H, O,
				Lípidos	C, H, O
				Proteínas	C, H, O, N
				Vitaminas	C, H, O, N, P
				Ácid. Nucleicos	C, H, O, N, P

Explica tu respuesta:

D.4. Interpretación de los resultados

COMPONENTES DEL GRUPO:

Intenta sacar una conclusión sobre el factor o factores necesarios para el desarrollo de clorofila en las plantas verdes a partir de las siguientes observaciones, que se obtuvieron en un experimento sobre la nutrición mineral de las plantas.

Observación 1. Las plantas crecen en suelo que contiene cloro y magnesio, y suministrando luz, se vuelven verdes.

Observación 2. Las plantas crecen en suelo que contiene cloro, pero no magnesio y, suministrando luz, permanecen blancas.

Observación 3. Las plantas crecen en suelo que contiene cloro y magnesio pero, mantenidas en oscuridad, permanecen blancas.

Observación 4. Las plantas crecen en suelo que contiene magnesio, pero no cloro y, suministrando luz, se vuelven verdes.

Observación 5. Las plantas crecen en suelo que contiene cloro, pero no magnesio y, mantenidas en oscuridad, permanecen blancas.

Observación 6. Las plantas crecen en suelo que no contiene ni cloro ni magnesio y, suministrando luz, permanecen blancas.

Observación 7. Las plantas crecen en suelo que contienen magnesio, pero no cloro y, mantenidas en oscuridad, permanecen blancas.

Observación 8. Las plantas crecen en suelo que no contiene ni cloro ni magnesio y, mantenidas en oscuridad, permanecen blancas.

Conclusión: El factor (o factores) necesario para el desarrollo de la clorofila, según el experimento anterior, es:

A. RESOLUCIÓN NO GUIADA DE UN PROBLEMA ABIERTO

Los estudiantes se enfrentaron a una investigación de campo:

PROBLEMA:

En mi entorno hay numerosos seres vivos que son unos grandes desconocidos. Tengo curiosidad por saber algo de ellos; por ello, un grupo de compañeros nos proponemos investigar los seres vivos con los que convivimos.

Se formaron grupos de trabajo. Cada uno de los mismos recibió un libro de ayuda que les permitiese orientar el tipo de investigación que deseaban realizar. Estos libros pertenecen a la colección Vivac de la editorial Teide y son: “*Investigando el Suelo*” (del Carmen, 1983), “*Investigando el Bosque*” (del Carmen, 1984), e “*Investigando los Seres Vivos de la Ciudad*” (Cañal de León, 1984).

Los distintos grupos de trabajo, a partir de este problema tan abierto, acotaron nuevos problemas y centraron su investigación en los siguientes temas:

Grupo 1: Estudio de los seres vivos que se encuentran en el camino que recorre la dehesa de El Carrascal.

Grupo 2: Estudio del bosque propio de la dehesa de El Carrascal

Grupo 3: Estudio del pino carrasco que se encuentra en la dehesa de El Carrascal

Grupo 4: Estudio de plagas en las vides de Arganda

Grupo 5: Estudio de los seres vivos que se encuentran en las casas: la mosca y la abeja.

Grupo 6: Estudio de dos zonas alejadas y con características diferentes de una misma finca.

Grupo 7: Estudio del jardín de una casa.

Grupo 8: Estudio de la vegetación del parque de Arganda del Rey.

El desarrollo de la investigación se realizó a lo largo del mes de Febrero. Los distintos grupos podían ir al laboratorio en el periodo de recreo para buscar en diversas guías de fauna y flora los seres vivos que iban encontrando; y para utilizar lupas y microscopios. Las investigaciones fueron valoradas según el nivel de realización de cada una de las fases de la MRPI.

6.3. FASE EXPERIMENTAL EMPÍRICA: TRABAJO EN EL AULA

La fase experimental empírica tiene un componente de **trabajo en el aula** que se desarrolla con el GEXP; y otro, que se desarrolla fuera del aula y donde sólo interviene la profesora investigadora, que es **de contraste de las hipótesis**. Puesto que el diseño de las pruebas (Capítulo 4) y de la unidad didáctica (Capítulo 5) ya ha sido referido, aquí nos centraremos en la dinámica de aula. En principio, sólo nos interesaría el trabajo de aula seguido por el GEXP con la MRPI. No obstante, como en esta fase experimental también se contrastan hipótesis en las que interviene el GCON, nos interesa identificar y diferenciar la metodología seguida por este grupo. De esta forma, si los grupos son homogéneos, y se han trabajado los mismos contenidos, las diferencias de aprendizaje se deben encontrar en la metodología seguida.

6.3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO EN EL AULA CON EL GRUPO EXPERIMENTAL

El inicio de las actividades de la unidad didáctica, propiamente dicha, se realizó entre el segundo y tercer trimestre del curso 1999/00. Después de recogida la información sobre conocimientos iniciales, se desarrollan las actividades y problemas cuya secuencia se encuentra en el Cuadro 5.19.

Al presentar la unidad didáctica se especificaron los objetivos que se pretendían con el desarrollo de la misma y se formaron 8 grupos de trabajo de 3 a 4 componentes cada uno de ellos. El trabajo en equipo es importante para asumir el carácter colectivo de consenso de toda investigación científica; y, además, el trabajo cooperativo permite que se genere un conflicto sociocognitivo mediante la interacción entre iguales que pueden confrontar sus puntos de vista parcialmente divergentes acerca de la tarea que se les propone y mejorar de esta forma su aprendizaje (Perret-Clemont, 1981). En términos de la teoría de la zona de desarrollo próximo de Vigotsky (1978), un estudiante puede superar su nivel de desarrollo real si hay mediadores entre él y el objeto de

conocimiento. Además, esta mejora es mayor si el trabajo en grupo va acompañado de la necesidad de comunicar la respuesta al resto de los compañeros.

A lo largo del trabajo en el aula con los problemas abiertos, el papel de la profesora investigadora era el de canalizar las ideas o dudas que se planteaban en las discusiones de cada grupo. Algunas de estas reflexiones salían de cada grupo de trabajo hacia el resto de la clase en el momento en el que se producían; o bien, se esperaba al final de la resolución para tener una puesta en común de las dificultades encontradas y de los diferentes puntos de partida e hipótesis que habían guiado las resoluciones de cada equipo. Aunque algunos de los problemas se resolvieron de forma parcial o total en casa, la discusión de resultados siempre se realizó en el aula.

Se estableció una dinámica de aula, de comunicación entre profesora y estudiantes, que permitía hacer un seguimiento de los avances que éstos realizaban, detectar sus dificultades, y favorecer su aprendizaje. La resolución de cada uno de los problemas era seguida de una valoración individualizada por parte de la profesora, en la que se recogía una apreciación sobre cómo habían resuelto cada una de las fases de la MRPI.

El resto de las actividades siempre se hicieron en clase, bien en gran grupo o por grupos de trabajo, y la dinámica de aula favorecía el intercambio de información e impresiones entre todos, profesora y estudiantes.

Desde una perspectiva constructivista, esta forma de trabajo ha permitido a los estudiantes:

- Implicarse en la tarea de clarificar sus propios puntos de vista desde las primeras fases del trabajo.
- Ser conscientes de las ideas que ya poseen y de si les son o no útiles ante las situaciones en las que debe aplicarlas. Este proceso de acomodación o reestructuración cognitiva es gradual.
- Tener oportunidad de discutir sus puntos de vista, lo que les permite confrontar sus conocimientos.

- Aplicar los nuevos conceptos en otras situaciones, en especial relacionadas con el mundo cotidiano. Las nuevas concepciones son potencialmente fructíferas y les permiten resolver nuevos problemas.

A la hora de recoger información sobre el desarrollo del aprendizaje en el aula, se utilizaron diversas estrategias:

1. Cada grupo de estudiantes recibió una carpeta que se usó para facilitar la entrega de nuevos problemas, y la recogida de los ya resueltos. Esta estrategia se ideó ante la evidencia, antes de iniciar la fase experimental empírica, de que a los estudiantes del GEXP les costaba entregar los trabajos a tiempo y de forma ordenada.
2. Elaboración de un diario de clase por parte de la profesora investigadora y de los estudiantes; instrumento, que nos daba información sobre el desarrollo diario de la unidad didáctica.
3. Grabación en vídeo de algunas de las sesiones para poder visualizar la interacción de los estudiantes en los grupos de trabajo, y el papel de éstos y de la profesora investigadora en el aula.

Estas estrategias de recogida de información nos permitieron ir constatando que lo que ocurría en el aula reflejaba un modelo didáctico constructivista, un enfoque C-T-S y una MRPI, que son los ejes en los que se apoya la unidad didáctica y la investigación.

A continuación vamos a transcribir el **diario de clase** de la profesora investigadora que nos aporta una descripción del desarrollo de la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?” en el aula. Recordamos que la secuencia de actividades de ésta se encuentra recogida en el **Anexo I**. Los problemas, con sus resoluciones y valoraciones, se encuentran en el **Anexo II**. También recordamos que antes y después del desarrollo de la unidad didáctica, los estudiantes realizaron las correspondientes pruebas iniciales y finales recogidas en el Capítulo 4.

TRANSCRIPCIÓN DEL DIARIO DE CLASE DEL GRUPO EXPERIMENTAL

ACTIVIDADES	PROFESORA	ALUMNADO
A ₀ (previa)	Preparar una carpeta para cada grupo de trabajo con: el diario de clase de cada componente del grupo, las fases de la resolución de problemas como una investigación, y la actividad inicial A ₁ . En esta carpeta se recogerá todo el trabajo realizado por el grupo a lo largo de la unidad didáctica (UD).	
A ₁ <i>“La actualidad científica en temas de ingeniería genética.”</i>	<p>Explico la forma de trabajo que se va a seguir a lo largo de la UD, y la importancia de que realicen su diario de clase.</p> <p>Explico la A₁ y lo que se pretende con ella.</p> <p>Coloco algunos de los esquemas realizados en DIN3 en la pared y comentamos la forma en que determinados avances científicos dentro de la ingeniería genética repercuten en nuestra vida, en decisiones políticas, etc.; y cómo, algunas de esas implicaciones, pueden ser favorables o no.</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Pido permiso para grabar en vídeo las siguientes sesiones.</p>	<p>↘ Preguntan dudas sobre el desarrollo de la UD: ¿se tomarán apuntes?, ¿siempre se trabajará en grupo?, etc.</p> <p>↙</p> <p>↘ Piden más explicaciones sobre la actividad.</p> <p>Lectura de los textos y artículos sobre la actualidad científica en temas de Genética.</p> <p>Realizan un esquema (individual), a partir de la información leída, sobre las implicaciones de la ingeniería genética en otros ámbitos como el social, ético, etc.</p> <p>↙</p> <p>↘ Aceptan ser grabados en vídeo, e incluso se presenta un alumno voluntario para realizar las funciones de cámara cuando sea preciso.</p>
A ₂ <i>“Los inicios de la Genética: Mendel”</i>	Realizo una síntesis de lo trabajado en la A ₁ , para ver la importancia de conocer los inicios de la Genética. Explico las primeras ideas sobre la herencia, y los trabajos de Mendel	

	<p>Respondo a sus cuestiones. Entrego un resumen del artículo de Mendel sobre su trabajo.</p> <p>Recalco la forma en que este investigador resuelve su problema, y como sigue una metodología semejante a la MRPI que se va a trabajar en clase.</p>	<p>↘ Aportan lo último que han oído en las noticias sobre clonaciones de cerdos. Preguntan dudas sobre la herencia y las leyes de Mendel. ↙</p> <p>↘ Lectura del artículo de Mendel ↙</p>
<p>A₃ (P₀) <i>“¿Cómo se hereda un carácter relacionado con el pelo?”</i></p>	<p>Repaso las fases de la MRPI, trabajadas en otros contextos, y les propongo el primer problema abierto de Genética.</p> <p>Controlo, grupo por grupo, si han entendido la tarea, y escucho que tipo de planteamientos hacen. Algún grupo piensa en trabajar en temas de calvicie. Puesto que es un carácter cuya manifestación se ve modificada por las hormonas sexuales, y será objeto de otro problema posterior, les recomiendo buscar otros caracteres.</p> <p>Interrumpo su trabajo para preguntar a todos los grupos sobre la mejor forma de estudiar la herencia del carácter adquirido.</p> <p>Explico cómo se realizan los árboles genealógicos y el tipo de símbolos que se usan.</p>	<p>↘ Manifiestan desorientación y dudas: ¿cómo empezar? ↙</p> <p>↘ La mayoría de los grupos (5) deciden trabajar con el carácter color de pelo (claro, oscuro). 3 grupos trabajan con el carácter forma de pelo (liso, rizado). Tienen dudas sobre cómo acotar el problema. ↙</p> <p>↘ Una alumna indica que se debería estudiar la distribución del carácter en las familias. Deciden que recogerán información en casa y construyen árboles genealógicos. ↙</p> <p>↘ Algunos alumnos van a ampliar y mejorar sus árboles genealógicos. Los grupos trabajan muy centrados en cada una de las fases de la resolución del problema. ↙</p>

	<p>Grabo en vídeo a cuatro grupos mientras me explican en qué fase se encuentran y qué razonamientos han seguido.</p> <p style="text-align: right;">↘</p>	<p>Ponen en común sus resultados completando una tabla en la pizarra donde especifican el grupo, el carácter escogido, los factores tenidos en cuenta, y sus conclusiones.</p>
<p>A₄ <i>“La teoría cromosómica de la herencia”</i></p>	<p>He continuado la explicación sobre la historia de los descubrimientos en el campo de la Genética. He incidido en cómo se iban generando nuevos conocimientos científicos y cómo se establecía un nuevo mapa conceptual o marco teórico: la teoría cromosómica de la herencia.</p> <p style="text-align: right;">↘</p> <p>Utilizo unos minutos de un vídeo para poder visualizar los cromosomas en el proceso de división celular. Las leyes de Mendel vuelven a ser revisadas bajo la perspectiva de la nueva teoría.</p>	<p>Atienden a la explicaciones y piden algunas aclaraciones.</p> <p>↙</p>
<p>A₅ (P₁) <i>“¿Cómo se hereda un carácter relacionado con el pelo?”</i></p>	<p>Entrego las carpetas a cada grupo con el nuevo problema y la valoración del P₀. Ahora tienen que volver sobre el mismo problema pero bajo el prisma de la teoría cromosómica de la herencia.</p> <p style="text-align: right;">↘</p> <p>Sus dudas implican que se debe volver a explicar qué son los cromosomas, y dónde se localizan los genes. La próxima actividad ayudará a comprenderlo mejor.</p> <p style="text-align: right;">↘</p>	<p>Al principio no entienden por qué tienen que volver a resolver el mismo problema. Les cuesta mucho transformar sus datos de caracteres y factores en genes y alelos.</p> <p>↙</p> <p>Terminan sus problemas, aunque no en todos los grupos han sabido concretar los datos en forma de cromosomas, genes y alelos.</p>
<p>A₆ <i>“Cariotipos y herencia de cromosomas”</i></p>	<p>Presento el guión de trabajo de esta actividad de simulación de la meiosis, centrándome en los objetivos que se persiguen y definiendo algunos conceptos nuevos como fenotipo, genotipo, cariotipo.</p> <p style="text-align: center;">↓</p>	

	<p>Cada alumno recibe una fotocopia con los 23 cromosomas recibidos en el óvulo de su madre, y los 23 correspondientes al espermatozoide del padre. También tienen información sobre la localización de algunos genes (Genoma Humano)</p> <p>Resuelvo estas dudas, y les pido que se coloquen por parejas donde uno tendrá un cariotipo de varón y otro de mujer. Les indico que deben completar su cariotipo con la información genética que han recibido de sus padres, y luego deben repartirla para tener un bebé.</p> <p>He aprovechado mientras ellos recortaban cromosomas para volver a repasar los procesos de división celular y el reparto de cromosomas que tiene lugar.</p> <p>Mando para casa que contesten a una serie de cuestiones relacionadas con la herencia de genes y cromosomas que</p>	<p>↘ A pesar de que estos datos no son nuevos para ellos, algunos preguntan por qué reciben cromosomas del óvulo si son chicos, o cómo es que reciben un cromosoma X del padre.</p> <p>↙</p> <p>↘ Tirando una moneda al aire localizan los genes recibidos al azar de cada uno de sus padres. Posteriormente, cada pareja de alumnos va a tener un bebé. Tienen que construir su cariotipo seleccionando al azar (moneda) cada uno de los cromosomas homólogos que van a ir en su óvulo o espermatozoide. Hacen preguntas, que voy recogiendo en el vídeo, en las que se hace evidente que no todos habían entendido cómo se heredan los cromosomas paternos y maternos.</p> <p>↙</p> <p>↘ Al final de la actividad, algunas parejas han completado una tabla en la pizarra, indicando el nombre del bebé, el sexo, y el número de cromosomas que recibía de cada padre y de cada abuelo materno y paterno. Ven claramente que de cada padre reciben la mitad de la información hereditaria. Sin embargo pueden recibir más o menos información de algunos abuelos debido a que la información se reparte al azar.</p> <p>↙</p>
--	--	---

	aparecen en el guión de trabajo	
A₇ (P₂) “¿Qué ocurriría si un carácter ni fuera dominante ni recesivo?”	<p>He repartido las carpetas de cada grupo con el P2.</p> <p>En gran grupo, he preguntado: ¿qué significa que un carácter no es dominante o recesivo?</p> <p>A partir de estas ideas he introducido el hecho de que no todos los caracteres se heredan siguiendo las leyes de Mendel. Vuelvo sobre la actividad anterior y la hoja del Genoma Humano que se les entregó. Les pido que busquen genes que no siguen la herencia mendeliana.</p> <p>Les recalco que sin un buen análisis cualitativo del problema, la resolución del mismo se dificulta.</p>	<p>↘ No entendían en qué consistía el problema y se han puesto a discutir sin escucharse unos a otros.</p> <p>↙</p> <p>↘ Algunos grupos han dicho que debía ser como cuando el color del pelo no es rubio ni negro, sino castaño.</p> <p>↙</p> <p>↘ Algunos alumnos identifican genes con tres alelos (grupos sanguíneos), o genes con herencias intermedias (color de piel), o caracteres determinados por más de un gen (altura), etc. Ahora cada grupo vuelve a abordar el problema.</p> <p>↙</p> <p>↘ Algunos grupos, o alumnos dentro de cada grupo, siguen trabajando con fenotipos y no con genotipos.</p>
A₈ (P₃) “La herencia de los grupos sanguíneos era utilizada para determinar la posible paternidad de los padres de un bebé. ¿Podrías conocer el grupo sanguíneo de un hijo tuyo?”	<p>Entrego el próximo problema para que lo empiecen a trabajar en casa y recojan la información que consideren oportuna.</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Indago sobre las dificultades que han tenido con este problema.</p> <p>Les intento hacer comprender que dependiendo de las premisas de partida cada uno puede resolver el problema de forma diferente y llegar a</p>	<p>↘ Algunos alumnos ya se habían informado de sus respectivos grupos sanguíneos, y veían la necesidad de hacer cruces entre los grupos sanguíneos de sus posibles parejas. Una gran parte de la clase pretendía que la profesora resolviera el problema en la pizarra.</p> <p>↙</p>

	<p>distintos resultados. Repaso un poco el concepto de codominancia.</p> <p>↘ Terminan el problema en casa, y, en su mayor parte, todos utilizan genotipos, realizan la mayor parte de las combinaciones posibles de cruces, y siguen las distintas fases de la MRPI.</p>
<p>A₁₁ <i>“El descubrimiento de la estructura del ADN, duplicación y mutación”</i></p>	<p>Adelanto esta actividad porque estos conocimientos teóricos son necesarios para realizar la A₁₆ que abordaremos con anticipación para poder prepararla con tiempo y llevarla a la I Feria de la Ciencia de Madrid.</p> <p>Este cambio en la secuencia de actividades no afecta al desarrollo histórico de los contenidos de Genética.</p> <p>He explicado el descubrimiento de la estructura del ADN y las repercusiones que este hecho ha tenido en los descubrimientos actuales del Genoma Humano. He utilizado 10 minutos de un vídeo para que viesen las imágenes tridimensionales de la molécula de ADN y el proceso de duplicación.</p> <p>↘ Al principio les cuesta entender qué son las bases nitrogenadas (A, G, C, T). Pero enseguida han comprendido que la secuencia de bases consistía en un código cifrado; y que eran complementarias: la A con la T, y la C con la G.</p>
<p>A₁₆ <i>“Las nuevas tecnologías: ¿quién es el padre del bebé?”</i></p>	<p>Explico en qué consiste este juego de simulación en el que se va a realizar un test genético. Leo detenidamente el problema.</p> <p>↘ Los alumnos identifican los personajes implicados en el problema de paternidad. Uno de ellos va a grabar la sesión en vídeo.</p> <p>↙</p> <p>Divido la clase en cinco grupos. Uno para cada uno de los cuatro personajes (madre de alquiler, marido de la madre de alquiler, donante de esperma, y bebé) y otro para un material genético que servirá de modelo o control. Explico que cada grupo es un tubo de ensayo donde está el material genético de esos personajes.</p> <p>↘ Siguiendo el guión de trabajo y mis</p>

	<p>Explico qué son las enzimas de restricción y por qué utilizamos una secuencia de ADN marcada radiactivamente.</p> <p>Explico lo que es un gel de electroforesis y dispongo unas cartulinas en el encerado que realizarán esa función. Voy llamando grupo a grupo para que viertan el contenido de sus “tubos de ensayo” y lo ordenen de mayor a menor.</p>	<p>indicaciones, recortan el material genético que les ha correspondido.</p> <p>↙</p> <p>↘ Cortan con las tijeras (enzimas de restricción) el ADN del personaje correspondiente, y pegan a sus complementarias las secuencias con marcaje radiactivo (rotulador). Ordenan los fragmentos de ADN de mayor a menor número de bases.</p> <p>↙</p> <p>↘ Un alumno de cada grupo va colocando los fragmentos de ADN en la columna correspondiente a su personaje. Una vez completado el gel de electroforesis, toda la clase observa cómo la mitad de los marcajes radiactivos del bebé coinciden con los de la madre de alquiler y la otra mitad con el donante de esperma. Por lo tanto el padre del bebé es este individuo.</p>
<p>A₉ (P₄) <i>“¿Qué ocurriría si el gen para un carácter se localizase en los cromosomas sexuales?”</i></p>	<p>La herencia de un carácter ligado al sexo es algo novedoso para los alumnos y les propongo que trabajen en grupo el análisis cualitativo y que terminen la resolución de forma individual en su casa.</p> <p>Entrego a cada alumno el árbol genealógico de la realeza europea en relación con la transmisión de la hemofilia. He explicado en qué consistía la enfermedad, y que se debía a un gen recesivo localizado en</p>	<p>↘ Realizan un análisis muy detallado del problema. Al final se realiza una puesta en común de los análisis cualitativos realizados por distintos grupos de trabajo o alumnos. Terminan el problema de forma individual. Diferencian si el carácter va a ser dominante o recesivo y si se localiza en el cromosoma X o Y. A partir de esas premisas realizan todos los cruces que consideran necesarios.</p> <p>↙</p>

	<p>el cromosoma X.</p> <p>He dedicado un tiempo a la valoración de la resolución de este problema. He incidido en el hecho de que distintos grupos habían planteado el problema de forma diferente (buscar combinaciones de genotipos, realizar cruces, sólo considerar herencia en cromosoma Y, o sólo en X, etc.). esto implica distintas resoluciones y conclusiones.</p>	<p>↘ Aplicando lo aprendido en la resolución del P₄ identifican los genotipos de todas las personas del árbol genealógico. También, algunos, gracias a este caso concreto han identificado errores en su resolución y los han corregido.</p> <p>↙</p>
<p>A₁₀ (P₅) <i>“¿Qué pasaría si un carácter estuviera determinado por más de un gen?”</i></p>	<p>Les propongo este nuevo problema para que lo realicen de forma individual en casa.</p> <p>Recojo el trabajo realizado por los alumnos más aventajados y, tomándolo como punto de partida, suscito en el resto de la clase los interrogantes que deben hacerse para poder entender y resolver este problema.</p> <p>En la valoración del problema he incidido sobre el hecho de que habían seguido dos estrategias distintas en la resolución (combinaciones de genotipos y cruces de individuos), y que en la investigación científica, esto, también es frecuente.</p>	<p>↘ Al ser un problema novedoso (herencia poligénica) han tenido muchas dificultades en su resolución.</p> <p>↙</p> <p>↘ Todos los alumnos han decidido simplificar la resolución a un caso de un carácter determinado por dos genes y dos alelos (dominante y recesivo) en cada gen. La mayoría ha localizado los dos genes en cromosomas distintos, y unos pocos en el mismo cromosoma. Unos lo han resuelto buscando todas las posibles combinaciones genotípicas y fenotípicas y sus probabilidades; y otros han realizados cruces entre individuos con distintos genotipos. Unos pocos alumnos siguen teniendo problemas con la distribución de alelos en los gametos.</p> <p>↙</p>

<p>A₁₂ (P₆) <i>“¿Podría aparecer un nuevo carácter en una familia?”</i></p>	<p>Propongo un nuevo problema.</p> <p>↘</p> <p>Aprovecho para incidir en el hecho de que, en las investigaciones científicas, un mismo problema puede tener varios planteamientos que pueden ser perfectamente válidos. Todo depende del análisis cualitativo, y de cómo se haya acotado el problema. Les explico que ésta es la razón de que diferentes equipos lleguen a distintos resultados, que no tienen por qué ser excluyentes.</p>	<p>Desde el primer momento los grupos de trabajo se decantan por resolver un problema de mutaciones o de alelos recesivos que se manifiestan. Los que trabajan con mutaciones se basan en lo que aparece en su libro de texto para explicarlo. Los que trabajan con recesivos aplican lo trabajado en otros problemas. Trabajan de forma animada porque entienden el problema y les gusta la resolución que del mismo están realizando.</p> <p>Al ver que cada grupo ha enfocado el problema de forma distinta quieren saber cuál es la correcta.</p> <p>↙</p>
<p>A₁₃ (P₇) <i>“La calvicie es un asunto que preocupa más a hombres que a mujeres. ¿Por qué crees que este carácter aparece principalmente en varones?”</i></p>	<p>Propongo otro problema sobre un carácter que se manifiesta de forma diferente en un sexo y en otro. Indico que la resolución se hace en casa.</p> <p>↘</p> <p>En la valoración final les informo que, en realidad, la calvicie es un carácter influido por las hormonas sexuales. Se comporta como dominante en los</p>	<p>Resuelven el problema bajo tres supuestos de partida diferentes: herencia determinada por el sexo a) alelo recesivo en el cromosoma X, b) cromosoma Y, o c) herencia influida por las hormonas sexuales. Los alumnos que proponen que el gen de la calvicie estaba en el cromosoma Y consideran que no existe la calvicie femenina, y que cuando se produce es debido al uso de tintes, permanentes, etc. Los alumnos que trabajan con el cromosoma X consideran la calvicie recesiva para poder justificar que afecte más a varones. Muy pocos alumnos han optado por el tercer planteamiento que a priori es complicado de justificar.</p> <p>↙</p>

	<p>varones y recesivo en las mujeres. Ellos no tenían que conocer este dato, igual que les puede suceder a los científicos a la hora de resolver un problema. Aprovecho para incidir en el hecho de que, dependiendo de la teoría científica en la que se muevan los científicos, abordarán la resolución del problema de forma diferente. Ante nuevas teorías las interpretaciones que se den a los mismos datos pueden variar.</p>	
<p>A₁₄ (P₈) <i>“Un grupo de personas de piel blanca colonizó una región de África. Una vez establecida su comunidad, realizaron matrimonios entre ellos. ¿Cómo crees que será la piel de los bebés que nazcan después de muchas generaciones?”</i></p>	<p>Propongo un problema sobre la herencia o no de los caracteres adquiridos. Este problema está sacado de las pruebas iniciales sobre ideas de los alumnos.</p> <p>↘ Tienen problemas a la hora de acotarlo, porque dudan si hay cruces entre blancos y negros o no.</p> <p>↙</p> <p>Aclaro que el grupo de blancos sólo se cruza entre ellos a lo largo de numerosas generaciones, y que la única variación es que van a vivir en África.</p> <p>↘ Se decantan por dos visiones opuestas. Hay grupos que creen que es obvio que si los genes iniciales eran de color de piel blanca, los bebés nacerán con la piel blanca; aunque, a lo largo de su vida, se pongan morenos por el clima. Sin embargo, otros grupos manifiestan ideas de herencia de caracteres adquiridos y justifican el nacimiento de bebés con piel más oscura a base de mutaciones, influencias del clima, o incluso diciendo que el gen de color de piel oscura es recesivo y se manifiesta ahora.</p> <p>↙</p> <p>A los grupos que mantenían ideas previas sobre la herencia de caracteres adquiridos les he ido cuestionando sus planteamientos con preguntas del tipo: “Si es una mutación, ¿a qué células afecta?”; “Si la mutación afecta a las células de la piel, ¿cómo la heredan los hijos?”</p> <p>↘ A los alumnos, que aún mantienen que los caracteres se adquieren, les ha costado comprender cómo no se podía justificar científicamente este hecho.</p>	

<p>A₁₅ (P₉) <i>“Una persona expuesta al sol desarrolla cáncer de piel, ¿sus hijos tendrán cáncer de piel?”</i></p>	<p>Mando que realicen este problema en casa y que utilicen todo lo trabajado y discutido en los problemas anteriores.</p> <p style="text-align: right;">↘</p>	<p>La resolución de este problema les resulta mucho más fácil. La mayoría tiene claro que un carácter adquirido (cáncer de piel, pérdida de una extremidad, etc.) no se hereda porque no estaba en la información genética original del individuo.</p> <p>Algunos alumnos resuelven este problema partiendo de otro supuesto. La persona tenía predisposición a tener cáncer y sus hábitos lo han provocado. Sin embargo, indican que los hijos pueden heredar ese gen aunque sólo lo desarrollarán si toman el sol sin protección solar.</p>
<p>A₁₇ <i>“Estudio de casos: los diagnósticos genéticos”</i></p>	<p>Empiezo recordando la actividad en la que hicimos un test genético. Informo de que este tipo de diagnóstico genético se puede aplicar a otros campos como la detección de enfermedades.</p> <p style="text-align: right;">↘</p> <p>He ido grupo por grupo grabando sus discusiones y la forma en que trataban cada situación.</p> <p style="text-align: right;">↘</p>	<p>Cada grupo se ha puesto a trabajar sobre los cuatro casos de estudio que tenían recogidos en su carpeta de trabajo. En cada caso aparecen distintos personajes y diferentes dilemas éticos, sociales, económicos, etc.</p> <p style="text-align: right;">↙</p> <p>No todos los alumnos dan las mismas soluciones a cada caso. Para unos es más importante el derecho a la información; para otros el bienestar de las personas; o que la información no salga del ámbito de lo privado.</p>
<p>A₁₈ (P₁₀) <i>“¿Cómo saber si padeceré Alzheimer?”</i></p>	<p>Propongo un nuevo problema.</p> <p style="text-align: right;">↘</p> <p>Les doy una información muy somera y les indico que tienen información en su libro sobre el cromosoma en el que se localiza el gen del Alzheimer.</p> <p style="text-align: right;">↘</p>	<p>Empiezan a analizar la situación. Preguntan dudas sobre la enfermedad y sus manifestaciones.</p> <p style="text-align: right;">↙</p> <p>Los grupos de trabajo se decantan por una de estas dos posibles soluciones: rastrear el gen en un árbol genealógico, o realizar un test genético. Los grupos que trabajan</p>

		con sus árboles genealógicos saben que lo que van a obtener es una probabilidad mayor o menor de que padezcan la enfermedad; mientras que el test genético les daría una seguridad del 100%. La mayoría de los alumnos que han optado por esta resolución tienen una abuela o algún familiar con Alzheimer, y quieren saber la probabilidad de que hayan heredado el gen.
A₁₉ <i>“Las nuevas tecnologías: crear un ratón humano”</i>	Entrego el guión de trabajo de una nueva simulación de técnicas biotecnológicas: la creación de seres vivos transgénicos. Voy explicando cada uno de los pasos mientras los alumnos los realizan. Les explico que el transgen debe introducirse en el ser vivo que queremos que lo lleve, en este caso un ratón de laboratorio. Para que el transgen esté en todas las células del ratón debe incorporarse en la célula germinal que originará al ratón. Los óvulos modificados son inseminados e introducidos en el útero de un ratón hembra. Una vez nacidos los ratones, identificamos a los transgénicos porque el vector utilizado llevaba un gen de orejas puntiagudas. Vuelvo a recalcar el hecho de que si el transgen no se introduce en células germinales no será heredado por la descendencia futura.	<p>↘ Recortan el material genético del que se va a sacar el gen humano, y el vector. Con enzimas de restricción (tijeras) cortan el gen humano. Con otras enzimas de restricción abren el vector para que se introduzca el gen humano gracias a una enzima ligasa (pegamento). Cuando han creado el transgen atienden a la explicación.</p> <p>↙</p> <p>↘ Vuelven a plantear cuestiones relativas a la herencia de los caracteres adquiridos como “¿Por qué los ratones heredan este gen si no lo tenían al principio en su información hereditaria?”.</p> <p>↙</p>
A₂₀ (P₁₁) <i>“Los viticultores de Arganda</i>	Propongo un problema donde se podría plantear un posible uso de la técnica desarrollada en la actividad	

<p><i>buscan que sus vides produzcan uvas con mayor cantidad de azúcar. ¿Cómo conseguiríamos este tipo de vides?”</i></p>	<p>anterior.</p> <p>↘</p> <p>Mi idea de partida era valorar mejor una resolución que aplicase técnicas modernas. Los argumentos de este grupo me han hecho variar estos criterios de valoración.</p> <p>↘</p> <p>Les he recordado los experimentos de Van Helmont con el crecimiento del sauce, y les he pedido que recordasen todo lo que sabían sobre la creación de materia por parte de las plantas.</p> <p>↘</p> <p>Una vez terminada la actividad les informo que a partir de ahora se inician las distintas pruebas de evaluación.</p>	<p>La mayoría de los grupos de trabajo optan por conseguir vides que den uvas más dulces utilizando las técnicas de creación de transgénicos. Los genes introducidos proceden de caña de azúcar, de melón, de abeja productora de miel... Unos pocos grupos deciden usar métodos más tradicionales como el injerto o el cruce de variedades. Uno de estos grupos lo ha hecho por el rechazo que la gente manifiesta a los alimentos transgénicos, lo que supondría problemas a la hora de vender el producto.</p> <p>↙</p> <p>En un grupo se ha hecho evidente la permanencia de ideas previas relativas a la nutrición vegetal porque pretendían añadir azúcar al agua de riego.</p> <p>↙</p> <p>Los alumnos realizan una buena resolución del problema. La fase de diseño de la estrategia experimental queda un poco incompleta porque se necesitaría llevar la nueva variedad de uva al terreno y ver cómo se desarrolla.</p> <p>↙</p>
<p>Actividades de evaluación</p>	<p>A lo largo de dos sesiones les presento estas pruebas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Problema abierto (P₁₂): “<i>Un matrimonio tiene un hijo que se parece más al padre que a la</i> 	<p>Los alumnos están un poco desorientados porque no saben qué estudiar. Otros consideran que no tienen que estudiar nada porque, como todos los conceptos los han tenido que aplicar continuamente en los problemas, los tienen dominados.</p> <p>↙</p>

	<p><i>madre. ¿Cómo puede ser esto posible?”</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Situación problemática personalizada de toma de decisiones: <i>“Tu familia presenta varios casos de cáncer de colon. ¿Te harías un test genéticos?”</i> <p>Corrijo las actividades de evaluación y entrego a los alumnos los resultados correspondientes a las mismas.</p>	<p>↘ Los alumnos realizan las diferentes actividades de evaluación con un poco de miedo al principio. Al final de las mismas están contentos al ver que han sido capaces de realizarlas todas, y creen, además, que con buenos resultados.</p> <p>↙</p>
--	--	---

La lectura de este diario permite imaginar el día a día del trabajo con la MRPI, y cómo se ha desarrollado esta parte de la investigación.

En nuestro caso, también sería interesante conocer de forma tan gráfica la metodología seguida por el GCON, y sus diferencias con la MRPI, porque las hipótesis de nuestra investigación se apoyan en las mismas.

Recordamos que el GCON ha seguido una metodología tradicional de corte transmisor; siendo ésta la única diferencia con el GEXP, porque las profesoras de ambos grupos han estado en comunicación para que se trabajasen los mismos contenidos y se pasaran las mismas pruebas de indagación en los momentos fijados.

6.3.2. DIFERENCIAS EN EL TRABAJO DE AULA DE LOS GRUPOS DE INVESTIGACIÓN

A continuación se recoge el diario de clase elaborado por la profesora del GCON:

TRANSCRIPCIÓN DEL DIARIO DE CLASE DEL GRUPO CONTROL

ACTIVIDADES	PROFESORA	ALUMNADO
A ₀ "Temas previos"	En temas tratados anteriormente ya se estudiaba la célula. Por lo tanto ya se había trabajado en el aula lo que era el núcleo celular; los cromosomas, y su función dentro del proceso de transmisión de la información genética.	<p>↘ Estudio de estos contenidos, realizando las actividades previstas para los mismos; y realización de las correspondientes pruebas de evaluación.</p>
A ₁ "El cariotipo humano"	Entrego una hoja por alumno con un cariotipo humano desorganizado, y otra hoja con un cariotipo modelo en el que los cromosomas están ordenados por tamaño y forma. Indico a los alumnos que esta "práctica" consiste en que recorten y peguen los cromosomas siguiendo el modelo. Tienen que determinar el sexo de la persona a la que pertenece el cariotipo, y ver si detectan alguna anomalía genética.	<p>↘ No todos los alumnos traen tijera y pegamento. Otros, en el proceso de confección del cariotipo, pierden cromosomas. Sin embargo, la dinámica de trabajo en grupo, dentro del aula, es buena.</p> <p>La actividad no se termina en la clase por falta de tiempo y la terminan en su casa.</p> <p>La actividad finaliza de forma satisfactoria y gusta a los alumnos.</p>
A ₂ "Meiosis"	Explico en clase la meiosis utilizando la pizarra y tizas de colores.	<p>↘ Atienden a la explicación y</p>

	<p>Propongo como actividad que realicen un mural con todas las fases de la meiosis de una célula con ocho cromosomas.</p>	<p>preguntan dudas.</p> <p>↙</p> <p>↘ Realizan el esquema de la meiosis identificando lo que ocurre con los cromosomas en cada una de las fases de esta división celular. Utilizan como modelo lo explicado en clase</p>
<p>A₃ "Vocabulario genético"</p>	<p>Reparto fotocopias con los conceptos básicos del tema de Genética. Voy leyendo uno a uno las definiciones y las explico en detalle.</p> <p>↘</p> <p>Resuelvo sus dudas y preguntas.</p> <p>↓</p> <p>Reparto fotocopias de las leyes de Mendel para que las lean en casa.</p>	<p>↘ Preguntan dudas del tipo: "No entiendo lo que es heterocigótico", y empiezan a interesarse por cuestiones del tipo: "¿Por qué dos gemelos a los que conozco no son exactamente iguales?"</p> <p>↙</p>
<p>A₄ "Leyes de Mendel"</p>	<p>Explico estas leyes utilizando la pizarra y tizas de colores.</p> <p>↘</p> <p>El problema está en que no entienden el orden de las "letras" porque al trabajar con dos caracteres se utilizan dos "letras diferentes".</p> <p>Pido a los alumnos que, aunque tienen las fotocopias, copien en su cuaderno las leyes de Mendel. Basta con que escriban el enunciado de las mismas, no es necesario el desarrollo.</p> <p>↘</p>	<p>↘ Tienen dudas, sobre todo en la tercera ley de Mendel. No diferencian fenotipo y genotipo.</p> <p>↙</p> <p>↘ Copian los enunciados de las leyes de Mendel.</p>
<p>A₅ "Ejercicios"</p>	<p>Reparto ejercicios de aplicación de las leyes de Mendel.</p> <p>↘</p>	<p>↘ Realizan en casa los ejercicios propuestos.</p>
<p>A₆ "ADN, código genético y síntesis de proteínas"</p>	<p>Explico lo que es el ADN, el ARN y el código genético. Hago un resumen de lo que es el proceso de síntesis de proteínas. También explico el concepto de mutación.</p> <p>↘</p> <p>Resuelvo dudas y entrego una</p>	<p>↘ Atienden y preguntan dudas.</p> <p>↙</p>

	fotocopia sobre el código genético para que hagan un resumen.	<p>↘ Hacen un resumen sobre el texto entregado.</p> <p>↙</p>
A.7 <i>“Biotecnología e ingeniería genética”</i>	<p>Entrego unas fotocopias sobre estos temas de actualidad y pido que hagan un resumen de estos contenidos.</p> <p>↘ Realizan, en casa, un resumen de la información que, sobre la biotecnología, tenían recogida en las fotocopias.</p> <p>Comentamos en clase algunas cosas, recogidas en sus resúmenes, sobre la ingeniería genética.</p> <p>↙</p>	
A.8 <i>“Resolución de problemas” *</i>	<p>Se han resuelto los problemas propuestos en sesiones anteriores.</p> <p>↘ Se plantean muchas dudas sobre su resolución.</p> <p>Les explico la resolución de cada problema. He tenido que colmarme de paciencia porque, aunque ya había explicado una solución, volvían a preguntar lo mismo.</p> <p>Al final les pido que repitan las soluciones de los problemas con sus palabras.</p> <p>↘ Corrigen los problemas recogiendo las soluciones dadas por la profesora en los problemas que no hicieron bien. Repiten la resolución utilizando sus propias palabras en aquellas cuestiones que les resultan más difíciles.</p> <p>↙</p>	
Actividad de evaluación	<p>Diseño un examen de problemas cerrados y preguntas tipo ensayo que también utilizará la profesora del GEXP.</p> <p>↘ Realizan la prueba de evaluación.</p> <p>Corrijo el examen y entrego a los alumnos los resultados del mismo.</p> <p>↙</p>	

* Los problemas que se trabajan en el GCON son problemas cerrados clásicos; por lo tanto, desde el punto de vista del concepto “problema”, que manejamos en este trabajo, son ejercicios o problemas-puzzles. La mayoría de ellos se corresponden con el tipo de ejercicio “causa-efecto”, y unos pocos son del tipo “efecto-causa”

las diferencias que se observan al leer los dos diarios de clase se refieren a estos aspectos:

- Las acciones que realizan profesoras y estudiantes de ambos grupos.
- La secuencia de los contenidos de ambos grupos.

Respecto al **papel de las profesoras y del alumnado**, en el siguiente cuadro se recogen el conjunto de acciones que cada uno de ellos realiza:

ACCIONES DE LAS PROFESORAS		ACCIONES DEL ALUMNADO	
GEXP	GCON	GEXP	GCON
<ul style="list-style-type: none"> • Explicar • Resolver dudas • Entregar artículos actividades, etc. • Seguimiento del trabajo de cada grupo. • Valorar de forma continua las resoluciones de problemas • Suscitar interrogantes • Canalizar ideas. • Facilitar el intercambio de resultados 	<ul style="list-style-type: none"> • Explicar • Resolver dudas • Entregar artículos actividades, etc. • Leer definiciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Preguntar dudas • Pedir más explicaciones • Leer artículos de prensa • Realizar mapas conceptuales • Aportar sus ideas • Simular la distribución de los cromosomas en los gametos • Realizar análisis cualitativos de los problemas • Recoger información • Emitir hipótesis • Proponer formas de resolución • Poner en común sus resultados • Tomar decisiones y discutir sus puntos de vista • Simular técnicas biotecnológicas • Verbalizar todas la fases de la resolución de los problemas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Preguntar dudas • Estudiar • Leer fotocopias • Copiar • Hacer esquemas • Recortar el cariotipo

Cuadro 6.1: Acciones llevadas a cabo en el GEXP y GCON en el desarrollo de los contenidos de Genética y herencia humana.

Es verdad que el GEXP y GCON realizan actividades distintas. Sin embargo, la mayor diferencia se encuentra en el papel de los alumnos en las mismas.

Respecto a la **secuencia de los contenidos**:

En el GEXP, la secuencia de contenidos empieza con la indagación de las ideas previas de los alumnos para continuar con una actividad sobre la actualidad científica, que motive a los estudiantes al estudio de la Genética. El desarrollo de los contenidos va siguiendo el **desarrollo histórico** de los mismos: las primeras nociones sobre la herencia, los trabajos de Mendel, la teoría cromosómica de la herencia, la genética molecular, y las aplicaciones biotecnológicas actuales.

En el GCON, la secuencia de contenidos empieza en temas anteriores en los que se estudia la célula, el núcleo, los cromosomas y el ADN como las estructuras que llevan la información genética. A partir del estudio de lo que son los cromosomas se estudian las leyes de Mendel. Los ejercicios que se trabajan se realizan al final como aplicación de los contenidos teóricos.

En este capítulo hemos reflejado la forma en que se ha desarrollado la investigación referida al trabajo en el aula. En el próximo capítulo se presenta el desarrollo de la investigación referida al contraste de las hipótesis; es decir, los resultados de la misma y su análisis.

CAPÍTULO 7

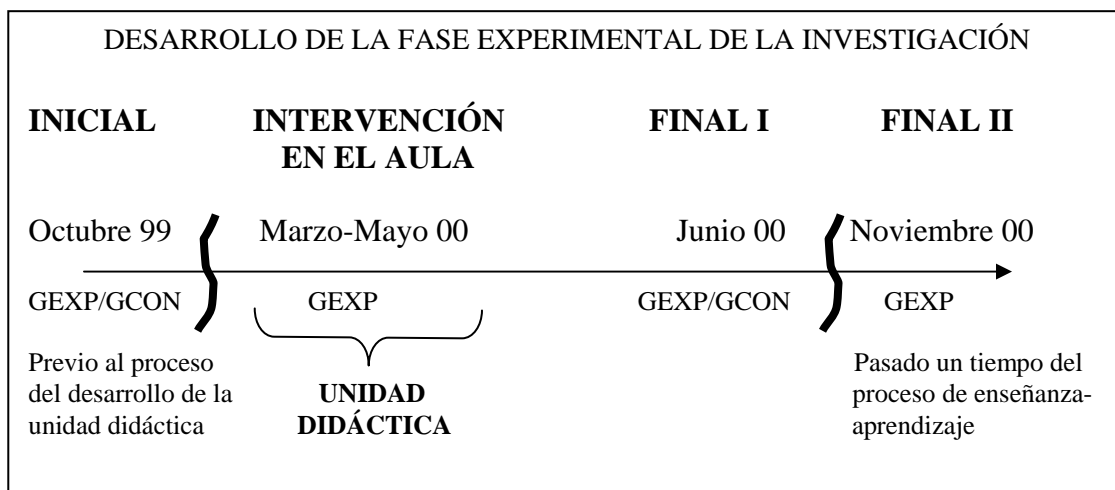
RECOGIDA DE INFORMACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

INTRODUCCIÓN

El conjunto de resultados recogidos y analizados a lo largo de esta investigación ha sido muy variado, porque se pretende contrastar numerosas hipótesis; y complejo, porque los estudiantes se enfrentaron a un número elevado de pruebas. Por esta razón se van a exponer estos resultados siguiendo dos criterios o pautas de organización:

1. respetar el orden de los momentos en los que se procedió a recoger información durante el desarrollo de la investigación;
2. analizar los resultados para cada una de las hipótesis de trabajo de forma individualizada.

Antes de empezar este capítulo es importante recordar cuáles han sido los momentos de recogida de información durante el desarrollo de la investigación (Cuadro 4.1). En el siguiente esquema se muestran los tiempos; así como los grupos de estudiantes (experimental, GEXP, o control, GCON) de los que se recoge información.



Para facilitar una visión global sobre lo que se pretende en cada uno de los momentos, que hemos definido en la fase experimental, se presentan a continuación cuadros explicativos para cada uno de ellos, en los que se incluye información sobre el tipo de pruebas, la forma de recogida de información, los grupos implicados, las hipótesis de partida, y el estadístico empleado en el análisis de los resultados.

MOMENTO DE LA FASE EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACIÓN:					
INICIAL					
DATOS	PRUEBAS				
	Conceptos de Genética	Conceptos Naturaleza de la Ciencia.	Procedimientos resolución de problemas	Actitudes relativas a la Ciencia	Actitudes C-T-S
TIPO	8 ítems: 3 con tablas, 4 con cuatro opciones y sus justificaciones 1 con cinco opciones.	12 ítems con 4 discriminantes cada uno	Problema abierto	50 ítems en una escala Likert de 0 a 5	9 ítems con 4 discriminantes cada uno
RECOGIDA DE DATOS	Frecuencia de respuesta.	Frecuencia de respuesta.	Frecuencia de respuesta por niveles (0 a 3) en cada variable VM (5) VV (1)	Frecuencia de respuesta. Las frecuencias de los valores 1 y 2, y 4 y 5, se suman.	Frecuencia de respuesta.
MUESTRA	GEXP (N = 30) GCON (N = 19)				
HIPÓTESIS NULA	HIPÓTESIS INICIAL: Los grupos experimental y control son homogéneos para cada uno de los aspectos estudiados en la investigación (conceptos, procedimientos y actitudes: Subhipótesis Inicial 1, 2, 3, 4, 5).				
HIPÓTESIS ALTERNATIVA	Los grupos experimental y control no son homogéneos (presentan diferencias significativas) para cada uno de los aspectos estudiados en la investigación (conceptos, procedimientos y actitudes).				
ESTADÍSTICO EMPLEADO	Chi-cuadrado (X^2) de homogeneidad.				
C-T-S = Ciencia-Tecnología-Sociedad; VM = variables metodológicas; VV = variable de verbalización; GEXP = grupo experimental; GCON = grupo control					

Cuadro 7.1: Síntesis de todas las pruebas, datos, muestras y estadístico utilizado para el contraste de la Hipótesis Inicial.

MOMENTO DE LA FASE EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACIÓN:		
INTERVENCIÓN EN EL AULA (UNIDAD DIDÁCTICA)		
DATOS	PRUEBAS	
	PROBLEMAS	Actitud hacia MRPI
TIPO	13 Problemas abiertos (P_0, P_1, \dots, P_{12}) sobre Genética y encuadrados dentro de los siguientes tipos: herencia mendeliana: P_0, P_1, P_6, P_{12} herencia no mendeliana: $P_2, P_3, P_4, P_5, P_7,$ herencia de caracteres adquiridos: $P_8, P_9,$ ingeniería genética o aplicaciones biotecnológicas; $P_{10}, P_{11},$	12 ítems en una escala Likert de 1 a 5
RECOGIDA DE DATOS	Frecuencia de respuesta por niveles (0 a 3) en cada variable: VM (5 variables metodológicas), en todos los problemas VV (1 variable de verbalización), en todos los problemas VC (variables de contenidos: 3 esquemas conceptuales) EC1: problemas $P_2, P_3, P_5, P_6, P_{12}$ EC2: problemas $P_1, P_2, P_3, P_4, P_6, P_7, P_{12}$ EC3: problemas P_6, P_8, P_9	Frecuencia de respuesta. Las frecuencias de los valores 1 y 2, y 4 y 5, se suman
MUESTRA	GEXP (N = 30)	GEXP (N = 30)
HIPÓTESIS NULA	Los estudiantes del GEXP, tras el aprendizaje realizado a lo largo de la unidad didáctica, obtienen resultados homogéneos.	
HIPÓTESIS ALTERNATIVAS	<p>H.1.: El desarrollo en el aula de una MRPI va a producir en los estudiantes del GEXP, al final de proceso, una evolución significativa hacia niveles de resolución más complejos las variables metodológicas y de verbalización.</p> <p>H.2.: El desarrollo en el aula de una MRPI va a producir en los estudiantes del GEXP, al final del proceso, un cambio conceptual respecto a los contenidos de Genética y herencia humana, que se manifiesta en el uso de esquemas conceptuales más próximos a los defendidos actualmente por la Ciencia.</p> <p>H.3.: El estilo cognitivo Dependencia-Independencia de Campo (DIC) de cada individuo influye de forma significativa en el nivel de resolución de problemas abiertos alcanzado por los estudiantes del GEXP.</p>	
ESTADÍSTICO EMPLEADO	<p>Hipótesis 1 y 2: Test de la F aplicando la técnica del Análisis de varianza (ANOVA) aplicado en un diseño factorial y el test de medias de rangos múltiples de Tukey.</p> <p>Hipótesis 3. Análisis multivariante aplicando el coeficiente de correlación de Kendall</p>	
ESTUDIO CUALITATIVO	Constatar la actitud de los alumnos hacia la MRPI	

Cuadro 7.2: Síntesis de todas las pruebas, datos, muestras y estadístico utilizado para el contraste de las hipótesis referentes a la intervención en el aula con una metodología de resolución de problemas como una investigación (MRPI).

MOMENTO DE LA FASE EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACIÓN:						
FINAL (I)						
DATOS	PRUEBAS					
	Conceptos de Genética	Conceptos Naturaleza Ciencia.	Procedim. resolución problemas	Actitudes relativas a la Ciencia	Actitudes C-T-S	
TIPO	7 Ítems 3 problemas cerrados (2 causa-efecto, y 1 efecto-causa) 4 preguntas tipo ensayo.	10 Ítems abiertos	Problema abierto P ₁₂	6 Ítems abiertos	8 Ítems abiertos	Situación Problemática personalizada de toma de decisiones
RECOGIDA DE DATOS	Frecuencia de respuestas correctas Frecuencia de la nota global de la prueba Frecuencia de respuesta <i>Red sistémica</i> .	Frecuencia de respuesta <i>Red sistémica</i>	Frecuencia de respuesta por niveles (0 a 3) en cada variable VM (5) VV (1) VC (2): EC ₁ y EC ₂	Frecuencia de respuesta <i>Red sistémica</i> .	Frecuencia de respuesta <i>Red sistémica</i> .	Frecuencia de respuesta <i>Red sistémica</i>
MUESTRA	GEXP (N = 30) GCON (N = 19)					
HIPÓTESIS NULA	El GEXP y el GCON obtienen los mismos resultados en el aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes.					
HIPÓTESIS ALTERNATIVA	HIPÓTESIS FINAL I: Existen diferencias significativas en el aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes, a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON. (Subhipótesis Final I-1, I-2, I-3, I-4, I-5)					
ESTADÍSTICO EMPLEADO	U de Mann-Whitney					
GEXP = grupo experimental; GCON = grupo control; MRPI = Metodología de resolución de problemas como investigación; VM = variable metodológica; VC = variable de contenido; VV = variable de verbalización; EC = esquema conceptual; C-T-S = Ciencia-Tecnología-Sociedad						

Cuadro 7.3: Síntesis de todas las pruebas, datos, muestras y estadístico utilizado para el contraste de la Hipótesis Final I.

MOMENTO DE LA FASE EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACIÓN:			
FINAL (II)			
DATOS	PRUEBAS		
	Conceptos de Genética	Conceptos sobre la Naturaleza de la Ciencia	Procedimientos de resolución de problemas
TIPO	6 Ítems abiertos	5 Ítems abiertos	Problema abierto P ₁₃
RECOGIDA DE DATOS	Frecuencia de respuesta <i>Red sistémica</i>	Frecuencia de respuesta <i>Red sistémica</i>	Frecuencia de respuesta por niveles (0 a 3) en cada variable: VM (5) VV (1) VC (2): EC ₁ y EC ₂
MUESTRA	SubGEXP (I) (N = 10) SubGEXP (II) (N = 10)		
HIPÓTESIS NULA	HIPÓTESIS FINAL II: El cambio producido en el aprendizaje de los contenidos por la MRPI, en el GEXP, es estable en el tiempo y difícilmente sufre un retroceso significativo. (Subhipótesis Final II-1, II-2, II-3)		
HIPÓTESIS ALTERNATIVA	El cambio producido en el aprendizaje de los contenidos por la MRPI, en el GEXP, no es estable en el tiempo y sufre un retroceso.		
ESTADÍSTICO EMPLEADO	Test de rangos señalados y pares igualados de Wilcoxon U de Mann-Whitney		
SubGEXP = parte del grupo experimental que interviene en la fase fina I y II; VM = variable metodológica; VC = variable de contenido; VV = variable de verbalización; EC = esquema conceptual			

Cuadro 7.4: Síntesis de todas las pruebas, datos, muestras, hipótesis y estadístico utilizado para el contraste de la Hipótesis Final II.

7.1. LA HOMOGENEIDAD DE LOS GRUPOS INVESTIGADOS: HIPÓTESIS INICIAL

Las hipótesis de este trabajo se sustentan sobre ésta inicial, que se ha formulado de la siguiente forma:

Los grupos experimental y control son homogéneos en sus conocimientos iniciales para cada uno de los aspectos estudiados en la investigación

Esta homogeneidad es requisito necesario para poder llegar a conclusiones sobre las causas de las posibles, y esperadas, diferencias que se observen entre ambas muestras al final de la intervención educativa. De este modo, si al final del proceso se encuentran diferencias significativas, éstas pueden atribuirse al proceso de aprendizaje, no a las diferencias entre los grupos de estudiantes estudiados.

En el Apartado 4.3, al describir las muestras que han intervenido en la investigación, ya se identificaban factores comunes al GEXP y GCON como: localidad de residencia, edad media, nivel socio-cultural de referencia, porcentaje de cada sexo, etc. Sin embargo, esta similitud externa de las muestras no es suficiente para el contraste de las hipótesis de este trabajo. Por lo tanto, para continuar con la investigación es requisito imprescindible que ambos grupos sean homogéneos para cada uno de los aspectos que se van a valorar, que son: aprendizajes de conceptos (sobre Genética y herencia humana y sobre la Naturaleza de la Ciencia), procedimientos (sobre la resolución de problemas abiertos) y actitudes (relacionados con la Ciencia y sobre las relaciones C-T-S).

Para ello, se seleccionaron pruebas validadas por otros investigadores, a las que se les hicieron las modificaciones necesarias para que se ajustasen a nuestros intereses (Apartado 4.4.2.), que permiten el contraste de cada una de las cinco subhipótesis en las que se concreta la hipótesis inicial (ver Cuadro 7.1):

- Contenidos de Genética y herencia humana
- Contenidos sobre la Naturaleza de la Ciencia
- Procedimientos de Resolución de Problemas
- Actitudes relacionadas con la Ciencia
- Actitudes relativas a las relaciones C-T-S

Con esta finalidad se ha utilizado el test de la **Chi-cuadrado** que es una de las pruebas más utilizadas en el estudio de dos grupos independientes cuando el nivel de medición es nominal. La hipótesis nula del estadístico será que las frecuencias de respuestas dadas por ambos grupos son homogéneas frente a la alternativa de que son diferentes. Se decide de antemano considerar no significativos aquellos contrastes en los que se obtengan $p > 0,1$, y así detectar con claridad los casos en los que hay homogeneidad. Por lo tanto, **valores superiores a 0,1 apoyan nuestras hipótesis iniciales.**

Las limitaciones de este estadístico ya se han comentado en el Apartado 4.4.3., así como la necesidad, para evitarlas, de realizar algunas redistribuciones de frecuencias correspondientes a ítems semejantes.

A continuación vamos a recoger el análisis de los resultados obtenidos, para el contraste de cada una de las cinco subhipótesis; y una comparación, con los resultados obtenidos en otras investigaciones, que nos permitan identificar nuestros grupos de investigación como grupos representativos de un universo mayor.

En el análisis de los resultados de este apartado, y los siguientes, cuando se pongan ejemplos de contestaciones dadas por los estudiantes, éstos se identificarán con un número según su ordenación alfabética y con la letra A: A. para el GEXP y A.' para el GCON.

7.1.1. SUBHIPÓTESIS INICIAL 1: CONTRASTE DE LA HOMOGENEIDAD EN RELACIÓN A LOS CONOCIMIENTOS SOBRE GENÉTICA Y HERENCIA HUMANA

Esta Subhipótesis I.1 se formula en la investigación como:

Los estudiantes del GEXP y del GCON son homogéneos en relación a sus ideas o conocimientos iniciales de Genética y herencia humana.

Estos son los resultados de la prueba inicial de contenidos conceptuales de Genética y herencia humana (Apartado 4.4.2. A). Las respuestas a las cuestiones 1 y 2, donde se debían completar unas tablas, aparecen en forma de afirmaciones que se analizan por separado.

CUESTIONARIO		GEXP (N= 30)		GCON (N = 19)		P valor χ^2
		Nº	%	Nº	%	
1. ¿Los siguientes seres vivos tienen células, cromosomas e información hereditaria?	1.1 Animales sí tienen	30	100,00%	19	100,00%	1
	1.2 Plantas sí tienen	27	90,00%	19	100,00%	0,36
	1.3 Microorganismos sí tienen	18	60,00%	13	68,42%	0,10
	1.4 Los virus no tienen células	11	36,67%	5	26,32%	0,71
	1.5 Células tienen cromosomas	9	30,00%	3	15,79%	0,01
	1.6 Cromosomas con inf. gen.	12	40,00%	7	36,84%	0,58
	1.7 Todos los seres vivos con inf.	6	20,00%	11	57,89%	0,02
2. ¿Las células humanas tienen información hereditaria, cromosomas, genes y cromosomas sexuales?	2.1 Todas tienen inf. hereditaria	4	13,33%	5	26,32%	0,50
	2.2 Sólo los gametos tienen inf.*	3	10,00%	6	31,58%	0,16
	2.3 Inf. genética en cromosomas	11	36,67%	5	26,32%	0,56
	2.4 Genes en los cromosomas	9	30,00%	4	21,05%	0,75
	2.5 Todas las células c.sexuales	3	10,00%	3	15,79%	0,59
	2.6 C.sexuales sólo en gametos*	23	76,67%	16	84,21%	0,66
3. Las células humanas son muy diferentes entre sí por: a), b), c) d); y debido a: 1), 2), 3), 4)	a) Llevan distinta inf. hereditaria	11	36,67%	7	36,84%	0,74
	b) Llevan la misma inf. heredit.	10	33,33%	4	21,05%	
	c) Inf. hered. sólo en gametos	3	10,00%	2	10,53%	
	d) No estoy seguro	6	20,00%	6	31,58%	
	1) Sólo se utiliza parte de la inf.	9	30,00%	5	26,32%	0,45
	2) Depende de la función	1	3,33%	3	15,79%	
	3) Sólo tienen inf. de su función	16	53,33%	8	42,11%	
	4) Otra ...	4	13,33%	3	15,79%	
4. Cuando una célula muscular se divide, ¿qué puede ocurrir?: a), b), c), d); y debido a 1), 2), 3), 4)	a) Se origina otra muscular	19	63,33%	12	63,16%	0,60
	b) Se puede originar otra célula	5	16,67%	1	5,26%	
	c) A veces muscular y otras no	1	3,33%	1	5,26%	
	d) Otra respuesta	5	16,67%	5	26,32%	
	1) Según la función	17	56,67%	2	10,53%	0,01 [0,62]
	2) Según la información hered.	6	20,00%	4	21,05%	
	3) Según las necesidades	5	16,67%	7	36,84%	
	4) Según el estado de salud	2	6,67%	2	10,53%	
	Sin razón (relacionada con d)	0	0,00%	4	21,05%	

5. Clasificar algunas características hereditarias desde totalmente influidas por la herencia hasta totalmente determinadas por el ambiente	5.1 Ojos					
	a) Herencia	28	93,33%	15	78,95%	0,29*
	b) Herencia y ambiente	0	0,00%	3	15,79%	
	c) Ambiente	2	6,67%	1	5,26%	
	5.2 Piel					
	a) Herencia	20	66,67%	12	63,16%	0,27
	b) Herencia y ambiente	2	6,67%	4	21,05%	
	c) Ambiente	8	26,67%	3	15,79%	
	5.3 Peso					
	a) Herencia	9	30,00%	2	10,53%	0,27
	b) Herencia y ambiente	7	23,33%	5	26,32%	
	c) Ambiente	14	46,67%	12	63,16%	
5.4 Calvicie						
a) Herencia	19	63,33%	8	42,11%	0,30	
b) Herencia y ambiente	2	6,67%	3	15,79%		
c) Ambiente	9	30,00%	8	42,11%		
6. Una pareja tiene dos hijos, uno se parece más al padre y otro a la madre. ¿Cómo se puede explicar esto?	a) Lleva más inf. del padre	4	13,33%	3	15,79%	0,10
b) Lleva más inf. de la madre	2	6,67%	0	0,00%		
c) Misma inf. de cada padre y...	24	80,00%	13	68,42%		
d) Así tiene que ser, uno y uno	0	0,00%	0	0,00%		
e) No estoy seguro	0	0,00%	3	15,79%		
7. Una pareja de ojos marrones, ¿pueden tener un bebé de ojos azules? a), b), c), d); y debido a 1), 2), 3), 4)	a) Prácticamente imposible	1	3,33%	1	5,26%	0,32
	b) Ocurre a veces	21	70,00%	15	78,95%	
	c) Ocurre muchas veces	7	23,33%	1	5,26%	
	d) No estoy seguro	1	3,33%	2	10,53%	
	1) Mutaciones	0	0,00%	3	15,79%	0,16
2) Llevan inform. de ojos azules	9	30,00%	4	21,05%		
3) Antepasado con ojos azules	19	63,33%	11	57,89%		
4) Mismo color que los padres	2	6,67%	1	5,26%		
8. ¿Cómo será el color de piel de los descendientes de personas blancas que viven en África? a), b), c), d); y debido a 1), 2), 3), 4)	a) Piel más morena	7	23,33%	7	36,84%	0,34
	b) Mismo color de piel	5	16,67%	1	5,26%	
	c) Piel blanca, morena y negra	11	36,67%	9	47,37%	
	d) No estoy seguro	7	23,33%	2	10,53%	
	1) El clima no modifica la inf.	5	16,67%	6	31,58%	0,02
	2) El clima modifica la inf. here.	8	26,67%	0	0,00%	
	3) Cambios de padres a hijos	11	36,67%	12	63,16%	
	4) Otras posibilidades ...	6	20,00%	1	5,26%	
* Las frases con asteriscos en el ítem 2 corresponden a ideas alternativas o preconcepciones.						
* El valor con asterisco indica que el programa ha aplicado la corrección de Yates.						
[] El valor dentro de corchetes se corresponde con un nuevo valor tomado a partir de redistribuciones realizadas sobre las opciones elegidas						

Cuadro 7.5: Resultados de la prueba inicial de conceptos de Genética y herencia humana. Los valores en negrita apoyan la hipótesis de homogeneidad ($p > 0,1$).

A continuación vamos a ir analizando de forma más detenida los resultados obtenidos. Primero nos centraremos en los nuestros para, posteriormente, compararlos con los de otras investigaciones.

En los dos primeros ítems se recogen las ideas de los estudiantes *respecto a la localización de la información hereditaria, en las que se pueden considerar*

homogéneos. Así lo son en 11 de las 13 cuestiones. En los otros dos ítems la heterogeneidad se debe a que hay diferencias significativas en los porcentajes de estudiantes que opinan que “las células tienen cromosomas” (cuestión 1.5, mejor en el GEXP), y que “todos los seres vivos contienen información hereditaria” (cuestión 1.7, mejor en el GCON). Sin embargo, en el mismo ítem 1 los dos grupos pueden considerarse homogéneos en las cuestiones 1.1, 1.2 y 1.3 en las que se plantea la presencia o no de células en diversos seres vivos; y en la cuestión 1.6 donde se relacionan cromosomas con la información hereditaria. Lo mismo ocurre en el ítem 2 en cuestiones similares acotadas para células humanas, como: “todas las células humanas tienen información hereditaria” (cuestión 2.1) y “la información genética se encuentra en los cromosomas” (cuestión 2.3). Este hecho pone de manifiesto que, en realidad, los estudiantes de ambos grupos tienen muchas dudas sobre la localización de la información hereditaria, y sólo unos pocos presentan ideas correctas sobre la relación entre información hereditaria, genes, cromosomas y células. Son habituales respuestas, en estudiantes de ambos grupos, del tipo: “*las plantas son seres vivos, tienen células, no tienen cromosomas y sí tienen información genética*”, o bien “*las células musculares no tienen información hereditaria, sí tienen cromosomas, no tienen genes y no tienen cromosomas sexuales*”.

También vamos a aceptar la homogeneidad de ambos grupos al responder a la cuestión 3 sobre el por qué de la existencia de células humanas diferentes (llevan distinta información hereditaria), y en el tipo de justificaciones que usan (la información que llevan depende de su función).

Para la cuestión 4, *también vamos a considerar homogéneos a los estudiantes de ambos grupos en sus ideas sobre el resultado de una célula muscular al dividirse (otra célula muscular)*. Sin embargo, hay falta de homogeneidad en el tipo de justificación, que se debe a dos factores, uno es el hecho de que un porcentaje elevado de alumnos del GCON no eligen ninguna justificación y, el otro es la dificultad de diferenciar entre lo que es la función de la célula o la necesidad del organismo. Ambas respuestas son las más elegidas, aunque en distinto porcentaje por cada grupo. Si tenemos en cuenta esta revisión de las respuestas dadas por los estudiantes (sumar frecuencias de respuesta 1 y 3, y no tener en cuenta las respuestas en blanco) el nuevo valor de p sería 0,62 y apoyaría la hipótesis de *homogeneidad entre ambos grupos, también en cuanto a sus*

justificaciones (que surja una célula determinada depende de su función o necesidad del organismo, no de su información genética).

En la cuestión 5, *ambos grupos se pueden considerar homogéneos respecto a sus ideas sobre la influencia hereditaria o ambiental en la herencia de diversos caracteres humanos* como el color de ojos, color de piel, peso o calvicie. Para color de ojos y pelo consideran de mayor relevancia la información genética; para la calvicie dudan entre herencia y ambiente; y para el peso consideran que el ambiente es más importante.

Respecto a la cuestión 6, *se acepta la homogeneidad de ambos grupos en sus ideas sobre la herencia de padres a hijos*. En un porcentaje muy alto responden que la información genética de un individuo procede a partes iguales de cada uno de sus padres.

Los resultados de la cuestión 7 apoyan la hipótesis de *homogeneidad de los grupos respecto a sus creencias sobre la aparición de caracteres distintos de los padres en los hijos*. La justificación más usada por ambos grupos es ambigua (algún antepasado con ojos azules) y supone el *salto de información de una generación a otra* sin especificar el cómo.

En la cuestión 8, *se acepta de nuevo la homogeneidad de los dos grupos en cuanto a que ambos creen que los caracteres adquiridos se heredan*, pero no en las justificaciones utilizadas porque sólo en el GEXP hay algunos alumnos que consideran que el clima puede modificar la información hereditaria. En este caso, como el grupo que utiliza justificaciones más alejadas de los conocimientos científicos es el GEXP, esta diferencia no afecta de forma sustancial a nuestras hipótesis posteriores.

Tras este análisis podemos concluir que:

Los estudiantes del GEXP y del GCON son homogéneos en relación a sus ideas o conocimientos iniciales de Genética y herencia humana.

Estos resultados no difieren mucho de los que han sido recogidos en otras investigaciones con estudiantes de estas edades, tal y como aparece en el Cuadro 5.12. Ahora, sólo pretendemos comparar nuestros resultados con los obtenidos en los trabajos que han servido para seleccionar los ítems de esta prueba y, corroborar así si los estudiantes de diversos ámbitos mantienen las mismas creencias.

Respecto a **la localización de la información hereditaria**, los ítems que indagan sobre este conocimiento están tomados de Wood-Robinson y otros (1998) y Banet y Ayuso (1995). Tanto nuestros alumnos como los de estas investigaciones, dudan de la presencia de células en vegetales, pero no en animales; y de forma mayoritaria reconocen la existencia de cromosomas y de información genética en animales, pero no tanto en plantas o microorganismos. En este tipo de trabajos se evidencia una gran confusión sobre la localización de la información hereditaria, ya que pocos alumnos asocian la información hereditaria con genes, cromosomas, o con su presencia en cualquier tipo de célula. Resultados similares se recogen en otros estudios (Caballer y Jiménez, 1992; Banet y Ayuso, 2000; Lewis y otros 2000a).

La mayoría de los estudiantes, en los trabajos de referencia y el nuestro, localizan la información genética en gametos, y en menor medida en otras células, en especial células del cerebro (donde para ellos está la información). En cuanto a los cromosomas sexuales, más del 70% de los estudiantes los localizan exclusivamente en los gametos. Banet y Ayuso (1995), a través de entrevistas, descubren que los alumnos combinan esta idea con la de que caracteres muy específicos, como el color de piel, pueden localizarse en las células correspondientes. También coinciden los resultados en el pensamiento mayoritario de que las diferentes células llevan distinta información genética. Esta idea también aparece en otras investigaciones (Hackling y Treagust, 1984; Wood-Robinson y otros 1998; Lewis y otros 2000b). De igual forma, los estudiantes piensan que una célula al dividirse genera otra célula, generalmente igual, no por su información genética sino dependiendo de la función que deba realizar o de las necesidades del organismo.

Todo este conjunto de ideas que acabamos de revisar se estructuran, en cada estudiante, dentro de un mismo sistema cognitivo global y coherente (Giordan, 1987). Este primer esquema conceptual sobre la localización de la información hereditaria es la

base de otras creencias o interpretaciones de los procesos de la herencia y, por eso, está muy presente en el trabajo de resolución de problemas que se desarrolla en esta investigación. Nuestro trabajo, y el de otros investigadores, permite asegurar que los estudiantes se encuentran en niveles de utilización de este esquema conceptual muy alejados de la visión científica actual.

En cuanto a **la herencia de padres a hijos**, los resultados obtenidos en el estudio de referencia (Banet y Ayuso, 1995) se repiten en nuestros grupos de investigación. Los estudiantes asocian caracteres como el color del pelo, o de los ojos, a la herencia recibida por los padres. Sin embargo, la calvicie es un carácter que asocian tanto a herencia como a influencia del ambiente; y el peso más con el ambiente. La mayoría de los estudiantes de ambos estudios reconocen que los hijos reciben la mitad de su información hereditaria de cada uno de sus padres; siendo este porcentaje más alto en nuestros estudiantes (68-80%), que en los del estudio de Banet y Ayuso (53-65%). También coinciden los altos porcentajes de estudiantes que reconocen que una pareja de ojos marrones puede tener un hijo con ojos azules debido a la existencia de un antepasado de ojos azules. Esa idea de salto de la información genética entre generaciones, sin asociarlo con la información genética de los padres, es una idea previa muy habitual en el conjunto de la Sociedad.

El conjunto de ideas, que manifiestan los estudiantes sobre la transmisión de la información hereditaria, también conforman un esquema conceptual que les permite explicar los diferentes caracteres que ellos u otras personas han heredado. Este segundo esquema conceptual sobre la herencia de padres a hijos también va a ser trabajado a lo largo de la unidad didáctica. El punto de partida conceptual de nuestros estudiantes, que se puede generalizar para sujetos de otras investigaciones se aleja de la visión científica actual porque realmente desconocen qué, y cómo, la información genética de los padres pasa a los hijos. Ramagoro y Wood-Robinson (1995), también apuntan resultados en la misma línea.

En cuanto a **la herencia de caracteres adquiridos**, la mayoría de los estudiantes de nuestro estudio y el de referencia (Banet y Ayuso, 1995), creen que los descendientes de personas de piel blanca que vivan en África nacerán con pieles más oscuras. En este caso, el porcentaje de alumnos que mantienen esta creencia es mayor en nuestros grupos

de investigación. La persistencia de estas ideas ha sido puesta de manifiesto desde hace mucho tiempo en otras investigaciones (Deadman y Kelly, 1978; Kargbo y otros, 1980; Hackling y Treagust, 1984; Ramagoro y Wood-Robinson, 1995)

Estas ideas previas también se presentan en concepciones sobre evolución. (Deadman y Kelly, 1978; Engel-Clough y Wood-Robinson, 1985; Lawson y Thompson, 1988; Grau, 1993; Wood-Robinson, 1994). Nosotros hemos incluido en el desarrollo de la unidad didáctica este tercer esquema conceptual, la herencia de los caracteres adquiridos, porque las diferentes ideas sobre herencia o evolución, que tengan los estudiantes, se organizarán en un todo o esquema que usarán en sus explicaciones. Nuestro trabajo, y el de otros investigadores, permite asegurar que los estudiantes se encuentran en niveles de utilización de este esquema conceptual muy alejados de la visión científica actual.

7.1.2. SUBHIPÓTESIS INICIAL 2: CONTRASTE DE LA HOMOGENEIDAD EN RELACIÓN A LOS CONOCIMIENTOS SOBRE LA NATURALEZA DE LA CIENCIA

En el siguiente cuadro se recogen los datos obtenidos en la prueba inicial de contenidos sobre la Naturaleza de la Ciencia (Apartado 4.4.2 A), para el contraste de esta segunda Subhipótesis:

Los estudiantes del GEXP y del GCON son homogéneos en relación a sus ideas o conocimientos iniciales sobre la Naturaleza de la Ciencia

CUESTIONARIO		GEXP (N= 30)		GCON (N = 19)		P valor X^2
		Nº	%	Nº	%	
1.¿Qué significa estudiar algo científicamente? Se refiere a:	a) Construcción de teorías	12	40,00%	5	26,32%	0,62
	b) Método experimental	12	40,00%	9	47,37%	
	c) Otras respuestas ...	2	6,67%	3	15,79%	
	d) No lo sé	4	13,33%	2	10,53%	
2. Se sospecha que una droga... ¿Qué método usarían los científicos en su investigación?	a) Opinión de los pacientes	7	23,33%	6	31,58%	0,32
	b) Usar sus conocimientos	11	36,67%	4	21,05%	
	c) Pacientes con y sin droga	11	36,67%	6	31,58%	
	d) No lo sé	1	3,33%	3	15,79%	
3. ¿Por qué crees que los científicos hacen experimentos?	a) Realizar nuevos descubri.	7	23,33%	10	52,63%	0,01 [0,13]*
	b) Probar sus explicaciones	16	53,33%	4	21,05%	
	c) Para crear algo útil	7	23,33%	2	10,53%	
	d) No lo sé	0	0,00%	3	15,79%	
4. ¿Piensas que los científicos saben lo que va a ocurrir antes de hacer un experimento?	a) Sí	0	0,00%	1	5,26%	0,14
	b) No	4	13,33%	1	5,26%	
	c) No lo sé	0	0,00%	2	10,53%	
	d) Unas veces sí y otras no	26	86,67%	15	78,95%	
5. ¿Qué es una teoría científica?	a) Idea sobre algo que ocurrirá	2	6,67%	2	10,53%	0,81
	b) Una explicación sobre algo	12	40,00%	8	42,11%	
	c) Un hecho probado	13	43,33%	6	31,58%	
	d) No lo sé	3	10,00%	3	15,79%	
6. Los científicos piensan que toda la materia está formada por partículas por...	a) Las ven por el microscopio	4	13,33%	1	5,26%	0,25
	b) Lo prueban con experimentos	21	70,00%	10	52,63%	
	c) Pueden imaginarlo	3	10,00%	5	26,32%	
	d) No lo sé	2	6,67%	3	15,79%	
7. Cuando los científicos hablan de la teoría de la evolución se refieren a:	a) Un presentimiento o una idea	1	3,33%	2	10,53%	0,29
	b) Una explicación establecida	13	43,33%	6	31,58%	
	c) Un hecho probado	15	50,00%	8	42,11%	
	d) No lo sé	1	3,33%	3	15,79%	
8. Muchas de las viejas teorías científicas han sido reemplazadas por...	a) Ahora hay mejor tecnología	14	46,67%	8	42,11%	0,98
	b) Hay más evidencias	12	40,00%	8	42,11%	
	c) Cada época tiene sus explic.	3	10,00%	2	10,53%	
	d) No lo sé	1	3,33%	1	5,26%	
9. Cuando los científicos no están de acuerdo es por...	a) Hechos no descubiertos	11	36,67%	6	31,58%	0,01 [1]*
	b) Trabajan con teorías diferentes.	8	26,67%	9	47,37%	
	c) Diferentes opiniones person.	11	36,67%	1	5,26%	
	d) No lo sé	0	0,00%	3	15,79%	

10. Los científicos proyectan características como honestidad...	a) Para evitar desastres	11	36,67%	7	36,84%	0,69
	b) Por su trabajo	6	20,00%	5	26,32%	
	c) Estan influidos por gobiernos	2	6,67%	0	0,00%	
	d) Todos las debemos tener	11	36,67%	7	36,84%	
11. La tecnología es:	a) Aplicación de la Ciencia	4	13,33%	5	26,32%	0,01 [0,13]
	b) Instrumentos, ordenadores	8	26,67%	12	63,16%	
	c) Inventar diseñar cosas	8	26,67%	1	5,26%	
	d) Resolver problemas prácticos	10	33,33%	1	5,26%	
12. La biotecnología es:	a) Biología y tecnología juntas	9	30,00%	3	15,79%	0,05 [0,49]
	b) Obtener productos de s. vivos	9	30,00%	12	63,16%	
	c) Idem con ADN manipulado	9	30,00%	1	5,26%	
	d) No lo sé	3	10,00%	3	15,79%	
* Los valores con asterisco indican que el programa ha aplicado la corrección de Yates.						
[] Los valores dentro de corchetes corresponden a nuevos valores tomados a partir de redistribuciones realizadas sobre las opciones elegidas						

Cuadro 7.6: Resultados de la prueba inicial de contenidos sobre la Naturaleza de la Ciencia. Los valores en negrita apoyan la hipótesis de homogeneidad ($p > 0,1$).

En los ítems, en los que se ha realizado una redistribución de las elecciones elegidas, se ha debido a dos factores; el primero, varias de las posibles opciones eran semejantes y favorecían que, los estudiantes que las eligiesen, tuviesen que decantarse por unas u otras generando frecuencias de respuesta dispersas; el segundo, cuando los alumnos optan por la respuesta “no lo sé” se pierde información y se ven afectados los resultados. El tipo de redistribuciones que se han realizado con las frecuencias de las opciones elegidas han sido las siguientes:

1. En el ítem 3, la opción d) “no lo sé” sólo es elegida por estudiantes del GCON y es una de las causa de falta de homogeneidad, por lo que no se tiene en cuenta. Además, la b) “poner a prueba sus explicaciones” es claramente distinta de las otras dos opciones a) “realizar nuevos descubrimientos” y c) “crear cosas útiles”, que se pueden sumar.
2. En el ítem 9, se repite el problema de la opción d) “no lo sé”. Al revisar el resto de opciones, vemos que para los estudiantes ha sido difícil diferenciar entre el hecho de que los científicos trabajen con distintas teorías, o con diferentes opiniones personales. Por lo tanto se han sumado los valores de las opciones b) y c) que son muy diferentes a lo que se plantea en la opción a) “faltan datos”.
3. En el ítem 11, las opciones b) y d) están muy relacionadas porque se refieren a la tecnología como algo que nos facilita el trabajo; mientras que, las opciones a) y c) están más relacionadas con un tipo de trabajo (aplicación de la Ciencia o inventar y diseñar). Por lo tanto se han sumado los valores de las opciones b) y d).

4. En el ítem 12, las opciones b) y c) son idénticas, “usar organismos para obtener productos”, con la salvedad de que en c) se refiere a la biotecnología genética. Por lo tanto estos valores se pueden sumar.

A la vista de los resultados obtenidos podemos considerar que *ambos grupos de estudiantes son homogéneos en relación con sus ideas sobre aspectos como: qué es y cómo se trabaja en Ciencia y el papel de los experimentos; qué son la teorías y el por qué de los cambios en las mismas; las características de los científicos, y lo que es la tecnología y la biotecnología*. Plasmando sus respuestas mayoritarias:

- la Ciencia está asociada al método experimental y a la teorías;
- no identifican con claridad cuál debería ser el mejor diseño experimental en un caso determinado;
- no saben si los científicos esperan un resultado concreto en sus experimentos, aunque piensan que sirven para descubrir cosas nuevas o para comprobar explicaciones;
- las teorías fluctúan entre una explicación y un hecho probado, aunque piensan que las afirmaciones científicas se pueden comprobar;
- las teorías científicas cambian por la aparición de nuevos datos o de nuevas tecnologías;
- los científicos presentan características personales como honestidad, objetividad, etc.;
- la tecnología se relaciona con la resolución práctica de problemas gracias a instrumentos como los ordenadores, y la biotecnología con la obtención de productos a partir de seres vivos con o sin su ADN modificado.

Tras este análisis podemos concluir que:

Los estudiantes del GEXP y del GCON son homogéneos en relación a sus ideas o conocimientos iniciales sobre la Naturaleza de la Ciencia.

Estos resultados no difieren mucho de los que han sido recogidos en otras investigaciones con estudiantes de estas edades como se recogía en el Cuadro 5.14. Ahora, sólo vamos a comparar los resultados que nosotros hemos obtenido con los de los trabajos que se han utilizado para seleccionar los ítems de esta prueba, y así corroborar si los estudiantes de diversos ámbitos mantienen las mismas creencias.

Ideas sobre cómo se trabaja en Ciencia

Los ítems 1 y 2 están tomados del trabajo de Durant y otros (1989) sobre la comprensión de la Ciencia por parte del público (la muestra fue de más de 2000 ingleses mayores de 18 años). Esta misma encuesta se aplicó, en un estudio sobre el mismo tema, a estudiantes españoles de 14 a 18 años (Ibáñez, 1994). Utilizaremos estos últimos datos por corresponder a individuos escolarizados de la misma edad. Los alumnos de 14 años, al igual que los de nuestra investigación, identifican la Ciencia, a partes iguales, como construcción de teorías o como método experimental; mientras que, los de 18 años, que llevan más tiempo en el sistema educativo, eligen en un 80% la opción de Ciencia como método experimental, manifestando la visión empirista que la ciencia escolar transmite de la misma. En cuanto al ítem 2, sobre la elección de un método como el más científico, la mayoría de los estudiantes de nuestro estudio y el de referencia, distribuyen sus repuestas entre las tres opciones. Opciones tan poco científicas, como “hablar con los pacientes para tener su opinión” o “usar los conocimientos de medicina para tomar una decisión”, son elegidos por más del 50% de los estudiantes en ambos estudios.

Los ítems (3 y 4), que tratan aspectos relativos a la experimentación en las investigaciones científicas, han sido tomados de Solomon y otros (1996). Estos mismos autores, en un estudio anterior (1994), ya habían identificado que las ideas de los estudiantes sobre lo que son los experimentos y las teorías no sólo proceden del ámbito de la ciencia escolar sino, también, del lenguaje diario. Los estudiantes de estos estudios, y del nuestro, dan respuestas similares sobre el papel que cumplen los experimentos dentro de una investigación, como se recoge por otros autores (Carey y otros 1989; Ryan y Aikenhead, 1992; Duveen y otros 1993). Se asocia, por igual, con la comprobación de explicaciones y con el hecho de descubrir o crear cosas útiles. Los estudiantes, por otra parte, dudan sobre si los científicos saben lo que va a ocurrir o no, antes de hacer un experimento. En el trabajo de referencia más del 50% de estudiantes

elegían la opción “Sí”, un 35% la de “No” y un 20% la de “No lo sé”. En nuestra prueba incluimos la opción “Unas veces sí y otras no”, siendo seleccionada por más del 80% de los alumnos. Esta idea sobre el factor sorpresa de los experimentos, también está reflejada por Carey y otros (1989) y Duveen y otros (1993).

La conclusión a la que llegan Solomon y otros (1996) es que los estudiantes tienen un visión de la Ciencia como “*ciencia de cómic*” (cartoon image of science), coincidiendo con Fleming (1986) y Duveen y otros (1993).

Ideas sobre lo que es una teoría

De los ítems 5 al 9 se tratan aspectos relativos a la entidad de las teorías científicas y su permanencia en el tiempo. Las cuestiones fueron tomadas de Solomon y otros (1996) (ítem 5, 6 y 8), de Durant y otros (1989) (ítem 7), y de Borreguero y Rivas (1995) (ítem 9). Sobre las teorías científicas, más del 30% de los estudiantes de estos estudios, y el nuestro, las relacionan con una explicación bien establecida. Sin embargo, el 45% de los estudiantes del trabajo de referencia identifican las teorías con ideas o suposiciones, mientras que el 40% de los nuestros con un hecho probado. Nuestros resultados son más homogéneos con los obtenidos en otro estudio con estudiantes españoles que contestaron al ítem 7 (Ibáñez, 1994), y con los de alumnos ingleses (Duveen y otros, 1993).

En cuanto, al reemplazo de unas teorías por otras, la mayoría de los estudiantes del estudio de partida y del nuestro (más del 80%), creen que es debido al uso de mejor tecnología o al conocimiento de nuevos datos. Sin embargo, en el ítem 9 sobre la causa de los desacuerdos entre científicos, los estudiantes optan por respuestas relativas al uso de distintas teorías u opiniones de los científicos, puesto que entre ambas no hay diferencias para ellos.

Ideas sobre los científicos

Sobre este aspecto existen numerosos trabajos, y todos coinciden en el hecho de que se mantiene una imagen estereotipada de los científicos. A nosotros no nos interesaba tanto la imagen personal que los estudiantes puedan tener de un investigador como la de su visión sobre el trabajo que realizan y las características asociadas a él. Por eso, sólo se incluyó una cuestión al respecto tomada del trabajo de Borreguero y Rivas

(1995), que a su vez la toman de un trabajo anterior (Ryan, 1987). Los resultados son semejantes a estos, en torno al 30-40% de estudiantes consideran que los científicos no proyectan algunas características como la honestidad más que cualquier otro trabajador. El resto de alumnos identifican que sí las proyectan por el tipo de trabajo que realizan.

Ideas sobre las relaciones C-T-S

Al final de esta prueba se han incluido dos ítems que indagan la noción que tienen los estudiantes sobre lo que es la tecnología y la biotecnología. El ítem 11 está tomado de Borreguero y Rivas (1985) y de trabajos más amplios sobre el tema como el de Rennie y Jarvis (1995). La mayoría de los estudiantes, en cualquiera de estos estudios y el nuestro, asocian la tecnología como lo que compete a ordenadores, máquinas, electricidad e inventos; idea que ya aparece en trabajos anteriores como el de Raat y De Vries (1987). Algunos estudios llegan a la conclusión de que una visión más diversificada y amplia de la tecnología se adquiere con la edad (Rennie y Jarvis, 1995).

El ítem 12 está tomado de Lock y Miles (1993). En este trabajo la cuestión era abierta y un 30% de estudiantes decían no saber que era la biotecnología, un 20% lo identificaba con la unión de la tecnología y la Biología, y el 50% restante lo relacionaba con el uso de organismos vivos o de proceso biológicos, incluyendo en un porcentaje muy pequeño la manipulación del ADN. En nuestro estudio los estudiantes tenían diversas opciones y la mayoría (60% y 68,42%) lo han asociado a la obtención de productos a partir de seres vivos. La diferencia entre ambos estudios se debe a que nuestro ítem es cerrado y, también, hay que tener en cuenta que la información sobre los progresos biotecnológicos ha sido mucho más abundante desde 1993 que en periodos anteriores. Ese año el cine muestra a todo el mundo las posibilidades de la ingeniería genética gracias a Parque Jurásico; y, desde entonces, las informaciones sobre clonaciones, alimentos transgénicos, test genéticos y avances en el desciframiento del genoma humano no han faltado en las noticias emitidas por los diversos medios informativos.

7.1.3. SUBHIPÓTESIS INICIAL 3: CONTRASTE DE LA HOMOGENEIDAD EN RELACIÓN A LOS PROCEDIMIENTOS DE RESOLUCIÓN DE UN PROBLEMA ABIERTO

La formulación completa de esta Subhipótesis I.3 es:

Los estudiantes del GEXP y del GCON son homogéneos en los procedimientos iniciales que usan en la resolución de un problema abierto.

La prueba inicial de procedimientos (4.4.2 A) es el siguiente problema abierto:

Los laboratorios LAB están creando nuevos fármacos para el tratamiento de enfermedades. ¿Cómo pueden estar seguros de su efectividad?

Para el análisis de resultados, la resolución del problema se concreta de la siguiente forma:

VM1 Análisis cualitativo del problema:

Antes de abordar la solución del problema, éste debe ser analizado y acotado. Para ello, se deben conocer aspectos relativos a:

- ¿Qué tipo de enfermedad o enfermedades puede curar el fármaco? La curación de una enfermedad será definida como la desaparición de los síntomas. Reformular el problema: ¿El fármaco X es efectivo frente a la enfermedad Y?
- ¿Cuáles son los factores fisiológicos, psíquicos, ambientales, etc. causantes de la enfermedad o que pueden influir en su desarrollo y curación?
- ¿Cuál puede ser el efecto del fármaco y cómo debe ser administrado?
- Acotar variables como tipo de población afectada (edad, sexo, peso, dieta); manifestaciones de la enfermedad; interacción de la enfermedad con otras enfermedades, con sustancias químicas o procesos metabólicos, etc.

VM2 Emisión de hipótesis:

El nuevo fármaco será efectivo si los síntomas de la enfermedad desaparecen tras su administración.

VM3 Elaboración de una estrategia de resolución:

- Realizar las primeras investigaciones clínicas con animales de laboratorio a los que se ha provocado la enfermedad. En cada diseño experimental se controlarán todas las variables y se utilizan grupos control.
- Paso de la experimentación a humanos si los resultados en animales son prometedores. Tener en cuenta los problemas éticos que plantea la experimentación en humanos y controlar todas las variables antes mencionadas: edad, sexo y características del paciente, cantidades de sustancia, tiempos de tratamiento, efectos secundarios, etc. Por ejemplo: se selecciona un número elevado de individuos de un mismo sexo, dentro de un margen de edad, y con hábitos higiénicos y alimentarios similares. Se divide la muestra de forma aleatoria en grupos que tomen diversas cantidades del fármaco, además del grupo que tome placebo, y se decide el tiempo de administración.

VM4 Resolución:

Puesta en práctica del diseño experimental anterior

VM5 Análisis de los resultados:

Recogida de los datos de la investigación clínica de forma estadística y en gráficos. La valoración positiva o negativa de los mismos nos llevará a distintos tipos de comprobaciones.

- *Resultados positivos:* Para comprobar que la mejoría o la desaparición de los síntomas de la enfermedad se debe exclusivamente al uso del nuevo fármaco, se suprimirá el tratamiento en varios grupos tras la desaparición de los síntomas. Si los síntomas reaparecen, el nuevo fármaco puede ser un buen medicamento. También habrá que realizar nuevos ensayos: probar con cantidades menores de sustancia hasta llegar a un límite de efectividad, probar su efectividad en otros grupos de población, realizar modificaciones químicas del producto para evitar alergias o efectos secundarios, desarrollar distintas formas de administración del fármaco, etc.
- *Resultados negativos:* Revisar los resultados de las investigaciones. Esta investigación posterior puede no conducir a nada o revelar algún tipo de interacción entre sustancias químicas o algún tipo de mecanismo fisiológico desconocido. También habría que revisar las hipótesis; puede ser una sustancia eficaz sólo en determinadas circunstancias (junto con otros fármacos, en periodos de tiempos más largos, sólo en pacientes con unas determinadas características, etc.).

En la valoración de la resolución del problema sólo se consideran las variables metodológicas y de verbalización. No se han tenido en cuenta las variables de contenido porque no está relacionado con la Genética y no se trabaja ningún esquema conceptual que sea interesante para este trabajo de investigación. A continuación se presentan los datos obtenidos:

VARIABLES		GEXP (N= 30)		GCON (N = 19)		P valor
		Nº	%	Nº	%	X ²
VARIABLES METODOLÓGICAS						
VM1 Análisis cualitativo del problema	Nivel 0	24	80,00%	19	100,00%	0,10*
	Nivel 1	6	20,00%	0	0,00%	
	Nivel 2	0	0,00%	0	0,00%	
	Nivel 3	0	0,00%	0	0,00%	
VM 2 Emisión de hipótesis	Nivel 0	30	100,00%	19	100,00%	1
	Nivel 1	0	0,00%	0	0,00%	
	Nivel 2	0	0,00%	0	0,00%	
	Nivel 3	0	0,00%	0	0,00%	
VM3 Elaboración de estrategias de resolución	Nivel 0	3	10,00%	3	15,79%	0,36
	Nivel 1	13	43,33%	11	57,89%	
	Nivel 2	14	46,67%	5	26,32%	
	Nivel 3	0	0,00%	0	0,00%	
VM4 Resolución del problema	Nivel 0	29	96,67%	19	100,00%	1*
	Nivel 1	1	3,33%	0	0,00%	
	Nivel 2	0	0,00%	0	0,00%	
	Nivel 3	0	0,00%	0	0,00%	
VM5 Análisis de los resultados	Nivel 0	27	90,00%	19	100,00%	0,42*
	Nivel 1	3	10,00%	0	0,00%	
	Nivel 2	0	0,00%	0	0,00%	
	Nivel 3	0	0,00%	0	0,00%	
VARIABLE DE VERBALIZACIÓN						
VV	Nivel 0	29	96,67%	19	100,00%	1*
	Nivel 1	1	3,33%	0	0,00%	
	Nivel 2	0	0,00%	0	0,00%	
	Nivel 3	0	0,00%	0	0,00%	

* Los valores con asterisco indican que el programa ha aplicado la corrección de Yates.

Cuadro 7.7: Resultados de la prueba inicial de procedimientos de resolución de problemas. Los valores en negrita apoyan la hipótesis de homogeneidad ($p > 0,1$).

Las resoluciones planteadas por los estudiantes se han analizado bajo el prisma de las fases de la MRPI. Por supuesto, nunca han trabajado con esta metodología, y, por lo tanto, no la van a seguir; sin embargo, nosotros sí podemos discriminar si en su planteamiento de resolución hay una emisión de hipótesis, un análisis de resultados, etc.

Los estudiantes de ambos grupos no realizan ningún análisis cualitativo del problema, ni parten de una hipótesis de partida. En su resolución, sólo, en parte, podemos reconocer un posible diseño experimental, porque el problema se enmarca dentro de la investigación médica que no les resulta desconocida. Conocen que se investigan medicamentos y otros productos en animales antes de utilizarlos en personas, y saben que se investiga primero con pequeños grupos de población antes de generalizar el uso de una determinada sustancia.

En cuanto al nivel de verbalización en la resolución del problema, en ambos grupos, es nula o mínima (nivel 0).

Algunos ejemplos de resolución por parte de estudiantes de ambos grupos son:

GEXP A.10: *“Habría que inyectarle el virus o bacteria de la enfermedad en cuestión a un animal que cojamos para experimentar con él. Le pondríamos el tratamiento y esperaríamos resultados. Habría que ir observando los cambios que se producen en el animal: su comportamiento, su comida, si produce somnolencia..., y los efectos secundarios. Si después de varias semanas o meses no hay ninguna anomalía se podría efectuar el tratamiento con personas”*. A.13: *“Primero yo probaría el tratamiento con un animal y si ese animal no sufre ningún daño, después probaría con una persona (un voluntario), y si no lo haría yo misma, es decir, si no es efectivo con las personas, así la única que correría riesgo sería yo”*. A.25: *“Pues si la enfermedad es un virus o bacteria producir esa bacteria o virus y probar el fármaco contra ellos”*

GCON A.'2: *“Estos laboratorios hacen un cultivo con los distintos virus que desarrolla esa enfermedad. Se ponen distintas muestras de productos en el cultivo y depende la reacción que tengan los virus a través del microscopio se sabe si es efectivo o no.”* A.'11: *“Pienso que antes de utilizar los fármacos con seres humanos deberían hacer prácticas o pruebas con, por ejemplo, animales, para ver si en principio esos fármacos*

pueden traer consecuencias perjudiciales. Después, cuando estén seguros de que nada de eso ocurre, probar los fármacos con un determinado número de personas que padezcan la enfermedad tratada y comprobar si son realmente eficaces. Por último, si se ve que funcionan, deberían distribuirlos para poder hacer uso de ellos”. A.’18 “Pues como prueban los demás fármacos, haciendo pruebas hasta que estén seguros de su efectividad”.

Los resultados obtenidos nos permiten indicar que:

Los estudiantes del GEXP y del GCON son homogéneos en los procedimientos iniciales que usan en la resolución de un problema abierto.

Es imposible que los estudiantes puedan seguir una metodología de trabajo que desconocen y, por lo tanto, esta prueba parece que podría obviarse; sin embargo, se ha llevado a cabo por dos razones. La principal era constatar que ambos grupos presentaban los mismos recursos y estrategias a la hora de enfrentarse a un problema abierto. La segunda, y menos explícita, era crear una base para el trabajo posterior en el aula con el GEXP. Tanto en el proceso de aprendizaje de la metodología, como en el proceso de resolución de problemas a lo largo de la unidad didáctica, los estudiantes podrán comprobar cómo el desarrollo de unas herramientas adecuadas les ha permitido mejorar en su nivel de resolución de un problema abierto.

Como ya se dijo en su momento, cualquier nuevo procedimiento debe ser enseñando a los alumnos con anterioridad si quiere ser valorado en una investigación didáctica.

7.1.4. SUBHIPÓTESIS INICIAL 4: CONTRASTE DE LA HOMOGENEIDAD EN RELACIÓN A LAS ACTITUDES RELACIONADAS CON LA CIENCIA

En el Cuadro 7.8 se presentan los resultados la prueba que ha servido para el contraste de esta Subhipótesis:

Los estudiantes del GEXP y del GCON son homogéneos en las actitudes iniciales que manifiestan respecto a la Ciencia

Para facilitar la lectura de los datos, las 50 frases sobre las que los estudiantes manifiestan su postura, recogidas en el Apartado 4.4.2 A, se han agrupado según el aspecto relativo a las actitudes relacionadas con la Ciencia que reflejan:

- Actitudes sobre la Ciencia (entendida como conocimiento)
 - Favorables
 - Desfavorables
 - Características de la Ciencia
- Actitudes hacia la Ciencia (entendida como disciplina de estudio)
 - Favorables
 - Desfavorables

La valoración que los estudiantes dan a cada una de las frases varía del 0 al 5 en una escala de tipo Likert. 0 significa “no lo sé”; 1 y 2 “desacuerdo” en mayor o menor grado; 3 “duda”; y 4 y 5 “acuerdo” en menor o mayor grado. Para evitar posibles desviaciones de las respuestas de los estudiantes, que tienen que decidir entre grados de acuerdo o desacuerdo, se han sumado los valores obtenidos en 1 y 2, y en 4 y 5. Los valores 0 y 3 se han mantenido separados porque se ha considerado que es diferente no tener opinión, o dudar sobre la que se tiene.

El estadístico de la Chi-cuadrado se ha aplicado para cada frase de la prueba y para el conjunto de todas aquellas que reflejan una misma actitud de forma global.

CUESTIONES	GRUPO EXPERIMENTAL (N = 30)								
	0		1 + 2		3		4 + 5		
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	
Actitud favorable sobre	1	1	3,33%	2	6,67%	12	40,00%	15	50,00%
	3	2	6,67%	3	10,00%	10	33,33%	15	50,00%
	5	0	0,00%	2	6,67%	3	10,00%	25	83,33%
	12	0	0,00%	5	16,67%	11	36,67%	14	46,67%
	19	0	0,00%	0	0,00%	4	13,33%	26	86,67%
	24	4	13,33%	8	26,67%	8	26,67%	10	33,33%
	31	0	0,00%	1	3,33%	5	16,67%	24	80,00%
	32	1	3,33%	4	13,33%	9	30,00%	16	53,33%
	40	0	0,00%	0	0,00%	6	20,00%	24	80,00%
Actitud desfavorable sobre	6	3	10,00%	5	16,67%	9	30,00%	13	43,33%
	8	5	16,67%	2	6,67%	7	23,33%	16	53,33%
	13	10	33,33%	11	36,67%	9	30,00%	0	0,00%
	20	3	10,00%	11	36,67%	10	33,33%	6	20,00%
	34	2	6,67%	23	76,67%	4	13,33%	1	3,33%
	36	3	10,00%	25	83,33%	1	3,33%	1	3,33%
	38	3	10,00%	25	83,33%	2	6,67%	0	0,00%
	43	1	3,33%	27	90,00%	0	0,00%	2	6,67%
	48	2	6,67%	25	83,33%	3	10,00%	0	0,00%
Características	9	7	23,33%	2	6,67%	7	23,33%	14	46,67%
	11	1	3,33%	3	10,00%	6	20,00%	20	66,67%
	14	1	3,33%	21	70,00%	3	10,00%	5	16,67%
	16	1	3,33%	2	6,67%	7	23,33%	20	66,67%
	44	5	16,67%	2	6,67%	9	30,00%	14	46,67%
	45	3	10,00%	11	36,67%	8	26,67%	8	26,67%
	46	8	26,67%	1	3,33%	6	20,00%	15	50,00%
	47	3	10,00%	13	43,33%	12	40,00%	2	6,67%
Actitud favorable hacia	7	4	13,33%	6	20,00%	6	20,00%	14	46,67%
	17	2	6,67%	3	10,00%	4	13,33%	21	70,00%
	22	2	6,67%	13	43,33%	13	43,33%	2	6,67%
	27	2	6,67%	5	16,67%	5	16,67%	18	60,00%
	29	1	3,33%	0	0,00%	4	13,33%	25	83,33%
	33	3	10,00%	3	10,00%	7	23,33%	17	56,67%
	35	7	23,33%	6	20,00%	6	20,00%	11	36,67%
	39	1	3,33%	21	70,00%	5	16,67%	3	10,00%
	41	1	3,33%	1	3,33%	4	13,33%	24	80,00%
	42	2	6,67%	1	3,33%	6	20,00%	21	70,00%
	49	0	0,00%	1	3,33%	4	13,33%	25	83,33%
	50	1	3,33%	1	3,33%	5	16,67%	23	76,67%
Actitud desfavorable hacia	2	1	3,33%	25	83,33%	2	6,67%	2	6,67%
	4	3	10,00%	7	23,33%	7	23,33%	13	43,33%
	10	4	13,33%	18	60,00%	5	16,67%	3	10,00%
	15	3	10,00%	17	56,67%	6	20,00%	4	13,33%
	18	0	0,00%	26	86,67%	3	10,00%	1	3,33%
	21	0	0,00%	21	70,00%	6	20,00%	3	10,00%
	23	0	0,00%	26	86,67%	4	13,33%	0	0,00%
	25	1	3,33%	26	86,67%	2	6,67%	1	3,33%
	26	3	10,00%	22	73,33%	5	16,67%	0	0,00%
	28	0	0,00%	23	76,67%	6	20,00%	1	3,33%
	30	2	6,67%	18	60,00%	8	26,67%	2	6,67%
	37	1	3,33%	26	86,67%	2	6,67%	1	3,33%

[] El valor entre corchetes se obtiene tras redistribuir el peso de cada respuesta.

GRUPO CONTROL (N =19)						P valor			
O		1 + 2		3		4 + 5		X ²	
Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%		
0	0,00%	1	5,26%	2	10,53%	16	84,21%	0,10	0,13
1	5,26%	2	10,53%	6	31,58%	10	52,63%	1	
0	0,00%	0	0,00%	2	10,53%	17	89,47%	1	
2	10,53%	0	0,00%	4	21,05%	13	68,42%	0,04	
2	10,53%	0	0,00%	5	26,32%	12	63,16%	0,08	
1	5,26%	5	26,32%	3	15,79%	10	52,63%	0,49	
2	10,53%	2	10,53%	1	5,26%	14	73,68%	0,14	
0	0,00%	2	10,53%	3	15,79%	14	73,68%	0,48	
2	10,53%	4	21,05%	2	10,53%	11	57,89%	0,01	
0	0,00%	4	21,05%	4	21,05%	11	57,89%	0,41	0,14
1	5,26%	5	26,32%	4	21,05%	9	47,37%	0,21	
2	10,53%	5	26,32%	7	36,84%	5	26,32%	0,01	
6	31,58%	4	21,05%	5	26,32%	4	21,05%	0,25	
1	5,26%	9	47,37%	6	31,58%	3	15,79%	0,13	
1	5,26%	13	68,42%	2	10,53%	3	15,79%	0,28	
1	5,26%	13	68,42%	2	10,53%	3	15,79%	0,33	
0	0,00%	14	73,68%	3	15,79%	2	10,53%	0,11	
3	15,79%	14	73,68%	1	5,26%	1	5,26%	0,39	
1	5,26%	6	31,58%	6	31,58%	6	31,58%	0,05	0,13
2	10,53%	3	15,79%	6	31,58%	8	42,11%	0,37	
2	10,53%	3	15,79%	7	36,84%	7	36,84%	0,003	
2	10,53%	1	5,26%	6	31,58%	10	52,63%	0,64	
1	5,26%	4	21,05%	5	26,32%	9	47,37%	0,35	
3	15,79%	6	31,58%	7	36,84%	3	15,79%	0,70	
1	5,26%	2	10,53%	2	10,53%	14	73,68%	0,13	
0	0,00%	9	47,37%	7	36,84%	3	15,79%	0,40	
2	10,53%	4	21,05%	8	42,11%	5	26,32%	0,35	0,49
1	5,26%	1	5,26%	4	21,05%	13	68,42%	0,85	
1	5,26%	6	31,58%	7	36,84%	5	26,32%	0,29	
0	0,00%	3	15,79%	7	36,84%	9	47,37%	0,32	
0	0,00%	4	21,05%	4	21,05%	11	57,89%	0,04	
1	5,26%	3	15,79%	3	15,79%	12	63,16%	0,79	
2	10,53%	4	21,05%	4	21,05%	9	47,37%	0,71	
2	10,53%	15	78,95%	1	5,26%	1	5,26%	0,45	
1	5,26%	3	15,79%	8	42,11%	7	36,84%	0,02	
1	5,26%	3	15,79%	6	31,58%	9	47,37%	0,28	
1	5,26%	4	21,05%	2	10,53%	12	63,16%	0,12	
2	10,53%	2	10,53%	3	15,79%	12	63,16%	0,52	
2	10,53%	12	63,16%	2	10,53%	3	15,79%	0,43	
0	0,00%	3	15,79%	3	15,79%	13	68,42%	0,27	
3	15,79%	7	36,84%	4	21,05%	5	26,32%	0,35	
2	10,53%	10	52,63%	4	21,05%	3	15,79%	0,99	
1	5,26%	14	73,68%	1	5,26%	3	15,79%	0,23	
2	10,53%	9	47,37%	7	36,84%	1	5,26%	0,13	
1	5,26%	13	68,42%	2	10,53%	3	15,79%	0,08	
0	0,00%	13	68,42%	5	26,32%	1	5,26%	0,22	
1	5,26%	15	78,95%	3	15,79%	0	0,00%	0,83	
1	5,26%	10	52,63%	4	21,05%	4	21,05%	0,10	
1	5,26%	6	31,58%	6	31,58%	6	31,58%	0,09	
1	5,26%	6	31,58%	7	36,84%	5	26,32%	0,001	

Cuadro 7.8: Resultados de la prueba inicial de actitudes relacionadas con la Ciencia. Los valores en negrita apoyan la hipótesis de homogeneidad ($p > 0,1$).

A partir de los resultados tomados de forma global, para cada uno de los aspectos relativos a actitudes que se valoran, vemos que *se acepta la hipótesis de homogeneidad entre ambos grupos en relación con las actitudes que manifiestan sobre y hacia la Ciencia.*

En un análisis más detallado podemos ver en qué cuestiones concretas no hay homogeneidad en las respuestas de ambos grupos, y si es relevante o no dependiendo de otras consideraciones

Actitud favorable sobre la Ciencia.

Los estudiantes de ambos grupos tienen una imagen positiva de la Ciencia y sus avances. Las frases donde hay más diferencia de opinión son la 12, 19 y 40; sin embargo, éstas son muy similares a otras donde los dos grupos contestan de forma homogénea y favorable. Por ejemplo, presentan homogeneidad al considerar que “las enfermedades pueden curarse gracias a la Ciencia” (frase 5), y no en la frase “la gente vive más saludablemente gracias a la Ciencia” (frase 12). En las afirmaciones donde se presenta a la Ciencia como algo “valioso” (19) y “útil” (40), la falta de homogeneidad se debe a que en el GCON eligen en porcentajes algo más bajos la opción de acuerdo total. Sin embargo, en cuestiones donde se dice que “tenemos un mundo mejor para vivir” (1) o “un futuro mejor depende de la Ciencia” (32), ambos grupos son homogéneos, y es el GCON el que presenta un porcentaje mayor en respuestas favorables. Esta sensación de falta de coherencia entre las opciones elegidas por los estudiantes puede deberse a la forma en que se expresan cada una de las afirmaciones. Una misma cuestión expresada de forma más tajante, o de forma más concreta, puede hacer que se decanten por una u otra respuesta, o que opten por la de “duda”. Por lo tanto, el mejor análisis es el que se obtiene de una visión general de todos los ítems para un mismo aspecto. Es de esperar que esta misma situación nos la encontremos en el resto de los apartados de esta prueba.

Actitud desfavorable sobre la Ciencia.

Los estudiantes de ambos grupos no presentan actitudes desfavorables hacia la Ciencia, sobre todo porque rechazan que sea algo inútil (frases 38 y 43) lo que refuerza el análisis del apartado anterior. En los aspectos en los que están más de acuerdo son aquellos que se refieren a que "un mayor conocimiento científico supone mayores

preocupaciones” (6) y “la Ciencia no ayuda por igual a todo el mundo” (8). Sólo en la cuestión 13 “la Ciencia no puede resolver los problemas energéticos” hay falta de homogeneidad porque las respuestas de ambos grupos están muy dispersas entre todos los valores posibles, y sólo en el GCON se eligen las opciones 4 y 5. Sin embargo, queda claro que los estudiantes manifiestan una actitud favorable hacia la Ciencia como conjunto de conocimientos que permite una mejora en nuestra calidad de vida; aunque, también, reconocen que no soluciona todos los problemas y que, según su percepción, está en la base de otros.

Características de la Ciencia.

Los estudiantes de ambos grupos consideran de forma mayoritaria que “la Ciencia es el camino para conocer el mundo” (16), y que en este proceso la “curiosidad” (11) y “la aceptación de nuevas ideas” (46) son elementos importantes. Sólo en la cuestión 14 la falta de homogeneidad es más significativa. (“para destacar en Ciencia hay que ser muy inteligente”) debido a que las respuestas del GCON se reparten entre todas las opciones; porque, si nos fijamos en el porcentaje de estudiantes que están en desacuerdo o tienen dudas, nos encontramos porcentajes muy altos en ambos grupos (63,15% y 83,33%). Volvemos a considerar que el mejor análisis es el que se obtiene de una visión general de todas las respuestas en conjunto.

Actitud favorable hacia la Ciencia.

La actitud general de ambos grupos hacia el estudio de la Ciencia es buena (frases 7, 17, 27, 33, 42, 49, 50); aunque consideran que no es fácil (39). Las dos afirmaciones en las que sus repuestas no son homogéneas son la 29 (“Aprender nuevas cosas de ciencias me hace sentir bien”) y la 41 (“La Ciencia es necesaria para todos”); aunque, en ambas, más de la mitad de los estudiantes de los dos grupos están de acuerdo con ellas. Volvemos a detectar la falta de coherencia de las actitudes de los estudiantes según el tipo de afirmación a la que se enfrenten, sobre todo si no tienen mucho sentido para ellos o son muy categóricas; y que, por lo tanto, algunas frases pueden considerarse menos representativas que otras a la hora de valorar las actitudes de los estudiantes.

Actitud desfavorable hacia la Ciencia.

La mayoría de los alumnos de ambos grupos están en desacuerdo con las afirmaciones que se hacen en este apartado, como era de esperar tras el análisis del

apartado anterior. La única, donde la falta de homogeneidad es más significativa, es la 37 (“La ciencia es completamente aburrida”); sin embargo, ambos grupos se pueden considerar homogéneos cuando la misma cuestión se plantea de forma positiva en el apartado anterior “La ciencia es entretenida” (7). Este es un ejemplo más que pone de manifiesto el hecho de que la forma de redactar una afirmación puede influir en el tipo de respuesta. Para la cuestión 7 el p-valor que se obtiene es de 0,35, y para la 37 de 0,001. La influencia de esta última frase es muy alta en el resultado global; ya que, si se elimina, el p-valor para todo este apartado pasa a ser 0,38; es decir, no hay diferencias significativas.

Basándonos en este análisis, podemos indicar que:

Los estudiantes del GEXP y del GCON son homogéneos en las actitudes iniciales que manifiestan respecto a la Ciencia.

No sólo nuestros grupos de investigación son homogéneos entre sí, sino que manifiestan actitudes relacionadas con la Ciencia similares a las que pueden presentar otros estudiantes de su edad. Vamos a comparar nuestros resultados con los que obtuvieron Vázquez y Manassero (1997) en el trabajo del cuál ha sido tomada la prueba. Recordamos que la taxonomía de actitudes que ellos valoran no coincide totalmente con la nuestra.

Estos autores en su estudio, ya identifican como defecto metodológico el pretender medir una actitud de un estudiante a partir de un solo ítem, y que para definir patrones más sólidos se han de tomar perspectivas más globales. En el análisis de resultados que se acaba de realizar se muestran claramente evidencias de este hecho. En algunas de las afirmaciones, los estudiantes manifiestan actitudes contradictorias con lo que anteriormente han manifestado. La incoherencia no está tanto en el estudiante como en su reacción frente a afirmaciones que son muy tajantes, tanto en positivo como en negativo, o que no puede interpretar correctamente.

Otra de las conclusiones a las que llegan estos autores, y que también se puede corroborar en nuestro estudio, es que los estudiantes muestran de forma más clara

actitudes favorables en los ítems que indican alguna característica negativa o de rechazo hacia la Ciencia. En estos casos es más evidente que la opción elegida por ellos es la de ‘estar en desacuerdo’; mientras que, no es tan clara la elección de la opción ‘estar de acuerdo’ cuando se refiere a aspectos positivos o halagadores de la Ciencia.

La conclusión final de Vázquez y Manassero es que los estudiantes muestran una actitud “*moderadamente favorable y positiva hacia la Ciencia*”. Por apartados, las actitudes más favorables las obtienen en relación con la imagen que tienen de la Ciencia como conocimiento (lo que hemos llamado actitudes ‘sobre la Ciencia’); y algo menos favorables hacia las características de la Ciencia (también incluida en el tipo de actitud anterior) y la enseñanza de la Ciencia (lo que hemos llamado actitudes ‘hacia la Ciencia’). Nuestros resultados también coinciden con los suyos. Es de destacar que, además, los estudiantes en ambos estudios, presentan una actitud menos favorable hacia los ítems que reflejan los problemas y preocupaciones que genera la Ciencia, y la falta de atractivo de la Ciencia como actividad o trabajo al que dedicarse; y una actitud más favorable hacia las ideas sobre la utilidad de la Ciencia, o la curiosidad como elemento que define a la actividad científica.

7.1.5. SUBHIPÓTESIS INICIAL 5: CONTRASTE DE LA HOMOGENEIDAD EN RELACIÓN A LAS ACTITUDES RELATIVAS A LAS RELACIONES C-T-S

Estos son los resultados de la prueba inicial de actitudes respecto a las relaciones C-T-S (Apartado 4.4.2 A) para el contraste de esta Subhipótesis I.5:

Los estudiantes del GEXP y del GCON son homogéneos en las actitudes iniciales que manifiestan sobre las relaciones C-T-S

CUESTIONES		GEXP (N= 30)		GCON (N = 19)		P valor χ^2
		Nº	%	Nº	%	
1. Los científicos e ingenieros deberían decidir en la distribución de los alimentos	a) Los científicos	2	6,67%	4	21,05%	0,32
	b) El gobierno y los científicos	4	13,33%	1	5,26%	
	c) El público aconsejado por...	4	13,33%	4	21,05%	
	d) Decisión compartida	20	66,67%	10	52,63%	
2. Los científicos deben ser responsables del daño que produzcan sus descubrimientos.	a) Son responsables	16	53,33%	10	52,63%	0,96
	b) Los usuarios responsables	4	13,33%	2	10,53%	
	c) Responsabilidad compartida	8	26,67%	5	26,32%	
	d) No son responsables	2	6,67%	2	10,53%	
3. C. y T. mejoran las condiciones de vida pero no resuelven otros problemas	a) Son el precio por el progreso	6	20,00%	5	26,32%	0,70
	b) Uso correcto de la C. y T.	13	43,33%	5	26,32%	
	c) C. y T. no lo resuelven todo	7	23,33%	6	31,58%	
	d) C. y T. necesitan apoyo	4	13,33%	3	15,79%	
4. Ante los anuncios de nuevos descubrimientos científicos, los ciudadanos...	a) Creen que tendrán beneficios	8	26,67%	5	26,32%	0,97
	b) Querrían entenderlo	8	26,67%	4	21,05%	
	c) No comprenden, inseguridad	11	36,67%	8	42,11%	
	d) Progreso no satisfactorio	3	10,00%	2	10,53%	
5. El gobierno español debería dar dinero a la investigación si mejora la calidad de vida.	a) Mejorar calidad de vida	4	13,33%	8	42,11%	0,07
	b) ¿Cómo saber si lo será?	12	40,00%	7	36,84%	
	c) Todo tipo de investigación	11	36,67%	2	10,53%	
	d) Conocer nuestro mundo	3	10,00%	2	10,53%	
6. El gobierno debería aportar dinero para explorar lo desconocido de la Naturaleza	a) Un lugar mejor para vivir	14	46,67%	8	42,11%	0,87
	b) Entender nuestro mundo	5	16,67%	5	26,32%	
	c) Investigar es lo importante	5	16,67%	3	15,79%	
	d) Evitar un retraso científico	6	20,00%	3	15,79%	
7. Sería mejor invertir en investigación tecnológica que en científica	a) Sólo tecnológica	0	0,00%	0	0,00%	0,005 [0,69]
	b) Sólo científica	0	0,00%	1	5,26%	
	c) En ambas	30	100,00%	13	68,42%	
	d) En ninguna	0	0,00%	5	26,32%	
8. La investigación científica y tecnológica debe ser totalmente libre	a) No hay responsabilidades	1	3,33%	1	5,26%	0,22
	b) Los científicos deciden	5	16,67%	6	31,58%	
	c) Ciudadanos cultos	19	63,33%	12	63,16%	
	d) Los políticos no deciden	5	16,67%	0	0,00%	
9. El uso de la ingeniería genética para modificar seres vivos, sólo es admisible cuando...	a) Mejor en ganado o cultivos	7	23,33%	3	15,79%	0,14
	b) Alimentos mejores	0	0,00%	3	15,79%	
	c) Medicamentos, hormonas	12	40,00%	8	42,11%	
	d) En ningún caso	11	36,67%	5	26,32%	

[] El valor entre corchetes se obtiene al redistribuir las opciones de respuesta.

Cuadro 7.9: Resultados de la prueba inicial de actitudes respecto a las relaciones C-T-S. Los valores en negrita apoyan la hipótesis de homogeneidad ($p > 0,1$).

Esta prueba entraña una gran dificultad para los alumnos porque algunas cuestiones son complejas, y las opciones de respuesta que se les da pueden resultarles confusas. Aún así, *los estudiantes de ambos grupos pueden considerarse homogéneos*. Las respuestas mayoritarias se corresponden con ideas como:

- las decisiones sobre cuestiones sociales (distribución de alimentos) deberían ser compartidas entre los científicos y los ciudadanos;
- los científicos son responsables del daño que produzcan sus descubrimientos;
- la Ciencia no resuelve todos los problemas;
- los ciudadanos no comprenden todos los descubrimientos científicos y se sienten inseguros, aunque esperan que sean beneficiosos;
- el dinero de investigación debería destinarse a trabajos que puedan transformar el mundo en un lugar mejor para vivir;
- los ciudadanos deben conocer los riesgos potenciales de algún tipo de investigación;
- el uso de la ingeniería genética es admisible para la obtención de medicamentos, y no tanto para otros fines.

En el ítem 7 la supuesta falta de homogeneidad se debe a que un porcentaje alto de estudiantes del GCON eligen la opción “no lo sé”. Al no tener en cuenta esta opción, que no aporta ninguna opinión, se obtiene un p-valor que apoya la hipótesis de homogeneidad en ambos grupos. De hecho la opción más elegida es la de “invertir en investigación científica y tecnológica” (100% y 68,42%).

Por lo tanto, podemos concluir que:

Los estudiantes del GEXP y del GCON son homogéneos en las actitudes iniciales que manifiestan sobre las relaciones C-T-S.

Vamos a comparar nuestros resultados con los que se obtuvieron en las investigaciones de las que se han tomado los distintos ítems y, lo haremos siguiendo la gama de aspectos que se pretendían valorar con esta prueba.

El papel de los científicos en la Sociedad.

Los ítems 1 y 2 se centran en este aspecto y están tomados de Borreguero y Rivas (1995) que a su vez los toma de otros trabajos del VOSTS (Views on Science, Technology and Society: Aikenhead, 1987; Ryan, 1987). En estos estudios, al igual que en el nuestro, se constata que los estudiantes reconocen en la figura del científico la de un experto que debería decidir en temas de incidencia social; aunque mayoritariamente la decisión debería ser compartida con los ciudadanos. Por otra parte, los estudiantes identifican a los científicos como los únicos responsables de los daños que puedan ocasionar los descubrimientos científicos. Ryan (1987), al estudiar las respuestas dadas a varios ítems donde se plantean, desde diversos puntos de vista, la responsabilidad de los científicos ante sus descubrimientos, concluye que las respuestas son similares y unánimes: “los científicos son responsables”. Los usuarios, o los gobiernos sólo son tenidos en cuenta, a la hora de buscar responsabilidades, por un porcentaje mínimo de estudiantes.

Influencia de la Ciencia y la Tecnología en la Sociedad.

Los ítems que abordan este tema son: el 3, tomado de Fleming (1987), el 4 de Borreguero y Rivas (1995), y el 7 de ambos estudios.

Ante el papel de la Ciencia y de la Tecnología en la resolución de problemas, en el estudio de referencia y el nuestro, los estudiantes de forma mayoritaria reconocen, por una parte, su importancia en la mejora de la calidad de vida, siempre y cuando se use correctamente; y, por otra parte, el hecho de que no pueden resolver todos los problemas, en especial aquellos de índole social. También coinciden al pensar que los sentimientos de los ciudadanos ante las noticias de nuevos avances científicos son de inseguridad y temor, y que reclaman saber sobre estos temas tanto como conocer los posibles beneficios de los mismos.

Respecto a la importancia relativa entre la Ciencia y la Tecnología, la gran mayoría de los estudiantes, de los distintos trabajos revisados, indican que se debe invertir en las dos porque, ambas, son necesarias. El trabajo de Fleming (1987), donde se usaban ejemplos concretos del posible uso de la Ciencia y la Tecnología, se aprecia una tendencia algo mayor a preferir la investigación científica sobre la tecnológica. En

este caso, se debe a que las investigaciones científicas se asociaban a cuestiones de importancia social como la curación de enfermedades.

Finalidad de la Ciencia y el gasto en investigación.

Los ítems 5 y 6 se corresponden con este tema, y están tomados de Fleming (1987). De forma mayoritaria, los estudiantes del estudio de referencia y del nuestro, apoyan la financiación de la investigación científica que mejore la calidad de vida frente a otras investigaciones cuyos fines sean, por ejemplo, aumentar nuestro conocimiento sobre el mundo. Aunque un porcentaje importante de estudiantes piensan que se deben financiar todo tipo de investigación, su razonamiento es que no se puede saber, a priori, si serán útiles o no para mejorar la calidad de vida. La finalidad que los estudiantes ven en la Ciencia es la de descubrir cosas útiles y buenas para la Sociedad y hacer de nuestro mundo un lugar mejor para vivir. Cualquier otra finalidad es gastar dinero que podría emplearse de otra forma. Resumiendo, están diferenciando entre los que se suele definir en investigación como “ciencia base” y “ciencia aplicada”; y, claramente, están decantándose por la ciencia aplicada como la única importante.

Los límites de la Ciencia y la Tecnología.

Este aspecto es abordado en los ítems 8 tomado de Borreguero y Rivas (1995), y 9 de Lock y Miles (1993). Es curioso que los estudiantes del trabajo de referencia y los nuestros, no sólo estén de acuerdo en que se debe dejar investigar a los científicos sin trabas, sino que detecten con porcentajes de respuesta tan elevados la necesidad de que los ciudadanos sean cultos en temas científicos para que puedan controlar sus posibles riesgos potenciales. En cuanto al uso de la ingeniería genética, uno de los temas que más miedos y expectativas está generando en la actualidad, apoyan mayoritariamente el uso de la misma para obtener medicamentos, y no para otros usos. El trabajo de Lock y Miles (1993) es mucho más amplio, y detecta matices como que el uso de la ingeniería genética en microorganismos y plantas es ampliamente aceptada, mientras que se rechaza cuando se aplica a animales; o que los estudiantes dan respuestas más positivas a la aplicación de estas técnicas cuando se las nombra como biotecnología que cuando se las nombra como manipulación o alteración de los genes.

Las conclusiones finales sobre la visión de los estudiantes en relación con las relaciones C-T-S no son muy realistas y favorables. En el trabajo de Vázquez y

Manassero (1997), que se utilizó en el apartado anterior, también se estudian las actitudes de los estudiantes respecto a algunos aspectos sociales de la Ciencia. Los resultados coinciden con lo recogido en este análisis, la actitud hacia estos temas es menos favorable que la que manifiestan los mismos estudiantes frente a otros aspectos relativos a la Ciencia.

Borreguero y Rivas (1995) concluyen que, ante la falta de creencias y actitudes realistas en los estudiantes sobre este tema, es necesario establecer una formación en C-T-S. Además de la importancia de estos contenidos, se apoyan en los resultados que obtienen al estudiar una muestra de estudiantes universitarios donde detectan que, como consecuencia del proceso de enseñanza aprendizaje, sólo se produce un ligero cambio de actitud hacia las relaciones C-T-S.

Conclusión final sobre el contraste de la hipótesis inicial

Podemos indicar que se contrasta la hipótesis inicial al haberse contrastado todas las subhipótesis en las que se concretaba:

Los grupos experimental y control son homogéneos en sus conocimientos iniciales para cada uno de los aspectos estudiados en la investigación:

- **conocimientos iniciales de Genética y herencia humana**
- **conocimientos iniciales sobre la Naturaleza de la Ciencia**
- **procedimientos iniciales que usan en la resolución de un problema abierto**
- **actitudes iniciales que manifiestan respecto a la Ciencia**
- **actitudes iniciales que manifiestan sobre las relaciones C-T-S**

Una última apreciación sobre este análisis de resultados, es el hecho de que nuestro trabajo permite validar la utilidad de las encuestas utilizadas, tomadas de otros trabajos de investigación, a la hora de indagar las ideas de los estudiantes sobre la herencia, la naturaleza de la Ciencia y las actitudes relacionadas con la Ciencia y las relaciones C-T-S.

7.2. LA EVOLUCIÓN EN EL APRENDIZAJE A TRAVÉS DE UNA METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO UNA INVESTIGACIÓN: HIPÓTESIS DE INTERVENCIÓN EN EL AULA

Las hipótesis referentes a este momento de la investigación pretenden contrastar la evolución positiva en el aprendizaje, llevado a cabo por el GEXP, durante el desarrollo de la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?” basada en una MRPI. Estas hipótesis se centran en tres aspectos:

Hipótesis 1: aprendizaje de la propia metodología (Apartado 7.2.1.)

Hipótesis 2: cambio conceptual en Genética (Apartado 7.2.2.)

Hipótesis 3: la influencia del estilo cognitivo Dependencia-Independencia de Campo (DIC) en el aprendizaje (Apartado 7.2.3.)

Los datos, con los que vamos a trabajar para el contraste de estas hipótesis, son las valoraciones obtenidas por los estudiantes del GEXP en la resolución de cada uno de los problemas abiertos que componen la unidad didáctica desarrollada en el aula. Los distintos niveles de realización para cada una de las variables estudiadas (metodológicas, verbalización y contenidos) se ordenan en una escala de 0 a 3 (Cuadro 7.2). En el Anexo II se encuentra la resolución y valoración de todos ellos.

Otras hipótesis referentes al mayor aprendizaje realizado por los estudiantes gracias a esta metodología, frente a otras más tradicionales, se analiza en el contraste de la Hipótesis Final I (Apartado 7.3.). Y, la permanencia en el tiempo de los mismos, en el contraste de la Hipótesis Final II (Apartado 7.4.).

En el siguiente cuadro se recuerdan los enunciados de la secuencia didáctica de problemas abiertos, su clasificación por tipos según el marco teórico de la Genética en el ámbito escolar, y los esquemas conceptuales involucrados en su resolución (ver Apartado 5.5.2).

PROBLEMAS		TIPO	ESQUEMA CONCEPTUAL
P ₀	<input type="checkbox"/> ¿Cómo se hereda un carácter relacionado con el pelo? (sin conocimiento de la Teoría Cromosómica)	T1	EC1 y EC2
P ₁	<input type="checkbox"/> ¿Cómo se hereda un carácter relacionado con el pelo? (con conocimiento de la Teoría Cromosómica)	T1	EC1 y EC2
P ₂	<input type="checkbox"/> ¿Qué ocurriría si un carácter no fuese ni dominante ni recesivo?	T2	EC1 y EC2
P ₃	<input type="checkbox"/> La herencia de los grupos sanguíneos A, B, AB y O, era utilizada como prueba para determinar la posible paternidad de los padres de un bebé. ¿Podrías conocer el grupo sanguíneo de un hijo tuyo?	T2	EC1 y EC2
P ₄	<input type="checkbox"/> ¿Qué ocurriría si el gen para un carácter se localizase en los cromosomas sexuales?	T2	EC1 y EC2
P ₅	<input type="checkbox"/> ¿Qué pasaría si un carácter estuviera determinado por más de un gen?	T2	EC1 y EC2
P ₆	<input type="checkbox"/> ¿Podría aparecer un nuevo carácter en una familia?	T1	EC1, EC2, EC3
P ₇	<input type="checkbox"/> La calvicie es un asunto que preocupa más a hombres que a mujeres. ¿Por qué crees que este carácter aparece principalmente en varones?	T2	EC1 y EC2
P ₈	<input type="checkbox"/> Un grupo de personas de piel blanca colonizó una región del África del Sur. Una vez establecida su comunidad, realizaron matrimonios entre ellos. ¿Cómo crees que será la piel de los bebés que nazcan después de muchas generaciones?	T3	EC1 EC2 y EC3
P ₉	<input type="checkbox"/> Una persona expuesta al sol desarrolla cáncer de piel, ¿sus hijos tendrán cáncer de piel?.	T3	EC1 EC2 y EC3
P ₁₀	<input type="checkbox"/> ¿Cómo saber si padeceré Alzheimer?	T4	EC1 y EC2
P ₁₁	<input type="checkbox"/> Los viticultores de Arganda buscan que sus vides produzcan uvas con mayor cantidad de azúcar. ¿Cómo conseguiríamos este tipo de vides?	T4	EC1 y EC2
P ₁₂	<input type="checkbox"/> Un matrimonio tiene un hijo que se parece más al padre que a la madre. ¿Cómo puede ser esto posible?	T1	EC1 y EC2
<p>Tipos de problemas: T1 = herencia mendeliana; T2 = herencia no mendelina; T3 = herencia de caracteres adquiridos; T4 = aplicaciones biotecnológicas;</p> <p>Esquemas conceptuales: EC1 = la localización de la información hereditaria; EC2 = la herencia de padres a hijos; EC3 = la herencia de caracteres adquiridos).</p>			

Cuadro 7.10: Secuencia de los problemas abiertos de la unidad didáctica sobre “¿Soy así por puro azar?”

Para la recogida de datos se han utilizado plantillas individuales como la siguiente, donde los espacios en blanco se rellenan con las valoraciones. Como ya se ha indicado con anterioridad, y se justificará en el contraste de la Hipótesis 2, sólo se valorarán aquellos esquemas conceptuales en cursiva para cada problema.

ALUMNO/A N°													
CURSO 4º ESO IES EL CARRASCAL, CURSO 1999/2000													
VARIABLES	PROBLEMAS												
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂
METODOLOGICAS													
VM1: Análisis cualitativo	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
VM2: Emisión de hipótesis	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
VM3: Diseño de estrategias	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
VM4: Resolución	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
VM5: Análisis de resultados	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
VERBALIZACIÓN	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
CONTENIDOS													
EC1: Localización de información hereditaria	X	X	.....	.....	X	.....	.....	X	X	X	X	X	.....
EC2: Herencia de padres a hijos	X	.....	.....	.....	.....	X	.....	.....	X	X	X	X	.....
EC3: Herencia de caracteres adquiridos	X	X	X	X	X	X	.....	X	.....	.....	X	X	X

Cuadro 7.11: Plantilla de recogida de datos de la resolución de problemas.

Como ya indicamos, para el análisis estadístico de las **Hipótesis 1 y 2** se va a utilizar la técnica de **Análisis de varianza** (ANOVA) usando el **test de la F** y, posteriormente, el **test de medias de rangos múltiples**, correspondiente a un diseño factorial, (Test de **Tukey** para $\alpha = 0,05$).

En el análisis de la **Hipótesis 3** se va a utilizar un **Análisis multivariante** porque pretendemos determinar la correlación entre la variable DIC, obtenida gracias al test de figuras enmascaradas GEFT (Witkin y otros, 1987), y el resto de variables implicadas en la resolución de problemas como una investigación.

7.2.1. HIPÓTESIS 1 DE INTERVENCIÓN EN EL AULA: CONTRASTE DEL APRENDIZAJE DE LA METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO UNA INVESTIGACIÓN

La formulación de esta Hipótesis 1 es:

El desarrollo en el aula de una MRPI va a producir en los estudiantes del GEXP, al final del proceso, una evolución significativa hacia niveles de resolución más complejos de las variables metodológicas y de verbalización.

Para analizar la evolución en el aprendizaje de la MRPI, a lo largo de la resolución de problemas abiertos, vamos a valorar las resoluciones de cada uno de los estudiantes del GEXP. Las variables metodológicas (VM) se recogen en la plantilla del cuadro 7.11, y la concreción por niveles (de 0 a 3), de cada una de ellas en cada uno de los 12 problemas abiertos, se encuentra en el Anexo II. La variable de verbalización (VV), se define, según el nivel de explicitación y elaboración de cada una de las anteriores, de la siguiente forma:

Nivel 0: **nula o mínima**; cuando no se resuelve el problema o se abordan como máximo dos VM hasta un nivel máximo de 1

Nivel 1: **de escasa a suficiente**; cuando, como máximo, el nivel alcanzado en todas las VM es 1, e incluso al menos dos llegan al nivel 2

Nivel 2: **satisfactoria**; cuando todas las VM llegan como mínimo a nivel 2 (o si una VM se queda en nivel 1, al menos una o dos de las demás variables deben superar el nivel 2)

Nivel 3: **extensa**; cuando todas las VM llegan al nivel 2, y al menos 2 al nivel 3

Este análisis se va a llevar a cabo mediante la técnica ANOVA. Primero, utilizando el **test de la F**, para determinar la existencia de diferencias significativas entre los valores medios por niveles obtenidos en cada una de las variables; y, segundo, un **test de medias de rangos múltiples**, correspondiente a un diseño factorial (Test de Tukey para $\alpha = 0,05$), para indagar de forma más pormenorizada sobre las mismas. Por lo tanto, vamos a realizar dos análisis o estudios:

1. Un primer análisis conjunto de todas y cada una de las variables en todos los problemas y para todos los estudiantes. Este primer análisis nos permitirá contrastar la hipótesis.
2. Un segundo análisis más pormenorizado de cómo se produce esta evolución en el aprendizaje a lo largo de la resolución de los problemas.

A. PRIMER ANÁLISIS: ESTUDIO GLOBAL DE TODOS LOS PROBLEMAS Y VARIABLES

Para este primer análisis estadístico utilizamos el test de la F. La hipótesis nula es que no hay diferencias significativas frente a la hipótesis alternativa de que sí que las hay. Los resultados obtenidos se recogen en la tabla siguiente:

DIFERENCIAS ENTRE LOS DISTINTOS VALORES MEDIOS POR NIVELES DE:						
PROBL.	VM1	VM2	VM3	VM4	VM5	VV
48,10 ***	24,17 ***	13,29 ***	13,91 ***	4,95 ***	8,64 ***	14,61 ***
VM1 = Análisis cualitativo del problema; VM2 = Emisión de hipótesis; VM3 = Diseño de una estrategia de resolución; VM4 = Resolución; VM5 = Análisis de resultados						

Cuadro 7.12: Resultados del Test de la F. Los valores de la F con asterisco apoyan la existencia de diferencias significativas (hipótesis alternativa) dentro de cada uno de los factores (***) $p < 0,001$)

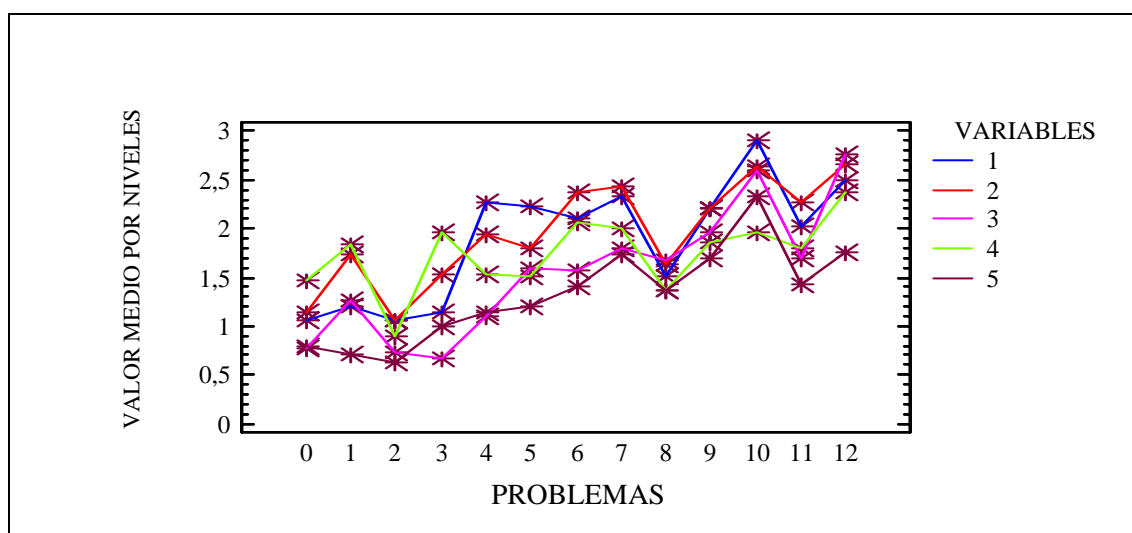
Como puede observarse se rechaza la hipótesis nula para todas los valores y, se confirma que *existen diferencias significativas entre los valores medios por niveles alcanzados por los estudiantes del GEXP, para el conjunto de todos los problemas, y para cada variable metodológica y de verbalización.* Por lo tanto, sobre el aprendizaje de la MRPI, podemos concluir que:

El desarrollo en el aula de una MRPI ha producido en los estudiantes del GEXP, al final del proceso, una evolución significativa hacia niveles de resolución más complejos de las variables metodológicas y de verbalización.

B. SEGUNDO ANÁLISIS: EVOLUCIÓN DEL APRENDIZAJE A LO LARGO DE LA RESOLUCIÓN DE LOS PROBLEMAS

En este segundo análisis vamos a estudiar los valores medios por niveles, que obtienen los estudiantes en la resolución de todos los problemas de la unidad didáctica, para cada una de las variable metodológicas (VM). Obviamos el estudio de la de verbalización (VV) por ser única y no poder realizar análisis comparativos con otras variables de su tipo.

Gracias al **test de la F** (Cuadro 7.12) sabemos que los estudiantes del GEXP han tenido una evolución significativa en el manejo de las diferentes variables metodológicas a largo de la resolución de los problemas. Además, el programa informático nos aporta esta representación gráfica del proceso de aprendizaje:



VM1 = Análisis cualitativo del problema; VM2 = Emisión de hipótesis; VM3 = Diseño de una estrategia de resolución; VM4 = Resolución; VM5 = Análisis de resultados

Grafica 7.1: Representación de los valores medios por niveles obtenidos en cada una de las variables metodológicas para cada uno de los problemas.

En la gráfica se puede observar que los valores medios por niveles para cada variable metodológica ascienden de forma global a lo largo de las pruebas, y sabemos que de forma significativa; sin embargo, no lo hacen de forma paralela. Se observan oscilaciones en la evolución de la realización de cada una de las variables.

Al trabajar en el aula con problemas, es de esperar que los últimos sean más difíciles que los primeros, y que la evolución en el aprendizaje sea gradual. Sin

embargo, nos encontramos con grandes oscilaciones asociadas a los tipos de problemas, que habíamos definido previamente siguiendo el criterio de cómo se clasifican en el ámbito escolar y el desarrollo teórico de la Genética. Las oscilaciones descendentes se producen en los primeros problemas de cada tipo (P₀, P₂, P₈); y las ascendentes en los últimos problemas de los mismos (P₁₂, P₇, P₉). En el tipo de problema 4 (Ingeniería genética o aplicaciones biotecnológicas) el orden de realización de los problemas (P₁₀, P₁₁), no es relevante porque ambos se refieren a técnicas distintas.

En nuestro caso, el grado de dificultad creciente entre un problema y el siguiente es aún mayor cuando se cambia de tipo de problema. Esta mayor dificultad al iniciar la resolución de otro tipo de problema no viene dada por la inclusión de nuevos esquemas conceptuales, excepto en los problemas de tipo 3 (herencia de caracteres adquiridos), sino por la complicación en los modelos de herencia lo que implica que los estudiantes deben tener presentes un mayor número de hipótesis posibles, y por lo tanto de estrategias de resolución. Por lo tanto, tenemos que aceptar que la división clásica entre problemas de herencia mendeliana y no, o aquellos donde se incluyan aspectos evolutivos o de ingeniería genética, tiene una razón de ser y merece un estudio aparte. Para abordar de forma completa esta situación, vamos primero a estudiar lo que pasa con cada una de las VM para posteriormente indagar las relaciones que se establecen entre los resultados y el tipo de problema.

B.1. Evolución de las variables metodológicas

Volviendo a la gráfica anterior, además de estas oscilaciones en la realización de las VM, también se observa que:

- Al final del proceso de resolución de problemas, *todas las VM, menos la VM5 (Análisis de resultados), alcanzan niveles de resolución muy altos.*
- La VM3 (Diseño de una estrategia de resolución), seguida de la VM2 (Emisión de hipótesis) y VM1 (Análisis cualitativo), son las que *mayor mejoría tienen desde su posición inicial.*
- La VM4 (Resolución) es la que *menor evolución experimenta* entre el punto inicial y final, aunque es *la variable que empieza con una valoración más alta.*

- La VM5 es la que experimenta menor evolución, *empieza con una valoración muy baja y termina siendo la peor valorada.*

Para realizar un análisis más pormenorizado vamos a completar esta gráfica con la información que nos aporta el **test de medias de rangos múltiples de Tukey**. Este estadístico realiza un contraste entre cada uno de los valores medios obtenidos en cada una de la variables, y los ordena en sentido creciente. Junto con esta ordenación, el programa incorpora una expresión gráfica del contraste realizado, donde los valores que no presentan ninguna diferencia significativa y que se consideran homogéneos aparecen en una misma columna; mientras que, los valores con diferencias significativas, aparecen en columnas distintas.

Multiple Range Tests for NOTA by VARIABLES			

Method: 95,0 percent Tukey HSD			
VARIABLES	Count	LS Mean	Homogeneous Groups

5	390	1,32308	X
3	390	1,55385	X
4	390	1,74103	X
1	390	1,88718	XX
2	390	1,95385	X

Contrast		Difference	+/- Limits

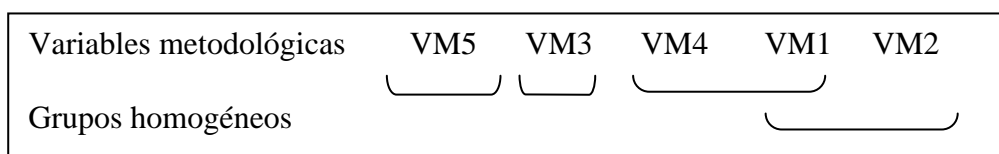
1 - 2		-0,0666667	0,168772
1 - 3		*0,333333	0,168772
1 - 4		0,146154	0,168772
1 - 5		*0,564103	0,168772
2 - 3		*0,4	0,168772
2 - 4		*0,212821	0,168772
2 - 5		*0,630769	0,168772
3 - 4		*-0,187179	0,168772
3 - 5		*0,230769	0,168772
4 - 5		*0,417949	0,168772

* denotes a statistically significant difference.			

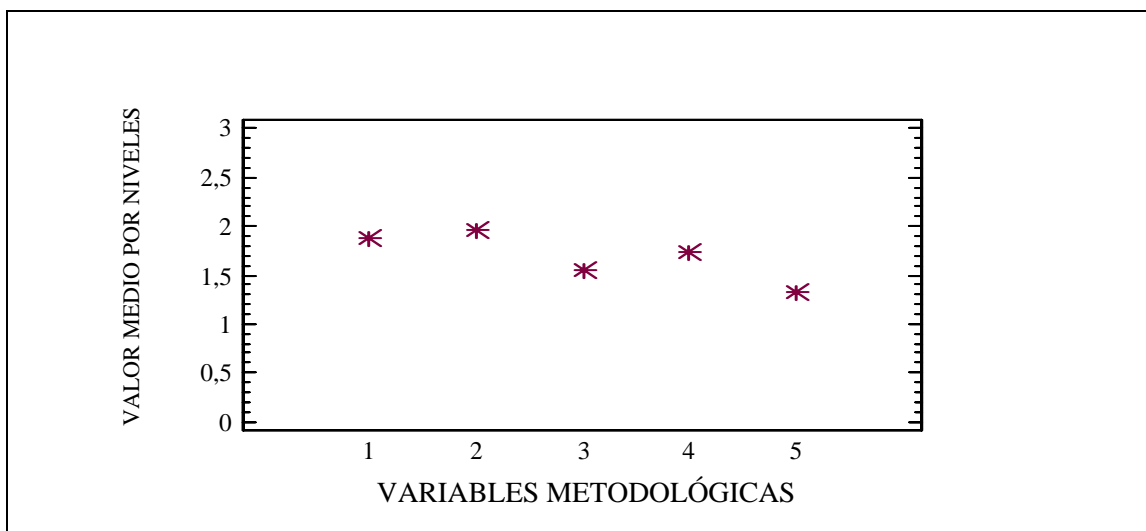
VM1 = Análisis cualitativo del problema; VM2 = Emisión de hipótesis; VM3 = Diseño de una estrategia de resolución; VM4 = Resolución; VM5 = Análisis de resultados

Cuadro 7.13: Resultados del test de medias de rangos múltiples de Tukey para el análisis de los valores medios entre variables metodológicas

A continuación recogemos una representación esquemática más sencilla de este cuadro:



Como se indica en la representación, los corchetes expresan la existencia de diferencias significativas entre los valores medios obtenidos en cada VM. La VM5 obtiene valores medios significativamente inferiores que los obtenidas por el resto. La VM2 es la que obtiene un valor medio superior, homogéneo al de la VM1. Las diferencias entre los valores medios alcanzados por cada una de las VM se observan en esta gráfica:



VM1 = Análisis cualitativo del problema; VM2 = Emisión de hipótesis; VM3 = Diseño de una estrategia de resolución; VM4 = Resolución; VM5 = Análisis de resultados

Gráfica 7.2. Representación gráfica de los valores medios por niveles obtenidos en cada una de las variables metodológicas

A partir de este análisis más pormenorizado, sobre la influencia del tipo de VM en el aprendizaje de la MRPI, podemos matizar el contraste de la Hipótesis 1 diciendo que:

La VM5 (**Análisis de resultados**) es significativamente la que *peor resultados obtiene a lo largo de la resolución de todos los problemas*. Los estudiantes realizan un análisis de resultados muy superficial, no están acostumbrados a ser críticos con lo que se les enseña en clase o con sus propios resultados, y no tienen criterios científicos para determinar la validez de un resultado (Reif y Larkin, 1991); y, por eso, esta variable presenta un grado de dificultad mayor. Varela (1994), en su trabajo sobre la aplicación de la MRPI en el ámbito de la Física, llega a resultados similares, porque en esta variable era donde su muestra obtenía peores resultados.

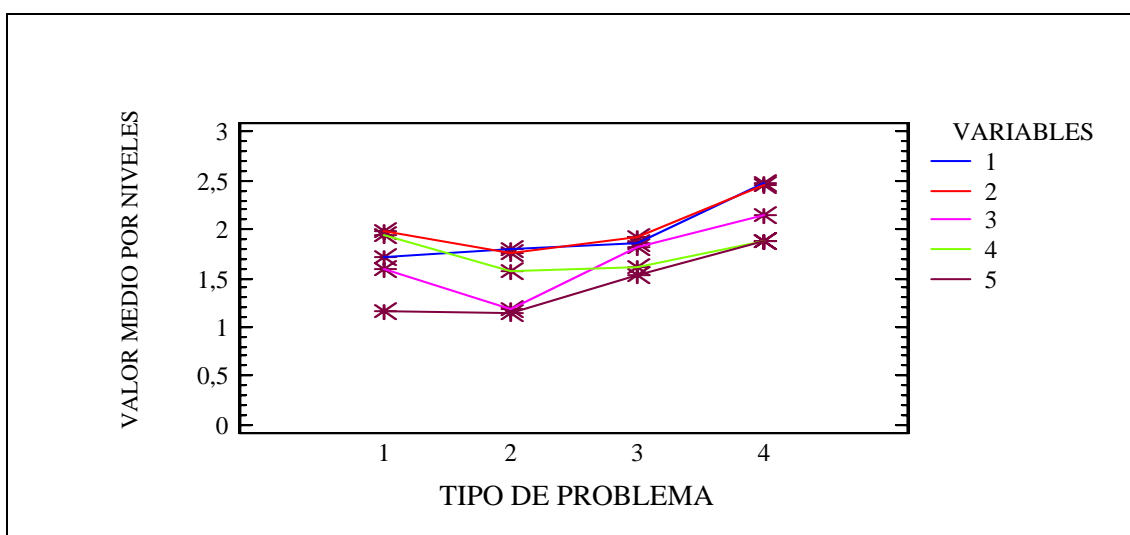
La VM3 (**Elaboración de una estrategia de resolución**) y VM4 (**Resolución**), *aunque están muy relacionadas, presentan diferencias significativas*. Los estudiantes realizan mejor la resolución que la explicación de cómo van a resolverlo. Es muy común en el aula, sobre todo en asignaturas como Matemáticas o Física, que los estudiantes resuelvan un problema pero no expliquen por qué lo han resuelto siguiendo ese camino. Esta falta de diseño previo de la resolución, puede estar en la base de lo que las investigaciones en este campo han puesto de manifiesto: muchos estudiantes resuelven mal los problemas e incluso incluyen datos que aparecen en el enunciado y que no necesitan (Kempa, 1986). También es de destacar, que la valoración media de la VM4 se debe a que desde el primer problema los estudiantes realizan bien esta fase de la MRPI. Incluso, su mejoría, aunque significativa, es menor que en otras variables (gráfica 7.1). Podemos aventurar que en *los problemas de Genética, y de Biología en general, el proceso de resolución no implica grandes dificultades en los estudiantes porque es una actividad a la que están acostumbrados y que no requiere el uso de algoritmos complejos como en Física y Química* (Martínez Aznar y otros, 2001).

Las VM1 (**Análisis cualitativo**) y VM2 (**Emisión de hipótesis**) *son las que obtienen los mejores valores medios, y entre sus valoraciones no hay diferencias significativas*. Estas variables están muy relacionadas porque la profundidad del análisis cualitativo del problema condiciona la validez de la hipótesis. Los estudiantes obtienen valores medios algo más altos en la VM2 porque, sin necesidad de un análisis muy completo, pueden plantear una suposición sobre lo que se espera y que ésta se ajuste a lo más posible y científicamente probable ya que, en su vida diaria, la influencia y el uso de conocimientos sobre diversos aspectos biológicos es habitual. Por ello, es en esta VM2 donde se aprecian grandes diferencias con otros trabajos sobre la resolución de problemas abiertos. En el ámbito de la Física (Varela, 1994), esta variable obtuvo resultados por debajo de la media obtenida para el resto de las VM.

B.2. Evolución de las variables metodológicas según el tipo de problema

La gráfica 7.1 reflejaba la existencia de una interacción entre el factor tipo de problema y, los valores medios por niveles de los problemas para todas las VM. Para determinar si ésta es significativa, hemos utilizado el **test de la F** obteniendo un valor del estadístico de 2,99. Este valor apoya *la existencia de una dependencia significativa* ($p < 0,001$) entre el nivel de resolución de los problemas y el tipo de problema.

Gráficamente, el programa informático nos muestra esta interacción:



Variables: VM1 = Análisis cualitativo del problema; VM2 = Emisión de hipótesis; VM3 = Diseño de una estrategia de resolución; VM4 = Resolución; VM5 = Análisis de resultados
Tipos de problemas: T1 = Herencia mendeliana, T2 = Herencia no mendeliana, T3 = Herencia de caracteres adquiridos, T4 = Ingeniería genética o aplicaciones biotecnológicas

Gráfica 7.3: Representación de las interacciones entre los valores medios por niveles obtenidos para cada una de las variables metodológicas y el tipo de problema.

Esta gráfica nos permite observar que, de forma general, los niveles de resolución alcanzados por los estudiantes van aumentando gradualmente desde el tipo de problema 1 al 4 (secuencia de realización), a excepción del tipo 2 (herencia no mendeliana) que obtiene valoraciones inferiores en la mayoría de las VM.

También, nos permite ver que el grado de realización de algunas variables metodológicas se ve afectado de forma singular por el tipo de problema. Las variables metodológicas VM1, VM2 y VM5 van evolucionando de forma gradual de uno a otro

tipo de problema; por lo tanto el grado de dificultad entre los distintos tipos de problemas no es conceptual, como ya se había indicado. Sin embargo la VM3 (Diseño de estrategia de resolución) sufre un descenso brusco en los problemas sobre herencia mendeliana donde los estudiantes tienen que desarrollar nuevas estrategias para poder resolver estos problemas. por otra parte la VM4 (Resolución) obtiene mejores resultados en los primeros problemas porque el modelo de herencia mendeliana es más fácil de resolver que cualquier otro.

Para realizar un análisis más pormenorizado sobre la influencia del tipo de problema en el aprendizaje de la MRPI, vamos a utilizar el **test de medias de rangos múltiples de Tukey**. Como ya hemos indicado este estadístico realiza un contraste entre los valores medios obtenidos en cada uno de los problemas y los ordena en sentido creciente, agrupando en columnas aquellos que son homogéneos.

Multiple Range Tests for VALOR MEDIO POR NIVELES by PROBLEMAS			

Method: 95,0 percent Tukey HSD			
PROBLEMAS	Count	LS Mean	Homogeneous Groups

2	150	0,88	X
0	150	1,04667	XX
3	150	1,26	XX
1	150	1,34667	XXX
8	150	1,50667	XX
4	150	1,59333	XXX
5	150	1,66667	XXX
11	150	1,84667	XXX
6	150	1,89463	XXX
9	150	1,98667	XX
7	150	2,06	X
12	150	2,41333	X
10	150	2,48667	X

Cuadro 7.14: Resultados del test de medias de rangos múltiple de Tukey para el análisis de los valores medios por niveles obtenidos para el conjunto de todos los problemas.

La interpretación de los datos que aporta este estadístico puede resultar, en principio, compleja; pero, por otra parte, es muy gráfica, y lo primero que se aprecia es que *los problemas no aparecen ordenados según la secuencia de realización sino de acuerdo al valor de la media*.

Para facilitar la lectura de esta tabla, vamos a generar una representación que aporte alguna clave más para su interpretación como el tipo de problemas, el orden de realización de los mismos, y unas barras longitudinales que agrupan al conjunto de problemas que son homogéneos porque sus valores de resolución, aunque distintos, no presentan diferencias significativas.

TIPO DE PROBLEMA				ORDEN PROBLEMAS SEGÚN SUS VALORES MEDIOS	GRUPOS HOMOGÉNEOS
T. 1	T. 2	T. 3	T. 4		
1°	1°	1°	2°	2	
	0				
2°	2°			3	
	1				
3°	3°			8	
	4°			4	
	5°			5	
	2°			11	
	3°			6	
4°	5°			2°		9
	2°	7			
	1°	12			
			1°	10	4°

Tipos de problemas: T1 = Herencia mendeliana, T2 = Herencia no mendeliana, T3 = Herencia de caracteres adquiridos, T4 = Ingeniería genética o aplicaciones biotecnológicas

Cuadro 7.15: Interpretación del contraste realizado por el test de Tukey ($\alpha = 0,05$) incluyendo datos sobre el tipo de problema (T.1, T.2,...) y orden de realización (1°, 2°,...). El conjunto de problemas que tienen valoraciones sin diferencias significativas aparecen unidos verticalmente por una barra vertical.

Para interpretar correctamente los grupos de homogeneidad vamos, a poner un ejemplo. Los valores medios obtenidos por los estudiantes en el problema 2 y el 0 no presentan diferencias significativas y se debe considerar que los valores medios de los primeros problemas del tipo 1 y 2 son homogéneos. Sin embargo, los valores medios obtenidos por los estudiantes en el problema 2 y en el 3 están en distintos grupos de homogeneidad y, por lo tanto, aceptamos que existe una mejoría significativa en el nivel de resolución entre el primer y el segundo problema del tipo 2.

Si nos fijamos en las columnas de la izquierda de esta representación gráfica, vemos que *el orden de realización de los problemas, dentro de cada tipo de problema, coincide con la ordenación por valores medios y éstos aumentan de forma significativa desde los problemas iniciales de cada tipo hasta los finales.*

El tipo de problema 4 es una excepción porque los estudiantes realizan mejor el 1º que el 2º. Estos dos problemas son peculiares. Por una parte, el problema 10 obtiene la mejor nota media junto con el último problema, el 12, con el que no presenta diferencias significativas. La razón que explica este resultado, además del hecho de tratarse de los últimos problemas realizados, es que en la resolución del P₁₀ los estudiantes podían aplicar la técnica del diagnóstico genético. El juego de simulación que se utilizó, para que entendieran este proceso (un caso de paternidad), fue muy relevante para ellos, tanto por la dinámica de la propia actividad como por el hecho de que, 22 de los 30 alumnos del GEXP, participaron con ella en la I Feria Madrid por la Ciencia (5-7 de Mayo de 2000). Por otra parte, el problema 11 obtiene una valoración muy baja para ser uno de los últimos problemas que se realizan. Este problema gira en torno a la posible utilización de otra técnica biotecnológica, la obtención de seres vivos transgénicos. En este caso, la obtención de uvas más dulces, suponía tener en cuenta que la investigación no terminaba en el laboratorio (nivel 2 de resolución), y que las nuevas variedades de vides obtenidas debían ser llevadas al campo para controlar su viabilidad (nivel 3 en VM3, VM4, VM5). Este tipo de planteamiento de investigación en el campo aún no se les había presentado a los estudiantes que, en su mayoría, se quedaron en un nivel 2 de resolución.

A partir de este análisis pormenorizado sobre la influencia del tipo de problema en la evolución de las VM, el contraste de la Hipótesis 1 se ve ampliado en los siguientes matices:

- Al estudiar los problemas por tipos, se puede concluir que *la evolución en el aprendizaje de la MRPI, hacia niveles de resolución más complejos, es significativa dentro de cada tipo de problema: herencia mendeliana, herencia no mendeliana y herencia de caracteres adquiridos.*
- Para los estudiantes del GEXP, *la dificultad en la resolución de un determinado tipo de problema estriba en la necesidad de buscar un nuevo patrón o modelo de herencia para resolverlo.*

Los problemas que peores valoraciones obtienen son los de herencia no mendeliana porque, este tipo de herencia, puede seguir distintos patrones como que los

genes tuviesen más de dos alelos; o que los alelos no fuesen claramente dominantes o recesivos; o que los genes estuviesen en los cromosomas sexuales y, por lo tanto, ligados al sexo del individuo. Sin embargo, la valoración media obtenida en el último problema de este tipo (P₇) se acerca a la de los últimos de otros tipos (Cuadro 7.14).

Algunos autores consideran que los contenidos de Genética, y con más razón este tipo de problemas, superan las destrezas cognitivas de los alumnos de esta edad (Lawson, 1983; Mitchell y Lawson, 1988). Sin embargo, la evolución mostrada por los estudiantes del GEXP permite afirmar que sí son capaces de abordar estos problemas cuando se les permite desarrollar las destrezas necesarias para superar las dificultades que plantean.

- Los estudiantes, al realizar el primer problema de un nuevo tipo de herencia, retroceden en su nivel de resolución; pero sin llegar, en ningún caso, a los valores de resolución iniciales de tipos anteriores. Estos resultados nos permiten asegurar que *los estudiantes del GEXP han sido capaces de realizar el proceso de transferencia de una metodología aprendida en un tipo de problema a otros problemas de diferente tipo*. En esta fase de extrapolación de conocimientos, desde un tipo de problema a otro, los estudiantes se han tenido que enfrentar a las correspondientes dificultades iniciales. Al final, no sólo las han superado sino que, han conseguido mejorar su forma de resolver los problemas posteriores.

Esta transferencia de conocimientos desde un tipo de problema a otro también ha sido identificada en otros trabajos. Varela (1994) en su investigación sobre la resolución de problemas abiertos de Física, pudo identificar cómo los estudiantes eran capaces de extrapolar las estrategias metodológicas aprendidas en la resolución de problemas de Mecánica a los problemas de Electricidad; e incluso, tras un periodo tiempo de adaptación al nuevo campo, consiguieron un mayor progreso en la resolución de estos últimos.

C. CONCLUSIONES ACERCA DE LA HIPÓTESIS 1

A modo de síntesis, podemos concluir que los estudiantes evolucionan de forma significativa en el aprendizaje de la MRPI, destacando que:

- ✓ Los estudiantes son capaces de aplicar la MRPI a distintos tipos de problemas de Genética, según el modelo de herencia implicado, y según los marcos teóricos necesarios para su resolución. En este proceso de extrapolación, de unos conocimientos conceptuales y de procedimientos a distintos ámbitos, no se producen retrocesos significativos.
- ✓ La verbalización del proceso de resolución aumenta de forma significativa desde los primeros a los últimos problemas.
- ✓ En la resolución de problemas de Genética, los estudiantes, a priori, parten de niveles de realización de las VM4 (Resolución) y VM2 (Emisión de hipótesis) muy altos. Los problemas cotidianos que tienen una base biológica son frecuentes en la vida diaria de los ciudadanos (salud, uso de medicamentos, hábitos alimenticios, etc.), por ello a los estudiantes les resulta más fácil aventurar hipótesis e intentar dar una solución a problemas de Biología. La solución del problema, además, se ve facilitada porque no requiere del uso de algoritmos.
- ✓ En la resolución de problemas, las variables metodológicas en las que más evolucionan los estudiantes desde los primeros a los últimos problemas son el Análisis cualitativo del problema (VM1) y la Elaboración de una estrategia de resolución (VM3). En ambas cabe destacar la importancia fundamental que tiene la reflexión, íntimamente relacionada con el metaprendizaje y la metacognición.
- ✓ La VM5 (Análisis de resultados) es la que supone una mayor dificultad quizás debido a que implica mayores exigencias cognitivas. Sin embargo, los estudiantes, dentro de las limitaciones de su edad y su nivel de desarrollo cognitivo en el que se encuentran, son capaces de evolucionar de forma estadísticamente significativa desde sus análisis iniciales a los finales.

7.2.2. HIPÓTESIS 2 DE INTERVENCIÓN EN EL AULA: CONTRASTE DEL CAMBIO CONCEPTUAL

La formulación de esta Hipótesis 2 es:

El desarrollo en el aula de una MRPI va a producir en los estudiantes del GEXP, al final del proceso, un cambio conceptual respecto a los contenidos de Genética y herencia humana, que se manifiesta en el uso de esquemas conceptuales más próximos a los defendidos actualmente por la Ciencia

Para analizar el cambio conceptual producido en los estudiantes, vamos a valorar el uso que hacen de los esquemas conceptuales (EC) que se requieren para la resolución de los problemas abiertos de la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?”. Vamos a utilizar el término esquema conceptual cuando nos referimos a la estructura cognitiva que utiliza un estudiante en su explicación sobre un proceso relacionado con la herencia, y el de variable de contenido (VC) cuando nos refiramos a ellos dentro del proceso de análisis de resultados. Por lo tanto, las VC que se van a tener en cuenta son:

VC1 : Localización de la información hereditaria.

VC2 : La herencia de padres a hijos.

VC3 : La herencia de caracteres adquiridos.

En el Apartado 5.3.2., dentro del diseño de la unidad didáctica, ya se justificó el proceso de definición de los esquemas conceptuales y sus niveles de complejidad según la coherencia interna de las explicaciones dadas y, su cercanía a los aceptados por la comunidad científica. Como recordatorio, se recoge de nuevo el Cuadro 5.13, para que podamos tenerlo presente en este análisis.

ESQUEMA CONCEPTUAL	NIVEL	TIPO DE EXPLICACIONES
EC1: La localización de la información hereditaria	1	La información hereditaria se encuentra en algunas estructuras (genes, ADN, células sexuales) sin relación entre sí.
	2	La información hereditaria se encuentra en los cromosomas sexuales (XX para la mujer, y XY para el varón) de los gametos.
	3	La información hereditaria se encuentra en los cromosomas que hay en los núcleos de las células. Un par de estos cromosomas se llaman cromosomas sexuales.
EC2: La herencia de padres a hijos	1	Un hijo puede recibir más información genética de uno de sus padres, sobre todo los hijos de los padres y las hijas de las madres. Además la herencia de algunos caracteres presenta saltos, pasando de los abuelos a los nietos.
	2	Los hijos reciben la mitad de la información hereditaria de cada uno de sus padres (cromosomas). Aunque pueden recibir más caracteres físicos de uno, y más psicológicos de otro, por ejemplo. Sus padres, a su vez, recibieron información genética de los abuelos.
	3	Los hijos reciben la mitad de la información hereditaria del padre y de la madre (cromosomas) a través de los gametos. Por lo tanto para cada carácter presentan dos alelos, uno de cada padre, y manifiestan aquel que sea dominante. A veces se manifiestan caracteres recesivos que los padres portaban sin manifestarlos.
EC3: La herencia de caracteres adquiridos	1	El medio ambiente modifica la información genética siempre que el cambio sea importante para sobrevivir (color de piel). Estos cambios se heredan, poco a poco, de generación a generación.
	2	Sólo se heredan nuevos caracteres, provocados por el ambiente, si se ha producido una mutación en la información genética de las células, o ya estaban en otros antepasados y se ha producido un salto.
	3	Sólo se heredan nuevos caracteres, provocados por el ambiente, si las mutaciones se han producido en los gametos, o si la información genética ya estaba presente (recesiva) en el individuo.

A lo largo de la resolución del conjunto de problemas de la unidad didáctica, los estudiantes se enfrentan de forma variada a estos esquemas conceptuales. Sin embargo, no todos abordan necesariamente, o con la misma profundidad, los tres esquemas conceptuales. A continuación, se especifica qué problemas se van a utilizar, en el estudio del cambio conceptual, para cada una de las variables de contenido:

VC1: La localización de la información hereditaria. Vamos a analizar los problemas donde el uso del EC1, necesariamente, debe ser más explícito: **P₂**, **P₃**, **P₅**, **P₆** y el problema final de evaluación **P₁₂**. Los problemas **P₀**, y **P₁**, no han sido utilizados porque, en el primero, se trabaja con un árbol genealógico y sólo con los conocimientos de la época de Mendel; y, en el segundo, aunque los estudiantes deban introducir la teoría cromosómica, no lo hacen y se limitan a describir la información del árbol genealógico. El problema **P₄** no se ha utilizado porque los genes se localizan en los cromosomas sexuales, hecho que distorsiona la percepción de este EC1. Lo mismo ocurre con el problema **P₇**, ya que muchos estudiantes consideran que el gen de la calvicie está en uno

de los cromosomas sexuales. Por último, los problemas sobre herencia de caracteres adquiridos, tampoco se van a usar porque los estudiantes utilizan razonamientos y resoluciones donde no siempre es fácil determinar el nivel de uso de este EC; y, cuando se puede hacer, coincide con los niveles de coherencia ya adquiridos por cada uno de ellos en problemas anteriores, o con el que presentan en el problema de evaluación.

VC2: La herencia de padres a hijos. El uso de este esquema conceptual es prácticamente necesario para la resolución de cualquier problema. Se van a tomar como referencia los problemas **P₁, P₂, P₃, P₄, P₆, P₇, P₁₂**. En algunos problemas, como el P₅, es difícil definir niveles en este EC2, porque muchos estudiantes lo han resuelto realizando las diferentes combinaciones de genotipos y fenotipos posibles, sin entrar en la herencia de padres a hijos. Por último, sobre los problemas de herencia de caracteres adquiridos hemos tomado la misma decisión que en la VC anterior porque nos hemos encontrado con los mismos condicionantes.

VC3: La herencia de caracteres adquiridos. Este EC3 es específico de los problemas **P₈, P₉**; aunque, también se puede valorar en el **P₆** según el tipo de resolución planteada por los estudiantes (carácter recesivo que se manifiesta o mutación).

En cuanto a los problemas P₁₀ y P₁₁ no se van a utilizar para valorar ninguno de los EC porque en su resolución, la mayoría de los estudiantes, han aplicado las nuevas tecnologías genéticas, y han trabajado con la base molecular de la herencia, el ADN. Por lo tanto, en la mayoría de las resoluciones, es difícil determinar niveles de categorización para cada uno de los esquemas conceptuales definidos.

En un primer análisis vamos a estudiar los resultados obtenidos por los estudiantes en el uso de cada una de las VC. Posteriormente, nos plantearemos si es posible establecer interacciones entre los grados de consecución de las tres VC.

A. ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN EN EL APRENDIZAJE DE LAS VARIABLES DE CONTENIDO

Una vez delimitadas las variables de contenido, y los problemas en los que se estudian, debemos determinar si existe una diferencia significativa, desde el principio al final del proceso de resolución de problemas, en el nivel de uso que los estudiantes hacen de cada una de ellas. Para ello, hemos aplicado el **test de la F**. La hipótesis nula del estadístico es que no hay diferencias significativas frente a la hipótesis alternativa de que sí las hay. Los resultados obtenidos se recogen en la tabla siguiente:

DIFERENCIAS ENTRE LOS DISTINTOS VALORES MEDIOS POR NIVELES DE:		
VC1	VC2	VC3
66,56 ***	6,17 ***	5,68 **

VC1 = la localización de la información hereditaria; VC2 = la herencia de padres a hijos; VC3 = la herencia de caracteres adquiridos

Cuadro 7.16: Datos obtenidos por el Test de la F. Los valores de la F con asterisco apoyan la existencia de diferencias significativas estadísticas (hipótesis alternativa) dentro de la VC (**p < 0,01; ***p < 0,001).

Como se puede observar se rechaza la hipótesis nula para todas las VC y se puede considerar que *existen diferencias significativas entre los valores medios por niveles alcanzados por los estudiantes del GEXP para cada una de las variables de contenido*. Por lo tanto concluimos que:

El desarrollo en el aula de una MRPI ha producido en los estudiantes del GEXP, al final del proceso, un cambio conceptual respecto a los contenidos de Genética y herencia humana, que se manifiesta en el uso de esquemas conceptuales más próximos a los defendidos actualmente por la Ciencia

Ahora, queremos pormenorizar este análisis para indagar en qué momento se produce ese salto significativo en el uso de los EC y, en qué ha consistido. Para ello, **aplicaremos el test de rangos múltiples de Tukey**, que realiza un contraste entre cada uno de los valores medios obtenidos, en cada una de las VC, y los ordena en sentido creciente. Recordamos, que junto con esta ordenación, el programa incorpora una expresión gráfica del contraste realizado, donde los valores que no presentan ninguna diferencia significativa y que se consideran homogéneos aparecen en una misma

columna; mientras que, los valores con una diferencia significativa, aparecen en columnas distintas.

A continuación se recogen los análisis comparativos de cada una de las VC.

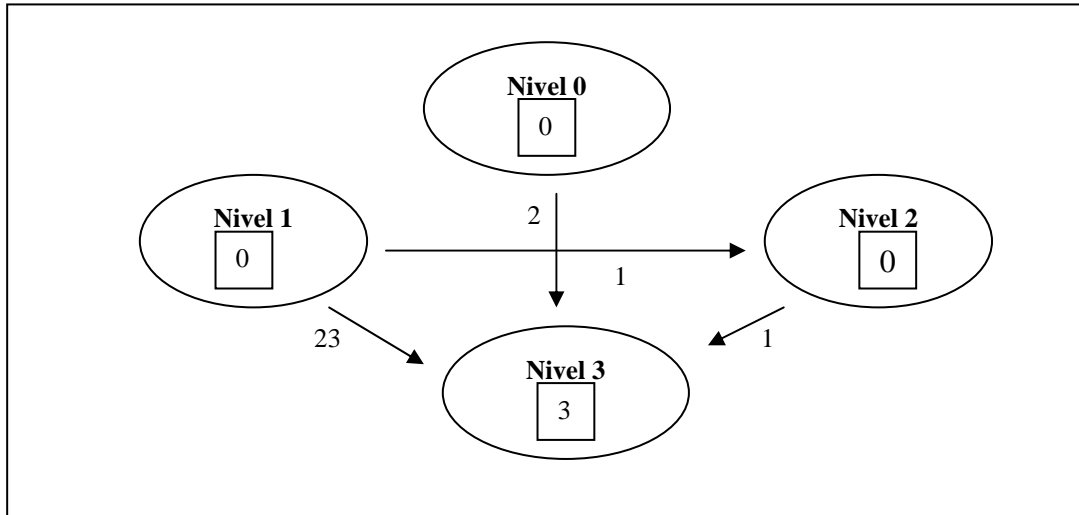
A.1. Análisis de la VC1: la localización de la información hereditaria

Los resultados de la existencia de una diferencia significativa entre las medias, que nos aporta el test de Tukey, se pueden expresar esquemáticamente de la siguiente forma:

Problemas (VC1)	2	3	6	5	12
Grupos homogéneos	└───┘		└───┘		

Los resultados indican que existe una progresión hacia el uso de niveles de coherencia mayor desde el primer problema realizado hasta el último. Es de destacar que, tras los dos primeros problemas, aparecen diferencias significativas en el uso de este esquema conceptual, hacia niveles más cercanos a la visión científica actual y se mantiene a lo largo de la unidad didáctica.

Acompañamos este análisis con un esquema que permite identificar el número de alumnos que se mueven de un nivel a otro dentro de este esquema conceptual. Este tipo de representación ha sido utilizada por Osborne y otros (1990) en estudios sobre el cambio de ideas en los estudiantes; y, en cada elipse, se representa uno de los niveles de coherencia en el uso del esquema conceptual; en el cuadrado, dentro de la elipse, se encuentra el número de estudiantes que se han mantenido en el mismo nivel; y las flechas indican el movimiento de estudiantes entre niveles y su número.

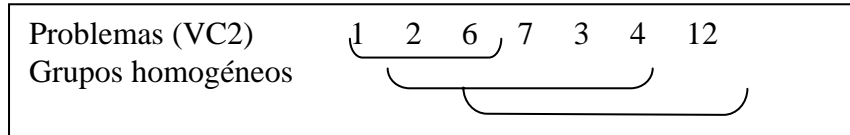


Cuadro 7.17: Representación del movimiento de los estudiantes del GEXP entre los diferentes niveles de coherencia del esquema conceptual 1 (Localización de la información hereditaria) desde el inicio hasta el final del proceso de resolución de problemas dentro de una MRPI.

Como podemos ver la gran mayoría de estudiantes empiezan en un nivel 1 (24 estudiantes, el 80%) con ideas confusas sobre la localización de la información hereditaria (niveles en p. 388). Ésta se encuentra en genes, o en células, o...; sin embargo, no tienen claro qué relación se establece entre estas estructuras y dónde se localizan. Este nivel de partida se corresponde con los datos iniciales que se tenían del GEXP (Cuadro 7.5), antes del desarrollo de la unidad didáctica. En la prueba inicial de conceptos de Genética, reconocían, de forma mayoritaria, que los seres vivos están formados por células; sin embargo, de igual forma pensaban que no todos tenían información hereditaria. Las células podían tener cromosomas y no información genética; o viceversa. Al final de la unidad didáctica, en la resolución del último problema, la totalidad de los estudiantes (menos 1 en nivel 2) manejan este esquema conceptual con un nivel 3. Asocian la información genética con cromosomas que se encuentran en los núcleos de las células de las personas.

A.2. Análisis de la VC2: la herencia de padres a hijos

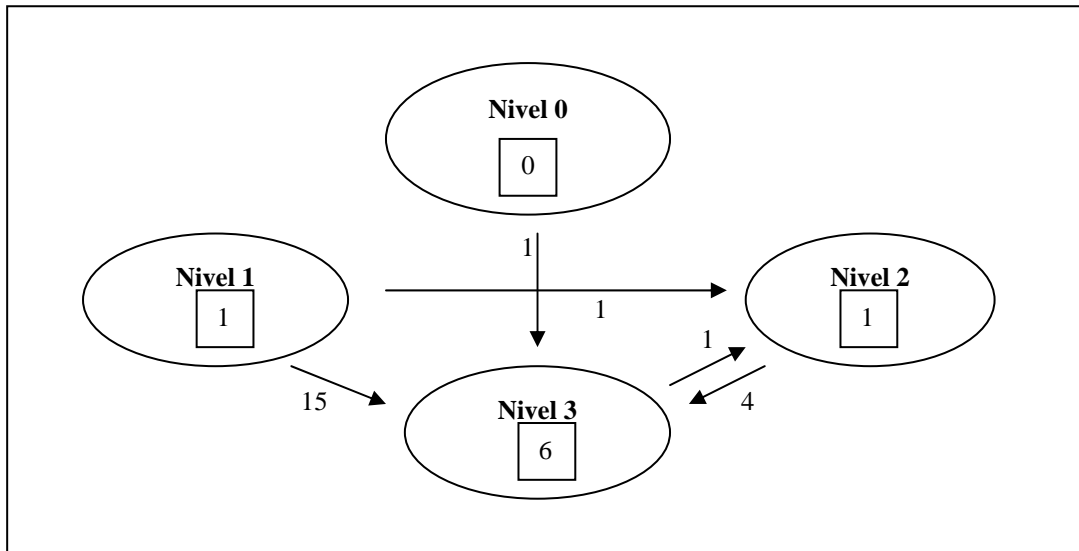
Los resultados de la existencia de una diferencia significativa entre las medias, que nos aporta el test de Tukey, se pueden representar de la siguiente forma:



Los resultados indican que sólo entre los primeros y el último problema realizado hay una diferencia significativa en el uso de este esquema conceptual hacia niveles más cercanos a la visión científica actual. Los valores medios del resto de los problemas intermedios van aumentando de forma muy gradual y se pueden considerar homogéneos.

Podemos destacar de este análisis que, los problemas P_6 y P_7 , aunque en su valoración no presenten diferencias significativas con el P_3 y P_4 , obtienen valores medios más bajos a pesar de haberse realizado con posterioridad. La explicación, a esta aparente regresión en el aprendizaje realizado por los estudiantes, está en el hecho de que ambos problemas se prestan a numerosas interpretaciones, y por lo tanto posibles resoluciones. El P_6 , sobre la aparición de nuevos caracteres en una familia, puede resolverse como una herencia de padres a hijos de un carácter recesivo que aún no se había manifestado, o como un carácter nuevo, no presente en los padres, que surge por una mutación. Por lo tanto, los estudiantes que han optado por una mutación han podido ser asignados a niveles inferiores de uso del EC porque no han explicado de forma muy clara su interpretación de la herencia de padres a hijos para ese caso. El P_7 , sobre la calvicie y el sexo masculino, también permite resoluciones diversas. Algunos estudiantes han localizado el gen de la calvicie en el cromosoma X, otros en el Y, y otros lo han asociado a cuestiones hormonales o ambientales que influyen en la manifestación fenotípica del carácter. Esta variedad en los planteamientos de resolución ha podido afectar, igual que en el problema anterior, a la profundidad con la que los estudiantes han reflejado sus ideas sobre la herencia de padres a hijos.

En cuanto a la evolución individual de los estudiantes del GEXP, entre los diferentes niveles de uso de este esquema conceptual, nos puede ayudar la siguiente representación:



Cuadro 7.18: Representación del movimiento de los estudiantes del GEXP entre los diferentes niveles de coherencia del esquema conceptual 2 (Herencia de padres a hijos) desde el inicio hasta el final del proceso de resolución de problemas dentro de una MRPI.

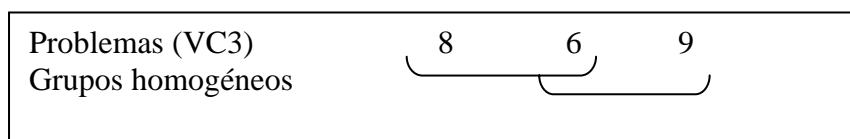
Como podemos ver, algo más de la mitad de los estudiantes (17 alumnos, el 56,66%) parten de un nivel 1 de uso del esquema conceptual, y el resto se reparten entre niveles 2 y 3 (niveles en p. 388). Los resultados que se obtuvieron en la prueba inicial de conceptos de Genética (Cuadro 7.5) no coinciden exactamente con estos porque la mayoría de estudiantes, antes de iniciar la unidad didáctica, consideraban que un hijo recibía la misma información genética de cada uno de sus padres, y a la hora de explicar el mayor parecido de un hijo a uno de sus padres pensaban que “el hijo manifiesta o utiliza más la información de uno de ellos”. Por otra parte, también justificaban que “el hijo de una pareja puede tener ojos azules, aunque los padres sólo lleven información hereditaria de color de ojos marrón, porque puede haber algún antepasado en la familia que tuviera ojos azules” y no elegían la opción de “los padres de ojos marrones también llevan información para azul”. Según estas contestaciones podíamos dudar sobre su nivel inicial de uso de este EC, e incluso pensar que partían de un nivel 2 como mínimo. Ahora, los mismos estudiantes, al enfrentarse a los primeros problemas abiertos, demuestran que no era tan evidente para ellos que los hijos reciban la mitad de información de cada uno de sus padres. No tenemos que olvidar que las pruebas

iniciales eran cerradas y los estudiantes elegían, entre varios discriminantes, aquellos que se ajustaban más a lo que pensaban. Sin embargo, en una prueba abierta, los estudiantes deben reflexionar sobre sus conocimientos y crear su propia respuesta, que se ajustará más a sus propias creencias.

Al final de la unidad didáctica, con el último problema, todos los estudiantes, menos 3, se encuentran en el nivel máximo de utilización de este esquema conceptual. La mayoría de los estudiantes reconocen que cada persona recibe la mitad de la información hereditaria de cada uno de sus padres. Esto quiere decir que para cada carácter los individuos tienen dos informaciones posibles, que podrán manifestar o no, según sean dominantes o recesivas entre sí.

A.3. Análisis de la VC3: la herencia de caracteres adquiridos

Esta es la representación esquemática, que nos aporta el test de Tukey, de la existencia de una diferencia significativa entre los valores medios para esta VC:

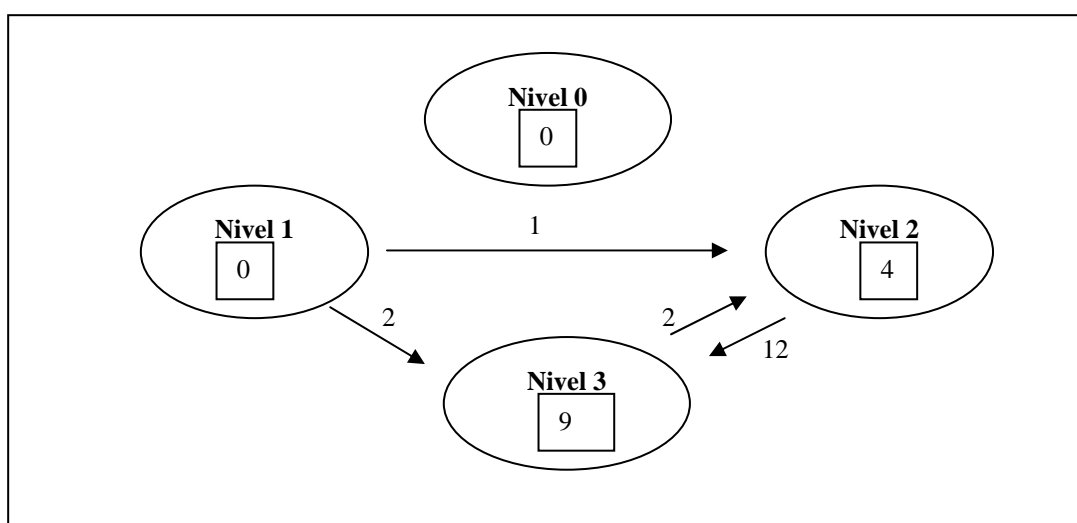


Los resultados indican que se produce una mejora significativa en el uso de este EC entre la resolución del P₈ y del P₉, que son los dos problemas que se centran específicamente en aspectos relativos a la herencia de caracteres adquiridos.

El P₆ es un problema que se realiza con anterioridad y, desde el punto de vista conceptual puede resolverse, como ya se ha indicado, desde diversos supuestos. La valoración media del mismo es intermedia entre los dos problemas anteriores y no presenta diferencias significativas respecto a ninguno. El por qué de la valoración más alta, del P₆ frente al P₈, se encuentra en que, parte de los estudiantes, lo resuelven bajo el supuesto de que en una familia podían aparecer caracteres nuevos porque se manifestaban los alelos recesivos, hasta entonces ocultos por los dominantes. Este planteamiento refuerza el EC3 porque parte de la premisa de que sólo se hereda lo que se tiene en la información genética, y por lo tanto, que no puede aparecer aquello que no está con anterioridad. Sin embargo, estos mismos estudiantes, frente al problema de la

influencia del clima en la coloración de la piel, presentan un mayor grado de incertidumbre. Aún así, esa diferencia no es estadísticamente significativa. Lo que sí es significativo es que esa duda o incertidumbre ha disminuido al realizar el último problema de este tipo.

Como los problemas que, de forma específica, se diseñaron para este EC3 son el P₈ y P₉ y, además, son los que presentan diferencias significativas, se toman como referencia para el estudio de la evolución individual de los estudiantes del GEXP entre los diferentes niveles de uso del esquema.



Cuadro 7.19: Representación del movimiento de los estudiantes del GEXP entre los diferentes niveles de coherencia del esquema conceptual 3 (Herencia de caracteres adquiridos) desde el P₈ hasta el P₉.

Al resolver el P₈, la gran mayoría de los estudiantes se encuentran en un nivel 2 (53,33%) o 3 (36,66%) (niveles en p. 388). Esta situación de partida es totalmente diferente a la que presentaban los estudiantes en la prueba inicial de contenidos de Genética (Cuadro 7.5). En la misma, la mayoría (60%) pensaban que los bebés de padres de piel blanca, que nazcan en África, lo harán con la piel más morena, y casi un 25% no tenía claro lo que podía pasar. La explicación que daban es que se producen cambios entre padres e hijos de generación en generación, o que el clima modifica la información genética. Estos estudiantes, antes de iniciar la unidad didáctica, reflejaban ideas que se ajustan a niveles de coherencia 1, o como mucho 2. Sólo 5 estudiantes, en estas pruebas iniciales, respondían ajustándose a las concepciones científicas actuales al

pensar que el color de piel es igual que el de los padres porque el clima no puede variar la información hereditaria.

La pregunta que se nos plantea es por qué estos estudiantes han mejorado tanto en su concepción sobre la herencia de caracteres adquiridos antes de que empiecen a trabajar con los problemas relativos a este esquema conceptual. La respuesta se encuentra en que todo el aprendizaje anterior les aporta una base conceptual que, ante el nuevo conflicto cognitivo, se refuerza y les impide mantener una creencia como la de que los caracteres adquiridos se heredan, o que el ambiente modifica la información hereditaria.

Al final del desarrollo de la unidad didáctica el 76,66% de los estudiantes se encuentran en un nivel 3 de uso de este esquema conceptual, y el resto en un nivel 2. Esto significa que la mayoría de los estudiantes piensan que los caracteres adquiridos a lo largo de la vida de un individuo, y que no están presentes en la información genética recibida de los padres, no se pueden heredar. También consideran que sólo las mutaciones que se producen a nivel de los gametos pueden ser heredadas. Sólo un pequeño porcentaje de alumnos sigue considerando que cualquier mutación, independientemente de dónde se produzca, se puede transmitir a la descendencia.

Este último análisis nos lleva a pensar que, el nivel de coherencia en el uso del EC3, se ha visto afectado por el cambio conceptual experimentado por los estudiantes en los otros dos esquemas anteriores. Oliva (1999a) reconoce esta interacción al intentar aunar dos enfoques sobre cambio conceptual, los centrados en las operaciones formales y la transformación de las estructuras mentales y, los centrados en las concepciones alternativas que contemplan el proceso parcial para cada tópico concreto:

“Desde la óptica por la que apuesta el enfoque de las teorías implícitas cabe suponer un comportamiento intermedio entre una y otra opción, pudiéndose llegar a esperar, dentro de ciertos límites, cambios en algunas concepciones una vez que se han cambiado otras con las que comparte algunos elementos de las estructuras implícitas. Así, pues, superar las concepciones erróneas desde el punto de vista de la ciencia escolar conllevaría algo más que un cambio local en contenidos específicos. Comportaría un cambio en las teorías implícitas en las que subyacen

las respuestas y contestaciones de los alumnos y, en consecuencia, de un cambio en las estructuras mentales que con carácter más o menos general se encuentran tras ellas”. (Oliva, 1999a, p. 99)

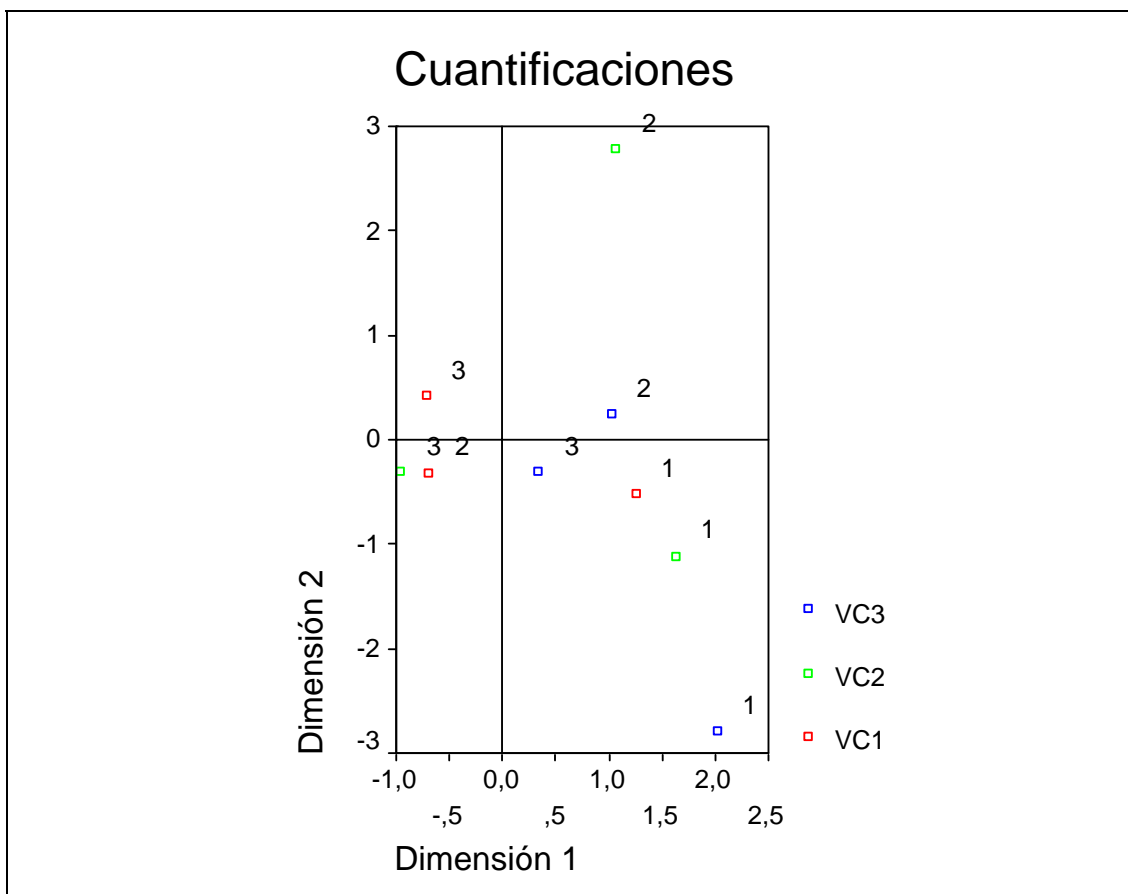
Nos hemos planteado que podría ser interesante, desde el punto de vista del proceso de enseñanza-aprendizaje, identificar con nuestros datos la posible existencia de una interconexión significativa entre estos tres esquemas conceptuales. Para ello, vamos a realizar un **análisis multivariante**, que establezca una correlación entre las tres variables, a partir de cuál, podamos apoyar la reflexión anterior, y que, además, nos pueda aportar otro tipo de informaciones. Este análisis se recoge a continuación.

B. ESTUDIO SOBRE LAS INTERACCIONES MUTUAS DE LAS VARIABLES DE CONTENIDO

Los distintos esquemas conceptuales implicados en esta unidad didáctica se han definido como unidades independientes de conocimiento porque afectan a ámbitos muy concretos de los procesos de herencia. Las personas generan estructuras cognitivas relativas a la herencia de caracteres sin necesidad de tener ideas claras sobre si la información genética tiene una base fisiológica o morfológica determinada. De la misma forma las ideas evolutivas de tipo lamarckiano han sido y, siguen siendo, sustentadas por muchas personas con o sin algún tipo de conocimiento genético. Sin embargo, los resultados que hemos obtenido relativos a la evolución de los estudiantes del GEXP en el uso de estos esquemas conceptuales, en especial en el de la herencia de caracteres adquiridos, nos hace pensar en el hecho de que la progresión hacia niveles de mayor coherencia interna en alguno de estos esquemas ayude en el cambio conceptual de otros esquemas.

Para determinar la relación entre las distintas variables de contenido se ha realizado un **análisis de correspondencias múltiple** que nos permitirá, además de determinar la existencia de la misma, observar su estructura ya que el estadístico agrupa las variables, y sus niveles de realización, por proximidades que permiten identificar asociaciones.

El resultado obtenido se recoge en la siguiente representación gráfica:



Gráfica 7.4: Representación gráfica del análisis de correspondencias múltiple entre las tres variables de contenido (VC1: Localización de la información hereditaria; VC2: Herencia de padres a hijos; VC3: Herencia de caracteres adquiridos)

Vamos a interpretar esta representación estudiando, primero, cada una de las variables por separado y, posteriormente, todas en conjunto por niveles de realización.

B.1. Estudio de las variables de contenido por separado

La representación nos permite ver que la VC1 (Localización de la información hereditaria) y la VC3 (Herencia de caracteres adquiridos) presentan sus niveles de utilización 2 y 3 muy cercanos entre sí y alejados del nivel 1 correspondiente a concepciones más intuitivas o alejadas de la visión científica actual (niveles en p. 388). Este salto entre el nivel más bajo y el resto, y el hecho de que una vez que un estudiante se encuentra en un nivel 2 de utilización de las mismas, pueda pasar más fácilmente a usar un nivel 3, pueden explicar los resultados del test de Tukey (p.391 y 395), donde la diferencia significativa en el uso de estas VC se producía ya desde los primeros problemas y se mantenía hasta el final.

Sin embargo, en la VC2 (Herencia de padres a hijos) todos los niveles de valoración se encuentran alejados entre sí. Es de suponer que, en la utilización y elaboración del mismo sea más complejo ir pasando de un nivel a otro de coherencia interna porque en todos ellos los estudiantes pueden dar explicaciones sobre parentescos familiares que corroboren los hechos. Este hecho se manifestaba en la representación del test de Tukey donde se veía esta gradación en las valoraciones medias obtenidas en cada problema (p. 393).

Esta diferencia se puede explicar desde las exigencias conceptuales de cada una de las VC. Una vez que los estudiantes asumen cuál es la estructura celular de la información hereditaria, y que ésta no se modifica por necesidades del individuo debido al ambiente, ellos sólo tienen que mejorar el nivel de uso de estos dos EC hacia visiones más científicas de los mismos. Sin embargo, en relación con la herencia de padres a hijos, aunque los estudiantes asuman que la mitad de la información genética de cada individuo procede de cada uno de sus padres, si no han comprendido bien el proceso de distribución de los cromosomas en la formación de gametos (meiosis), difícilmente llegarán a un nivel 3 de utilización. Por ejemplo, algunos estudiantes consideran que un hijo recibe información de los dos padres por igual, pero lo físico es de uno y el carácter del otro.

B.2. Estudio de las variables de contenido por niveles

La representación gráfica nos permite decir que:

1. Todos los niveles 1 se encuentran juntos en un mismo cuadrante, lo que implica que, los estudiantes que tienen concepciones más intuitivas o alejadas de la visión científica en uno de los esquemas conceptuales, también las presentan en los demás.
2. Todos los niveles 3 se encuentran próximos, en especial los de la VC1 y VC2. Esto implica que, los estudiantes que tienen concepciones más coherentes desde el punto de vista científico en una de los esquemas conceptuales, también las presenta en los demás.
3. Los niveles intermedios (2) de uso de las diferentes VC no se relacionan entre sí, en especial en el caso de la VC2, por lo que ya hemos comentado. Los niveles 2 de las

otras dos VC están más cerca, aunque realmente están más asociados a sus propios niveles 3.

4. Las VC1 y VC2 están relacionadas entre sí por la cercanía de sus niveles (bajos y altos). Y, estas dos variables, como un conjunto, se relacionan con la VC3.

Los resultados obtenidos nos permiten concluir que:

- ✓ Los estudiantes que utilizan niveles de explicación poco coherentes o alternativos a los aceptados por la comunidad científica lo hacen para todos los esquemas conceptuales. Por otra parte, los estudiantes que utilizan niveles de explicación más cercanos a la visión científica, también lo hacen en cada uno de ellos.
- ✓ Existe un salto conceptual importante entre encontrarse en un nivel de explicación 1 o 3 dentro de cada esquema. Este salto es mayor en el esquema conceptual sobre la herencia de padres a hijos, porque precisa que los estudiantes comprendan el proceso de distribución de los cromosomas que se produce en la formación de gametos (meiosis).
- ✓ Manejar un nivel de conocimiento cercano a la postura científica sobre la localización de la información hereditaria se asocia con el uso de niveles también más coherentes desde el punto de vista científicos de la herencia de padres a hijos. Y, esto permite alcanzar el mismo grado de coherencia para el esquema conceptual sobre la herencia de caracteres adquiridos.

C. CONCLUSIONES ACERCA DE LA HIPÓTESIS 2

Los resultados obtenidos, tanto en este último estudio, al realizar un análisis de correspondencias múltiple entre todas las variables de contenido, como en los análisis anteriores, sobre la evolución de los estudiantes para cada una de los esquemas conceptuales, se superponen en una misma imagen que implica que:

- ✓ Los estudiantes han pasado de forma mayoritaria, e incluso se podría decir de forma brusca, de los niveles conceptuales más bajos a los más altos en todas las variables de contenido. La MRPI, gracias a la necesidad de verbalizar todos los procesos, facilita el dominio de los contenidos conceptuales al movilizar los mecanismos de la metacognición.
- ✓ En el esquema conceptual sobre la herencia de padres a hijos sólo se alcanza el nivel de explicación más coherente y cercano a la visión científica actual cuando, además de haberse producido el cambio conceptual sobre la localización de la información hereditaria, se comprende el proceso de meiosis.
- ✓ El nivel de complejidad con el que manejan cada esquema conceptual está relacionado con el que mantengan en los demás. La correlación ente el uso más apropiado de los dos primeros esquemas conceptuales es evidente; y, también, la que se estable entre el tercer esquema conceptual y los anteriores; es decir, conocer la localización de la información hereditaria y cómo se transmite de padres a hijos, ayuda a comprender que los caracteres adquiridos no se heredan.

7.2.3. HIPÓTESIS 3 DE INTERVENCIÓN EN EL AULA: CONTRASTE DE LA INFLUENCIA DEL ESTILO COGNITIVO DEPENDENCIA-INDEPENDENCIA DE CAMPO (DIC)

La formulación de esta Hipótesis 3 es:

El estilo cognitivo Dependencia-Independencia de Campo (DIC) de cada individuo, influye de forma significativa en el nivel de resolución de problemas abiertos, alcanzado por los estudiantes del GEXP.

Las relaciones entre el estilo cognitivo DIC y la resolución de problemas ya han sido tratadas de forma amplia en el estudio de Varela (1994) sobre aspectos didácticos y cognitivos de la resolución de problemas. Esta autora identifica la influencia de la variable DIC en la consecución por parte de los estudiantes de niveles más altos de resolución de problemas, y de utilización de los esquemas conceptuales. Otros trabajos también identifican las mismas relaciones (Corral, 1982; Niaz y Lawson, 1985; Pozo, 1987; Acevedo, 1989, López Rupérez, 1991; Oliva 1999b).

Para relacionar los resultados de nuestra investigación sobre cambio de procedimientos (Apartado 7.2.1.) y conceptual (Apartado 7.2.2) con la variable DIC, los estudiantes del GEXP realizaron el test GEFT, o Test de Figuras Enmascaradas (Witkin y otros, 1987), antes del inicio de la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?”. Este test evalúa la capacidad de romper un campo visual organizado, para quedarse con una parte de él y separarla del todo. Desde una interpretación estricta del mismo, los resultados reflejan la capacidad para percibir figuras enmascaradas. Sin embargo, las diferencias individuales en la realización del test, parecen estar relacionadas con otros aspectos o áreas de la actividad psicológica de la persona, además de las diferencias en el funcionamiento perceptivo. Las tareas perceptivas pueden servir para evaluar dimensiones amplias e importantes del funcionamiento personal, entre ellos los estilos cognitivos.

Diversos estudios afirman que, en muchos estudiantes, influye la manera particular de presentar la tarea (Lawson, 1976; Niaz, 1989, López Rupérez, 1991). Se dice, por lo tanto, que las tareas o actividades contienen “*efectos de campo*” porque

producen un efecto sobre el comportamiento de muchos de los sujetos que se tienen que enfrentar a las mismas.

Los individuos que podríamos denominar dependientes de campo (DC) tienen dificultades en desenmascarar una figura simple en los dibujos complejos e, igualmente, en resolver otro tipo de problemas que requieren aislar un elemento esencial de su contexto para aplicarlo a otro. Estos sujetos tienden a confiar en las fuentes externas del campo perceptivo frente a las fuentes internas y muestran más eficacia en razonamientos de tipo global. Por lo tanto, están más influidos por el contexto, al que prestan más atención aprendiendo mejor los aspectos sociales; y, de la misma forma, tienden a aceptar opiniones de personas que sean consideradas como autoridad en la materia (Witkin y otros, 1987).

Los individuos llamados independientes de campo (IC) tienen más facilidad para desenmascarar una figura simple, en dibujos más complejos, porque experimentan la realidad de forma articulada, siendo capaces de percibir los elementos como distintos de su entorno y, de reorganizarlos cuando ya están organizados. Estos sujetos tienden a confiar en las fuentes internas de la información frente a las externas, y muestran una mayor eficacia en razonamientos de tipo analítico. Por lo tanto, no están tan influidos por el contexto, ni por las opiniones de otras personas, ya sea sobre sí mismos o sobre otros temas. (Witkin y otros, 1987).

Los autores del test concluyen que la habilidad de desenmascarar tareas perceptivas está asociada a la comprensión y resolución de problemas no-perceptivos. En nuestro caso, la resolución de problemas abiertos.

Recordamos que el número de figuras desenmascaradas, por cada uno de los estudiantes, se asocia con diferentes niveles de la variable DIC en una escala de intervalos con 4 niveles:

Nivel 1: DIC- MBA (Muy bajo):	de 0 a 5 formas correctas
Nivel 2: DIC-BA (Bajo):	de 6 a 9 formas correctas
Nivel 3: DIC- ME (Medio):	de 10 a 13 formas correctas
Nivel 4: DIC-AL (Alto):	de 14 a 18 formas correctas

La distribución por niveles en el GEXP es la siguiente, **Nivel 1** 13,33%; **Nivel 2** 13,33%; **Nivel 3** 26,66%; **Nivel 4** 46,66%.

A partir de los datos de cada uno de los estudiantes del GEXP, sobre sus niveles de resolución de los problemas abiertos y su DIC, se pretende determinar si se produce una interrelación entre estas dos variables.

Para el contraste de la Hipótesis 3, necesitamos estudiar la influencia del estilo cognitivo DIC en la realización de las variables metodológicas y de verbalización (SUBHIPÓTESIS 3.1); y en la realización de las variables de contenido (SUBHIPÓTESIS 3.2)

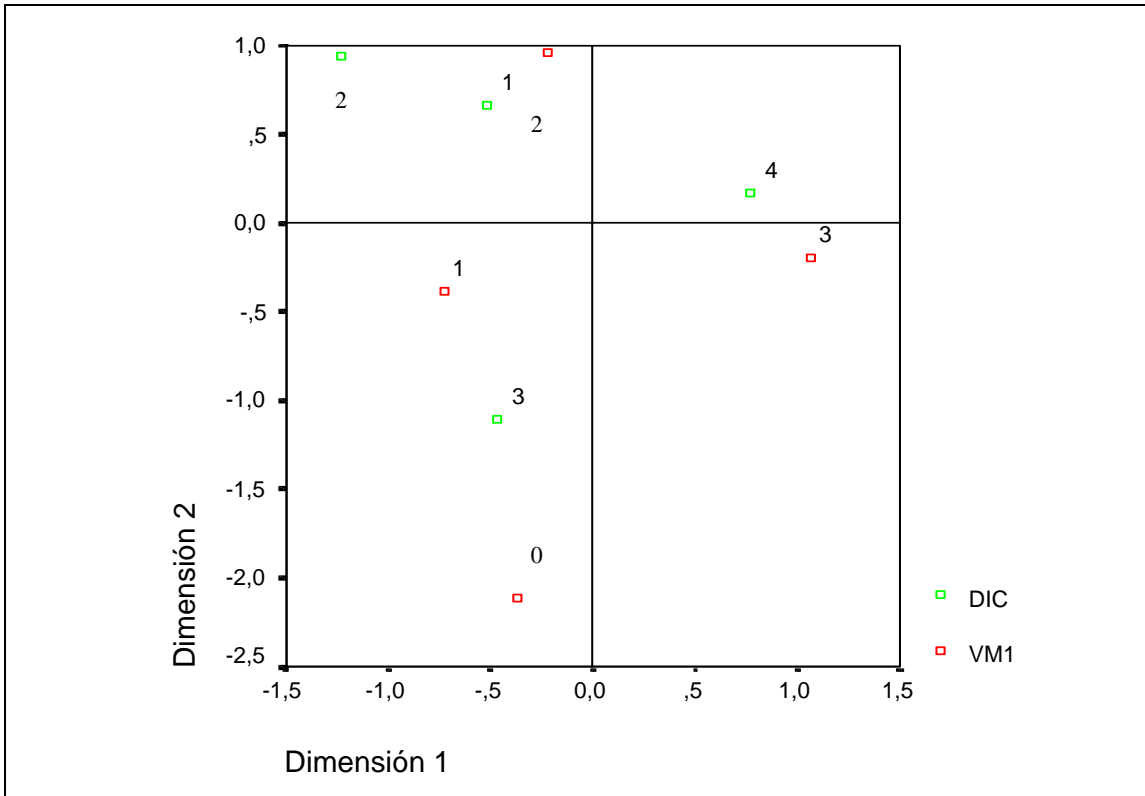
A. SUBHIPÓTESIS 3.1: CONTRASTE DE LA INFLUENCIA DEL ESTILO COGNITIVO DIC EN LA REALIZACIÓN DE LAS VARIABLES METODOLÓGICAS Y DE VERBALIZACIÓN

La formulación de esta Subhipótesis es:

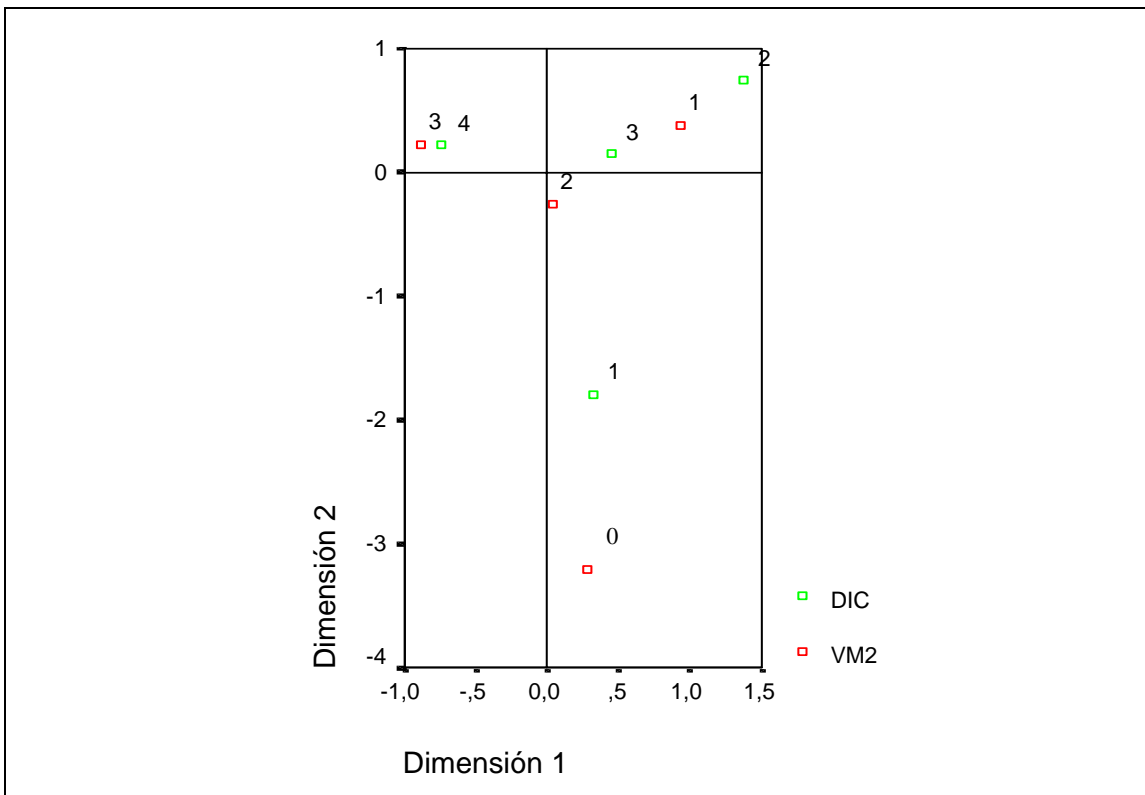
El estilo cognitivo DIC de cada individuo influye en la realización de las diferentes fases de resolución o variables metodológicas y de verbalización.

Para estudiar la existencia de relaciones entre estas variables, se ha realizado un **análisis multivariante o de correspondencias múltiples** para cada una de las VM y la VV, a lo largo de la resolución de problemas, y el nivel DIC de cada alumno. Recordamos que los niveles de valoración de cada una de las variables van del 0 al 3 (ver Anexo II para las VM y p. 374 para VV), y los del DIC del 1 al 4. El análisis se ha realizado para cada una de las VM por la gran relevancia que todas ellas tienen en el proceso de resolución de problemas como investigación; además, del hecho de que los estudiantes del GEXP no han conseguido el mismo nivel de destreza en la realización de las mismas (Apartado 7.2.1.).

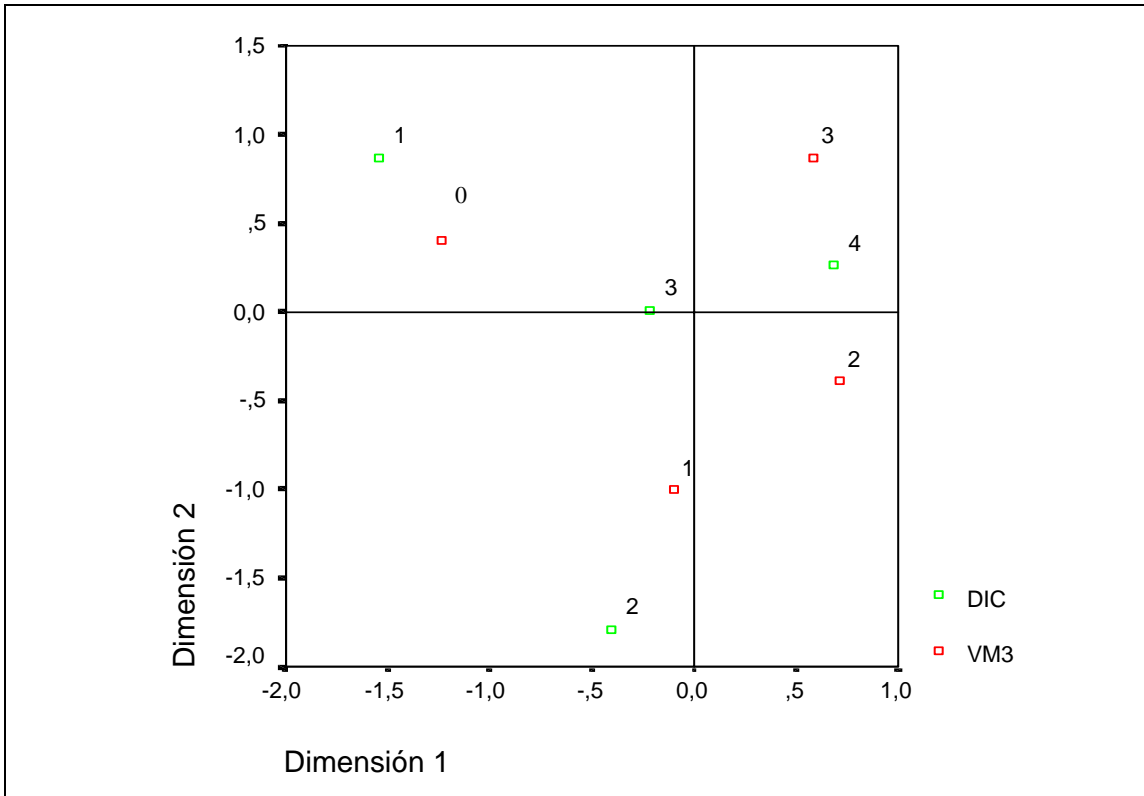
Los resultados obtenidos se recogen en las siguientes representaciones gráficas:



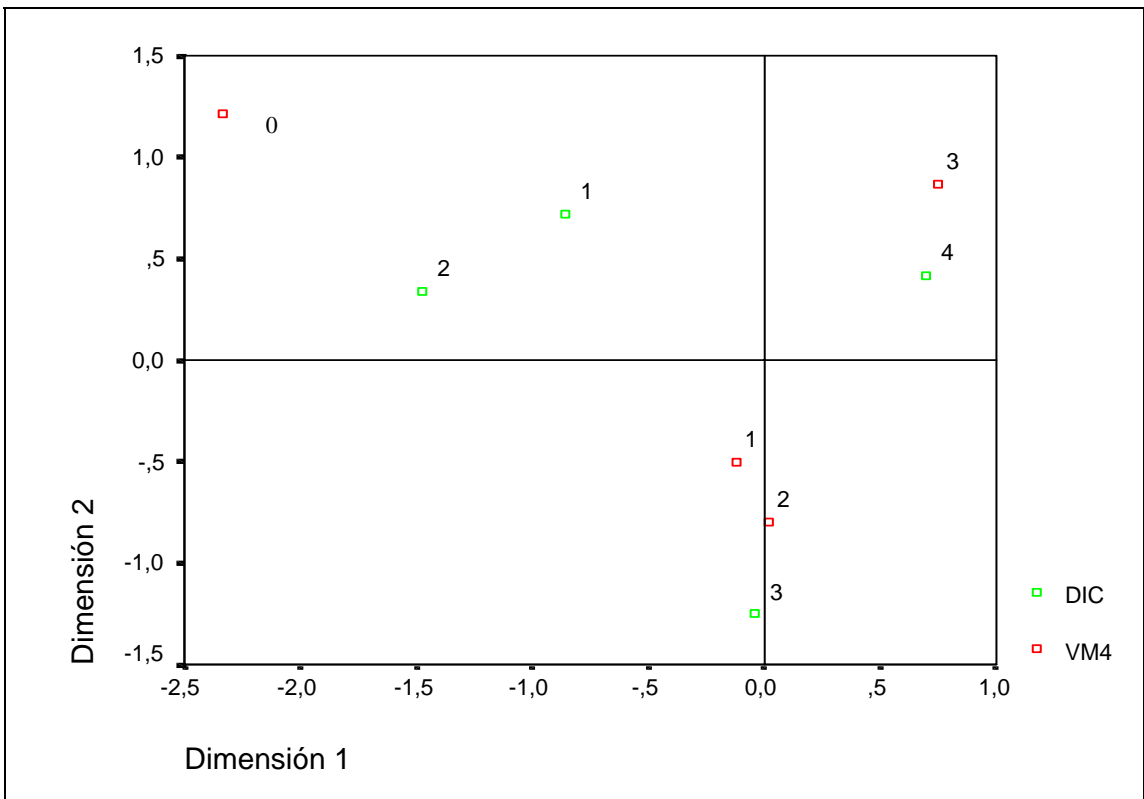
Gráfica 7.5: Representación gráfica del análisis de correspondencias múltiples entre la VM1 (Análisis cualitativo del problema) y el estilo cognitivo DIC.



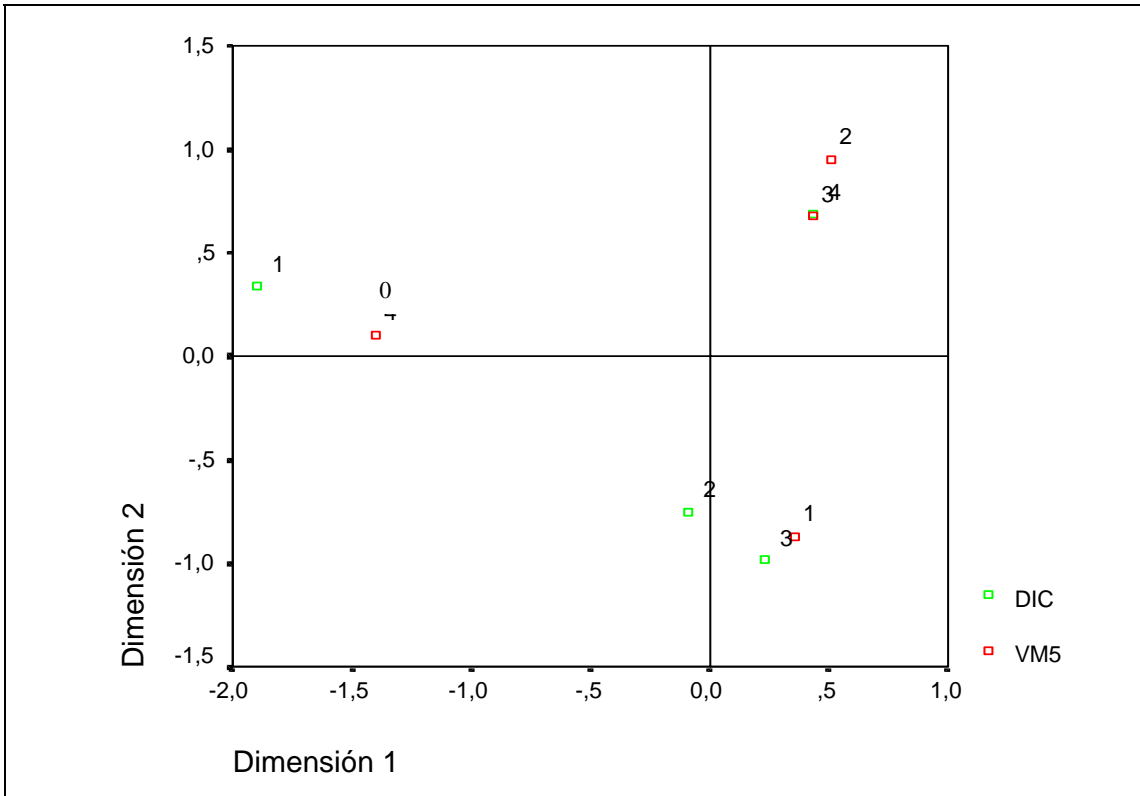
Gráfica 7.6: Representación gráfica del análisis de correspondencias múltiples entre la VM2 (Emisión de hipótesis) y el estilo cognitivo DIC.



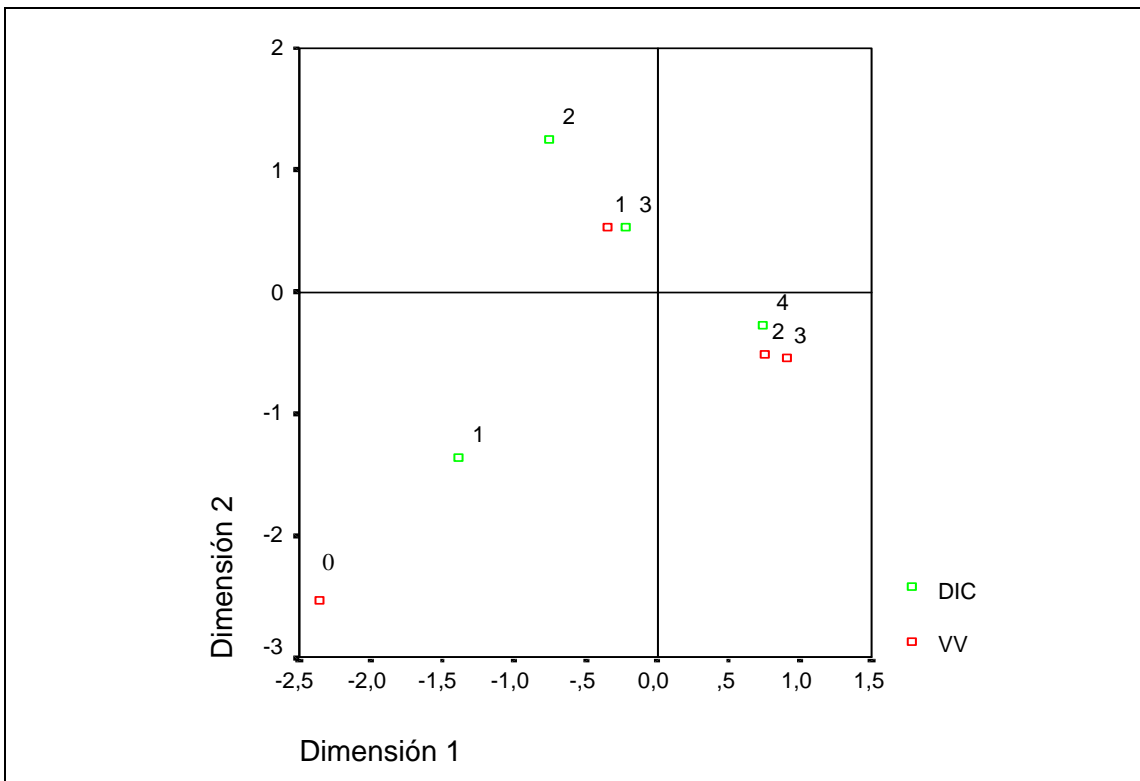
Gráfica 7.7: Representación gráfica del análisis de correspondencias múltiples entre la VM3 (Elaboración de una estrategia de resolución) y el estilo cognitivo DIC.



Gráfica 7.8: Representación gráfica del análisis de correspondencias múltiples entre la VM4 (Resolución) y el estilo cognitivo DIC.



Gráfica 7.9: Representación gráfica del análisis de correspondencias múltiples entre la VM5 (Análisis de los resultados) y el estilo cognitivo DIC.



Gráfica 7.10: Representación gráfica del análisis de correspondencias múltiples entre la VV (Verbalización) y el estilo cognitivo DIC.

Observando estas gráficas podemos decir que, con pequeñas diferencias que comentaremos a continuación, los estudiantes con nivel DIC alto presentan, también, valoraciones altas para cada una de las variables estudiadas, y de la misma forma se asocian los valores bajos de ambas variables.

Los resultados obtenidos se corresponden de forma general con los recogidos en otras investigaciones citadas con anterioridad, y apoyan la influencia del estilo cognitivo DIC de cada individuo en su aprendizaje, en este caso, en la resolución de problemas abiertos. Por lo tanto concluimos que:

El estilo cognitivo DIC de cada individuo influye en la realización de las diferentes fases de resolución o variables metodológicas y de verbalización.

De forma más pormenorizada, vemos que el estilo cognitivo DIC presenta una mayor influencia en algunas de las VM. Hemos considerado que en las representaciones gráficas donde hay una correlación entre valores altos, medios y bajos de ambas variables, la influencia del estilo cognitivo es más evidente que en las que sólo hay correlación entre valores altos. Para cada una de las variables podemos precisar que:

- **VM1: Análisis cualitativo del problema.** Podemos concluir que, *los estudiantes más independientes de campo (DIC-AL), son los que realizan un mejor análisis cualitativo del problema, porque sus características cognitivas les permiten identificar mejor los condicionantes del mismo*; aunque, no podemos diferenciar entre los estudiantes con DIC intermedio o más bajo respecto a esta VM.
- **VM2: Emisión de hipótesis.** La influencia sobre esta variable del estilo cognitivo DIC es muy alta. Podemos decir que *los estudiantes más independientes de campo elaboran mejores hipótesis que los dependientes de campo, porque sus características cognitivas les permiten procesar mejor la información, distinguiendo entre lo relevante y lo que no lo es, y tener mayor capacidad para controlar las variables de un problema*. Así queda recogido en otras investigaciones (Carretero, 1982, Corral, 1982, Palacios y otros 1989, Varela, 1994).

- **VM3: Elaboración de una estrategia de resolución.** Con los resultados de este análisis, podemos indicar que *los estudiantes más independientes de campo realizan mejor esta variable que los dependientes de campo, porque sus características cognitivas les permite seleccionar y utilizar diferentes estrategias; aquellas, que sean las más adecuadas para resolverlo.* La influencia sobre esta variable del estilo cognitivo DIC es muy alta.
- **VM4: Resolución del problema.** Es la variable menos afectada por el estilo cognitivo DIC. Todos los niveles de resolución del problema, bajos o altos, (menos el 0) están asociados a valores medios y altos de DIC. Revisando los resultados recogidos en la gráfica 7.1 sobre esta variable, los estudiantes, aunque evolucionan de forma significativa en su realización, presentan relativamente poca diferencia desde los problemas iniciales a los finales, ya que obtienen valoraciones altas desde el principio. Volvemos a incidir en el hecho de que *la resolución de los problemas de Biología no implica grandes dificultades a los estudiantes, y menos a los independientes de campo, porque es una actividad que les resulta familiar y que no implica el uso de algoritmos complejos.*
- **VM5: Análisis de resultados.** Esta variable está muy afectada por el estilo cognitivo DIC porque, además de encontrarse asociados los diferentes niveles de cada variable, se requiere un DIC muy alto para realizar esta tarea con niveles de complejidad 2 y 3. Ahora podemos explicar por qué esta variable es la que obtiene la valoración media más baja entre todas las variables metodológicas, y en la que los estudiantes, aunque evolucionan de forma significativa, lo hacen en menor grado desde los problemas iniciales a los finales (Apartado 7.2.1.). La razón de esta dificultad es que *sólo los estudiantes con DIC más alto disponen de estrategias o habilidades cognitivas que les permita ir más allá de los resultados planteados para poder contrastarlos con la hipótesis o para poder plantear la validez de los mismos.*
- **VV: Variable de Verbalización.** El nivel de verbalización de los estudiantes está muy relacionado con su estilo cognitivo DIC. *Sólo los estudiantes con valores de DIC alto llegan al grado máximo (3) o intermedio (2) de verbalización, siendo menor en los más dependientes de campo.*

Es de destacar que en un análisis similar realizado para la resolución de problemas de Mecánica y Electricidad (Varela, 1994), los resultados que se obtienen sólo difieren de los nuestros en que el Análisis de resultados (VM5) no está tan influido por el estilo cognitivo DIC. Es posible que el estilo cognitivo DIC de los estudiantes de esta investigación, al resolver problemas de Física, tenga menor influencia en esta VM, porque es más fácil que encuentren ejemplos donde contrastar su resolución (dar valores a espacio, tiempo, etc.); mientras que en Biología es más difícil porque no es posible poner en práctica, con un ejemplo concreto, la resolución del problema (herencia de la calvicie, el cáncer de piel, etc.).

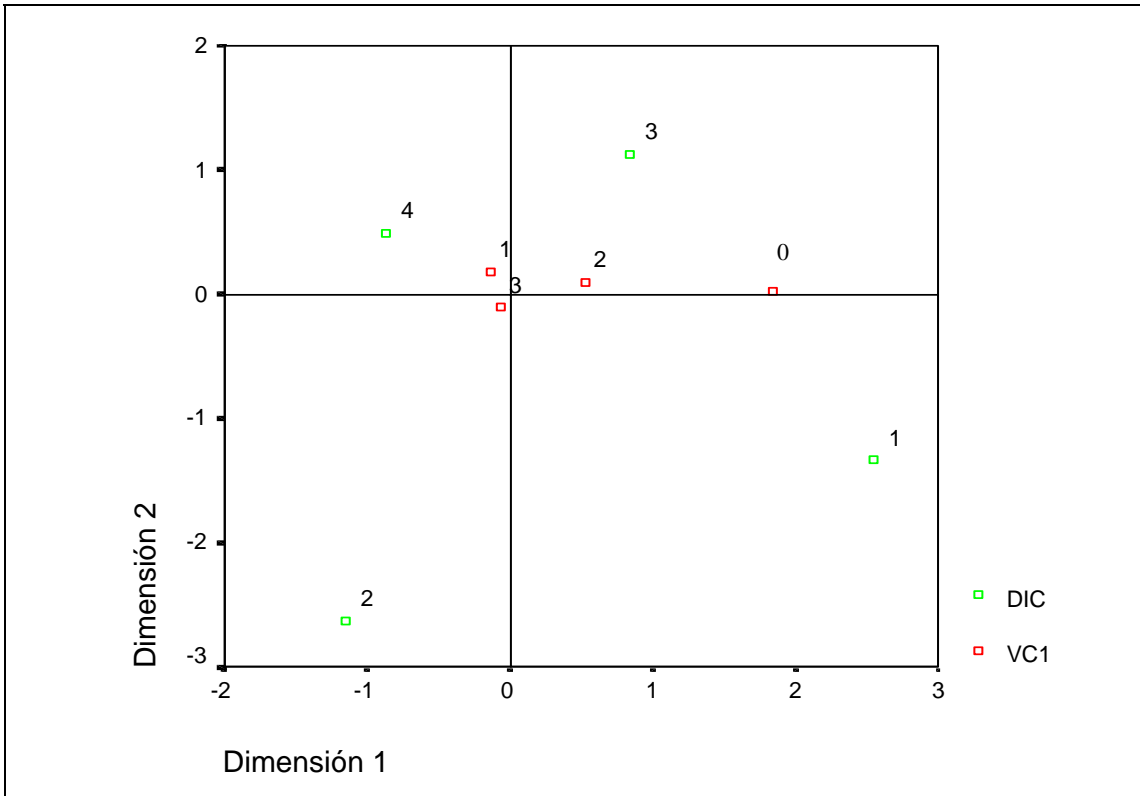
B. SUBHIPÓTESIS 3.2: CONTRASTE DE LA INFLUENCIA DEL ESTILO COGNITIVO DIC EN LA REALIZACIÓN DE LAS VARIABLES DE CONTENIDO

La formulación de esta Subhipótesis es:

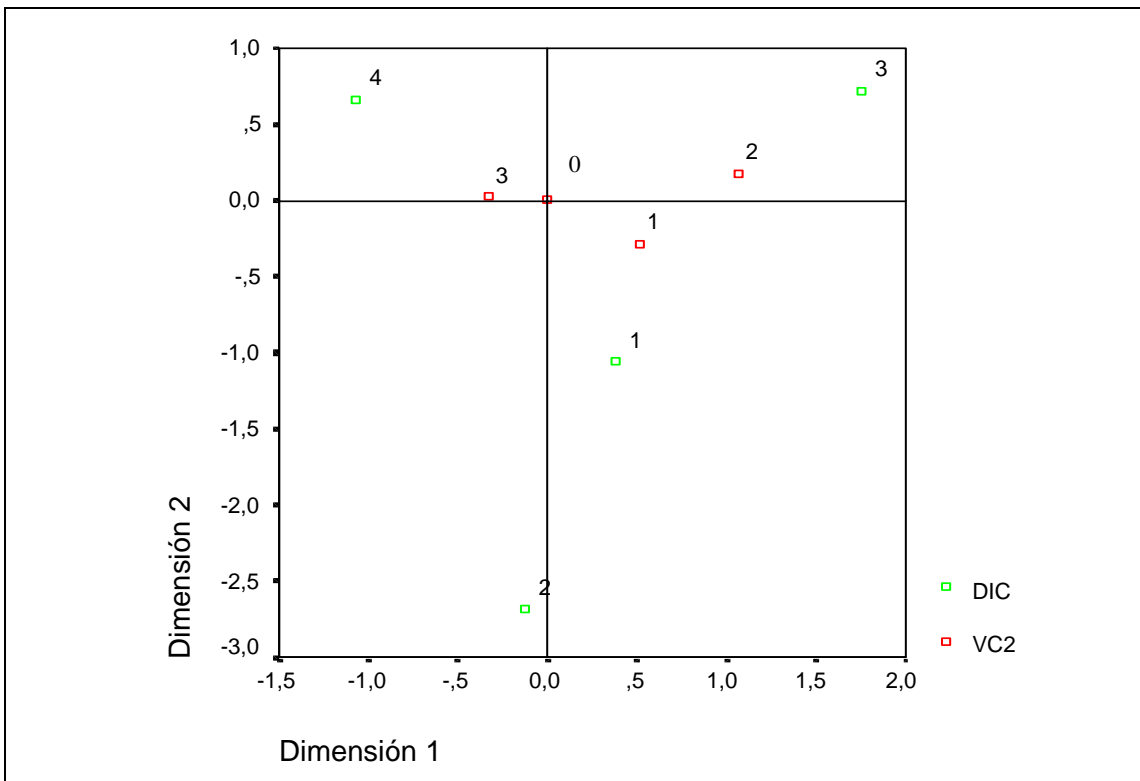
El estilo cognitivo DIC de cada individuo influye en la realización de las diferentes variables de contenido.

Para estudiar la existencia de relaciones entre estas variables, se ha realizado un **análisis multivariante o de correspondencias múltiples** para cada uno de los valores medios de las VC, a lo largo del tiempo, y el nivel DIC de cada estudiante. Los niveles de valoración de cada una de las variables van del 0 al 3 (ver p. 388), y los del DIC del 1 al 4.

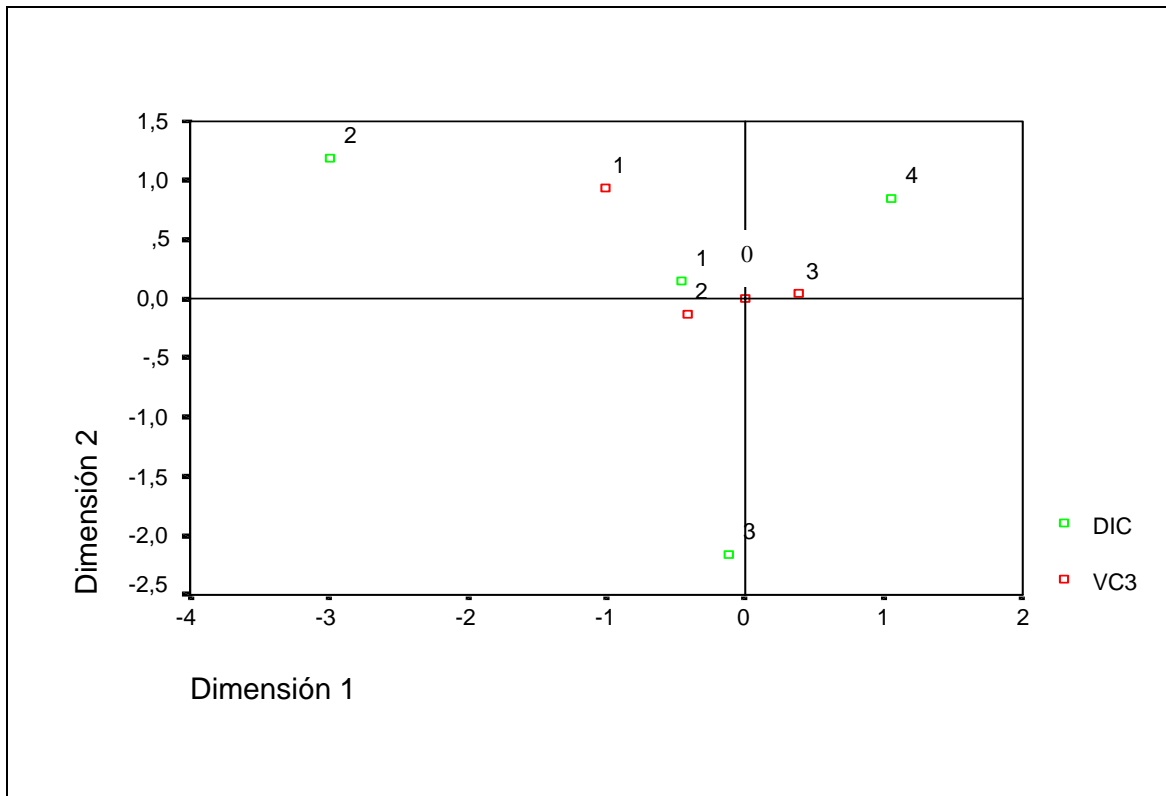
Los resultados obtenidos se recogen en las siguientes representaciones gráficas en las que se puede apreciar que no existe ninguna relación entre el nivel de complejidad en el uso de los esquemas conceptuales y el estilo cognitivo DIC. En todas ellas, en mayor o menor medida, los niveles de uso de las VC están agrupados y los niveles DIC los rodean de forma dispersa.



Gráfica 7.11: Representación gráfica del análisis de correspondencias múltiples entre la VC1 (Localización de la información hereditaria) y el estilo cognitivo DIC.



Gráfica 7.12: Representación gráfica del análisis de correspondencias múltiples entre la VC2 (Herencia de padres a hijos) y el estilo cognitivo DIC.



Gráfica 7.13: Representación gráfica del análisis de correspondencias múltiples entre la VC3 (Herencia de caracteres adquiridos) y el estilo cognitivo DIC.

Por lo tanto, *es imposible llegar a conclusiones sobre la influencia que pueda tener el estilo cognitivo DIC en el uso más o menos adecuado de los esquemas conceptuales sobre la localización de la información hereditaria, sobre la herencia de padres a hijos, o sobre la herencia de caracteres adquiridos.*

Los estudios que hemos realizado sobre el cambio conceptual a lo largo de la resolución de problemas (Apartado 7.2.2.), nos permiten aventurar que los estudiantes del GEXP evolucionan favorablemente y de forma significativa en el uso de estas VC a lo largo de la resolución de los problemas. Sin embargo, esta evolución no es gradual ni se ve afectada por las características personales del estudiante, ya que la gran mayoría de ellos partían de niveles conceptuales bajos y terminaban usando el nivel más complejo de cada uno de ellos. Esta evolución también se refleja al estudiar las interacciones entre las tres VC (Gráfica 7.4). Los estudiantes que manejan unos determinados niveles de complejidad para una VC, también lo hacen para el resto.

El hecho de que en nuestro trabajo el estilo cognitivo DIC no influya en el cambio conceptual, que se ha producido en los estudiantes del GEXP, y la existencia de

resultados dispares en otras investigaciones, indica la necesidad de hacer más estudios, incorporando nuevos ámbitos y disciplinas.

Por ejemplo, investigaciones en el campo de la Física no llegan a establecer asociaciones relevantes entre el estilo cognitivo DIC y el cambio conceptual. Un trabajo reciente de Oliva (1999b), en el campo concreto de la Mecánica, concluye que las mismas concepciones alternativas son compartidas por estudiantes de distintos rangos cognitivos. En este trabajo se abordan las ideas previas de los estudiantes que son reconocidas como tal en las investigaciones sobre esta temática. Sólo en 2 de las 20 cuestiones, que se plantean en este estudio, se aprecia que la proporción de respuestas correctas es mayor en los estudiantes independientes que en los dependientes de campo. El estudio se realiza con estudiantes de unos 15 años que aún no han cursado estudios de Física y, por lo tanto, se puede decir que el grado de independencia de campo afecta muy poco a la naturaleza de las ideas intuitivas que manifiestan los estudiantes antes del aprendizaje.

Sin embargo, numerosos trabajos, recogidos al inicio de este apartado, evidencian la existencia de relación entre el nivel de desarrollo cognitivo y la eficacia en el proceso de cambio conceptual. Por ejemplo, Varela (1994), trabajando con MRPI los campos de la Mecánica y de la Electricidad, aprecia influencia de la variable DIC sobre las VC, aunque de forma menos relevante que la que había observado entre esta variable cognitiva y las VM. Esta influencia era más evidente en los valores extremos, los estudiantes con DIC muy alto presentaban esquemas conceptuales más próximos a los defendidos por la Ciencia actual, y los estudiantes con DIC más bajo presentaban esquemas conceptuales más alejados (Martínez y Varela, 1996).

C. CONCLUSIONES ACERCA DE LA HIPÓTESIS 3

Tras estos análisis podemos concluir y matizar el contraste de esta hipótesis:

- ✓ El estilo cognitivo DIC influye en la realización de los procedimientos implicados en la resolución de problemas de Genética. Los estudiantes más IC realizan mejor las VM y la VV, pudiéndose destacar:
 - * La influencia del estilo cognitivo DIC es muy clara en las VM que implican por parte del alumno realizar Análisis cualitativos del problema; manejar información y controlar variables a la hora de Emitir hipótesis; seleccionar y utilizar diferentes Estrategias de resolución; y, por último, realizar un Análisis de los resultados que les permita plantear la validez de los mismos. Este tipo de procedimientos requiere que los estudiantes sean IC, capaces de percibir los diferentes elementos de un problema y reorganizarlos para llegar a una solución.
 - * La influencia del estilo cognitivo DIC en la Resolución del problema (VM4) es menor porque el tipo de problemas que tienen que resolver son muy cercanos a su vida diaria y no requieren del uso de algoritmos. Por lo tanto, independientemente del estilo cognitivo, los estudiantes pueden plantear soluciones aceptables a los mismos, siendo mejores estas resoluciones en los IC.

- ✓ El estilo cognitivo DIC no influye en los aspectos conceptuales implicados en la resolución de problemas de Genética. La subhipótesis 3.2 no se puede corroborar.

7.3. DIFERENCIAS EN EL APRENDIZAJE DE LOS GRUPOS INVESTIGADOS: HIPÓTESIS FINAL I

La hipótesis que se plantea al finalizar el proceso de enseñanza-aprendizaje se refiere a las diferencias que existen en los aprendizajes realizados por ambos grupos de investigación; el GEXP tras el trabajo con la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?”, y el GCON siguiendo una metodología tradicional. La hipótesis final I es:

Existen diferencias significativas en el aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes, a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON

Esta hipótesis tan amplia se concreta en cinco subhipótesis que se refieren a estos aspectos:

- Contenidos de Genética y herencia humana (Apartado 7.3.1.)
- Contenidos sobre la Naturaleza de la Ciencia (Apartado 7.3.2.)
- Procedimientos de Resolución de Problemas abiertos y cerrados (Apartado 7.3.3.)
- Actitudes relacionadas con la Ciencia (Apartado 7.3.4.)
- Actitudes relativas a las relaciones C-T-S (Apartado 7.3.5.)

Las pruebas para el contraste de estas subhipótesis, excepto un examen de corte clásico elaborado por la profesora del GCON, se han diseñado como pruebas totalmente abiertas. Se ha optado por la elaboración de **redes sistémicas o network como instrumento de recogida de datos**, como se justificó en el Apartado 4.4.3, y para el contraste de la hipótesis se ha utilizado el estadístico de la **U de Mann-Whitney**. La hipótesis nula es que ambos grupos son homogéneos, frente a la alternativa de que el GEXP es mejor.

7.3.1. SUBHIPÓTESIS FINAL I-1: CONTRASTE DE LAS DIFERENCIAS EN EL APRENDIZAJE DE LOS CONTENIDOS CONCEPTUALES SOBRE GENÉTICA Y HERENCIA HUMANA

Esta subhipótesis está definida de la siguiente forma:

Existe un aprendizaje significativamente mayor de los conceptos sobre Genética y herencia humana con esquemas conceptuales más cercanos a la postura científica actual a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON.

El contraste de esta subhipótesis se puede realizar tomando datos de dos pruebas diferentes:

- a) la prueba de contenidos de Genética o examen clásico, que nos permite determinar el aprendizaje desde un punto de vista más académico
- b) la resolución del problema abierto final, donde se pueden valorar los niveles alcanzados por los estudiantes en el uso de los esquemas conceptuales implicados.

Vamos a analizar la información que nos aportan ambas pruebas por separado antes de considerar que se contrasta esta subhipótesis.

A. ANÁLISIS DE LA PRUEBA FINAL DE CONTENIDOS DE GENÉTICA

Ambos grupos de trabajo se han enfrentado a un ejercicio teórico formado por preguntas y problemas de tipo cerrado diseñado por la profesora del GCON. El hecho de que este ejercicio haya sido elaborado por una persona ajena a la investigación supone que su diseño, aunque se basa en los criterios de evaluación para el curso y nivel con el que se ha trabajado, no va a poder medir todas las variables con las que hemos abordado el tema de los conceptos. Por ejemplo, el tipo de cuestiones no recoge toda la categoría de ideas previas de la prueba inicial; y, por otra parte, con este tipo de prueba es más difícil identificar los esquemas conceptuales que utilizan los alumnos en sus respuestas. Sin embargo, consideramos que esta decisión ha sido acertada porque nos permite valorar si los alumnos del GEXP, además del aprendizaje específico que hayan podido realizar, son eficientes o no a la hora de enfrentarse a un examen tradicional de

Genética. Por otra parte, las variables que no se miden en esta prueba se pueden valorar en el problema abierto.

A continuación se recogen las cuestiones de este ejercicio que consta de tres problemas cerrados (preguntas 1 a 3) y de cuatro preguntas teóricas sobre cuestiones concretas (preguntas 4 a 7):

1. La miopía es debida a un gen dominante; su alelo recesivo produce una visión normal. ¿Un hombre y una mujer miopes podrán tener un hijo de visión normal?. Razona tu respuesta.

2. En la especie humana la ictiosis es una enfermedad debida a un gen situado en el segmento diferencial del cromosoma Y. Un hombre con ictiosis, ¿podrá tener hijos varones que no posean esta enfermedad? Razona tu respuesta.

3. La coiloniquia es una malformación en las uñas que tienen forma de cuchara. Determina el genotipo de los individuos del siguiente árbol genealógico. (Los símbolos en negro son los individuos afectados).

¿Cómo crees que es la herencia de este carácter?

a) Herencia determinada por el sexo, porque

b) Herencia determinada por un gen localizado en un cromosoma distinto a los sexuales, porque

¿Qué alelo crees que es el dominante?

a) El de uñas de cuchara, porque

b) El de uñas normales, porque

4. Si una célula al final de la meiosis presenta 10 cromosomas, ¿cuántos cromosomas poseerá la célula madre de esa meiosis?

5.Cuál es la secuencia de ADN complementaria de:
A C C T A C A C A

6. Escribe el ARN sintetizado a partir de la siguiente secuencia de ADN:
A A T G C A T G C

7. Cita cuatro aplicaciones de la ingeniería genética.

Para el análisis de los resultados obtenidos vamos a trabajar, con las respuestas de los alumnos de ambos grupos, de diversas formas:

1. Primero una valoración **pregunta por pregunta**, considerando la corrección en su contestación.
2. Segundo, elaborando una **red sistémica de ideas o conceptos que son utilizados por los estudiantes** en sus respuestas.

A.1. Primer estudio: valoración de las preguntas

En el siguiente cuadro sólo se recogen los porcentajes de acierto para cada cuestión.

PREGUNTAS	G.EXP (N = 30)		G.CON (N = 19)		U de Mann-Whitney
	N	%	N	%	
1. La miopía es debida a un gen dominante, ...	21	70%	5	26,31%	160,5**
2. La ictiosis es debida a un gen en el cromosoma Y...	22	73,33%	3	15,78%	121***
3. La coiloniquia es...					
a) Determina el genotipo de ...	16	53,33%	0	0%	148***
b) ¿Qué alelo crees que es dominante?	16	53,33%	5	26,31%	208*
4. ... al final de la meiosis..., ¿Cuántos cromosomas...?	26	86,66%	9	47,36%	173**
5. ¿Cuál es la secuencia de ADN complementaria de ...?	29	96,66%	18	94,73%	279,5
6. Escribe el ARN sintetizado a ...	17	56,66%	9	47,36%	258
7. Cita cuatro aplicaciones de ...: 2 o 3	14	46,66%	4	21,05%	
4	16	53,33%	15	78,94%	358

Cuadro 7.20: Resultados obtenidos en la prueba final sobre Contenidos de Genética. Los valores en negrita apoyan la hipótesis alternativa de que el GEXP es significativamente mejor que el GCON (*** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$).

A continuación vamos a realizar un análisis de estos resultados para cada una de las preguntas.

Respecto a la resolución de los tres problemas cerrados (preguntas 1 a 3), que van a ser tratados con mayor profundidad en el contraste de la Subhipótesis Final I-3 (procedimientos de resolución de problemas), podemos decir que *los resultados del GEXP son significativamente mejores*.

En la **cuestión 4** (“Si una célula al final de la meiosis presenta 10 cromosomas, ¿Cuántos...?”), la respuesta válida es que la célula madre tiene 20 cromosomas y, al ser una pregunta directa y concreta, los estudiantes de ambos grupos no se han explayado mucho a la hora de contestarla. En cuanto a la realización de dibujos de células que se dividen por meiosis, es minoritario en ambos grupos; sólo 1 estudiante del GCON (11,11% de las respuestas correctas) y 5 del GEXP (19,23% de las respuestas correctas).

Los resultados obtenidos muestran que el GEXP *conoce significativamente mejor como se produce el reparto de cromosomas que tiene lugar durante la meiosis, frente al GCON.*

En las investigaciones sobre didáctica de la Genética se ha puesto de manifiesto la importancia que tiene el hecho de que los estudiantes entiendan bien la meiosis a la hora de resolver correctamente problemas cerrados (Cavallo, 1996). En nuestra investigación, es llamativo que el GCON, con menos de un 50% de aciertos, estudió la meiosis con todas sus fases, tal y como aparece reflejado en el diario de clase de su profesora (Apartado 6.3.2). Los estudiantes del GCON recibieron una explicación acompañada de dibujos en la pizarra, e hicieron un mural con una célula de ocho cromosomas en sus distintas fases de meiosis. Sin embargo, el GEXP no estudió la meiosis de forma clásica, con sus fases, y usando dibujos, sino que aprendió el significado de la meiosis en la actividad de “Cariotipo y herencia de cromosomas” (Anexo I) en la que distribuían al azar, usando monedas, sus cromosomas para tener un bebé. También debían aplicar el concepto de reparto de cromosomas de generación en generación si querían resolver correctamente los problemas abiertos. Se ha observado que algunos estudiantes del GEXP resolvían esta cuestión aplicando sus conocimientos sobre la meiosis de las células humanas: “*Si las células humanas tienes 46 cromosomas y los gametos 23, entonces...*”

Las **cuestiones 5** (“Cuál es la secuencia de ADN complementaria de ACCTACACA...”) y **6** (“Escribe el ARN sintetizado a partir de la siguiente secuencia de ADN ...”), son preguntas típicas de exámenes que contemplan los contenidos de Genética Molecular. El criterio de calificación en ambas ha sido aceptar como correctas las respuestas donde todas las bases nitrogenadas se asociasen a su complementaria. Las respuestas correctas en ambos grupos son similares y muy elevadas, sin que se den

diferencias significativas. Podemos decir que *la metodología seguida por el GEXP, que no está basada en el aprendizaje teórico y memorístico, consigue, además de sus propios objetivos, los mismos que la metodología más tradicional seguida por el GCON.*

En la **cuestión 7** (“Cita cuatro aplicaciones de la ingeniería genética”), a la hora de calificarla se ha identificado el número de alumnos que responden con 1, 2, 3 o 4 aplicaciones. En ninguno de los dos grupos hay respuestas en blanco o con un solo ejemplo. Los resultados obtenidos indican que ambos grupos pueden considerarse iguales o bien que las diferencias no son significativas. Esta cuestión es la única en que los porcentajes son más altos para el GCON cuyos alumnos citan cuatro aplicaciones en un porcentaje del 78,94% frente al 53,33% del GEXP. Sin embargo, la variación en el tipo de posibles aplicaciones es mayor en el GEXP. Además las respuestas de 11 sujetos (57,89%) del GCON son idénticas, de hecho son una lista de aplicaciones de la ingeniería genética transcritas en el mismo orden en el que aparecían en sus apuntes (fotocopia que entrega la profesora del grupo control como queda reflejado en el diario de clase recogido en el Apartado 6.3.2.), y todas referentes a la modificación de plantas de cultivo (cultivos protegidos frente a plagas, cultivos resistentes a herbicidas, cultivos con mayor tolerancia al medio, frutos con mejores características y más saludables).

A continuación se recogen los ejemplos citados por ambos grupos:

EJEMPLOS	GEXP	GCON
Modificación de seres vivos		
1. Modificación de individuos en general, transgénicos, clones	33	4
2. Mejora de cultivos y ganado para obtención de alimentos	12	33
3. Producción de medicamentos	0	6
4. Producción de materias primas para la industria	0	10
5. Xenotrasplantes	2	0
Secuenciación del genoma		
6. Determinación del Genoma humano	5	0
7. Identificar nuevas especies de plantas útiles	1	0
Test genéticos		
8. Detectar enfermedades	34	0
9. Determinar paternidades	20	0
10. Investigación policial	9	0

Cuadro 7.21: Ejemplos de aplicaciones de la ingeniería genética propuestos por los estudiantes del GEXP y GCON en la prueba final de contenidos de Genética.

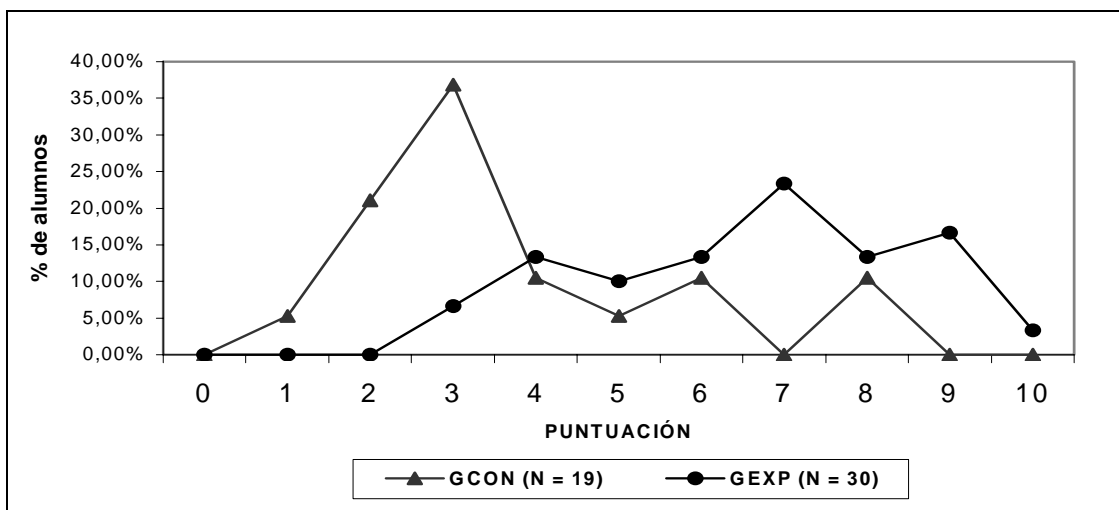
Estos resultados nos indican, que *la metodología seguida permite alcanzar a los estudiantes del GEXP los conocimientos exigidos escolarmente y, además, favorece una visión sobre la ingeniería genética más amplia*. El GCON, dentro del aula, ha trabajado más con los aspectos relativos a la modificación de los seres vivos para su uso en alimentación; y, prácticamente, todos sus ejemplos se refieren a ese tipo de aplicación biotecnológica. El GEXP, aunque trabajó de forma más profunda todos los aspectos relativos a los test genéticos y la terapia génica, propone también ejemplos en otras aplicaciones biotecnológicas

Considerando la parte escolar que implica la valoración de los ejercicios en términos de notas, hemos procedido a puntuarlos siguiendo el criterio de calificación de dos puntos a cada problema y uno a cada una de las cuestiones. En el siguiente cuadro se recogen las notas que van del 0 al 10 en números enteros y el porcentaje de alumnos que obtienen esa puntuación. La nota 0 recoge las calificaciones de 0 a 0,9, y así con el resto de las notas hasta el 9.

NOTAS	GEXP (N = 30)		GCON (N = 19)		U de Mann-Whitney
	N	%	N	%	
0	0	0,00%	0	0,00%	5,5***
1	0	0,00%	1	5,26%	
2	0	0,00%	4	21,05%	
3	2	6,67%	7	36,84%	
4	4	13,33%	2	10,53%	
5	3	10,00%	1	5,26%	
6	4	13,33%	2	10,53%	
7	7	23,33%	0	0,00%	
8	4	13,33%	2	10,53%	
9	5	16,67%	0	0,00%	
10	1	3,33%	0	0,00%	

Cuadro 7.22: Resultados sobre las notas obtenidas por ambos grupos en la prueba final de contenidos de Genética. El valor obtenido apoya la hipótesis alternativa de que el GEXP es significativamente mejor que el GCON (**p<0,001)

Una representación de estos resultados se recoge en la siguiente gráfica, en la que se puede ver que la mayoría de los alumnos del GCON se concentran en torno a la nota de 3; mientras que la mayoría del GEXP están entre las notas de 6 a 9.



Gráfica 7.14 : Porcentaje de alumnos del GEXP y GCON que obtienen una puntuación del 0 al 10 en la prueba escrita de contenidos conceptuales de Genética de la fase final.

Los resultados obtenidos nos permiten concluir que *la MRPI, además de sus propios aprendizajes, permite a los estudiantes alcanzar de forma satisfactoria los objetivos previstos en el currículo escolar para este curso y nivel, incluso con resultados significativamente mejores a los obtenidos por el GCON, que sólo trabajó con el tipo de preguntas y problemas que aparecían en esta prueba.*

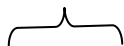

A.2. Segundo estudio: red sistémica de conceptos

A partir de las explicaciones, más o menos explícitas, que los alumnos dan en sus respuestas, en especial en la resolución de los problemas cerrados, se ha elaborado una red sistémica de las mismas.

A pesar de que la prueba final de contenidos no es, en sentido estricto, de tipo abierto, se ha optado por generar una red sistémica porque, además de constatar el aprendizaje conceptual realizado por los estudiantes, la técnica de análisis que se utilizará para la prueba final II de contenidos conceptuales de Genética, que se pasará al GEXP, será esta misma.

Las categorías recogidas, en la siguiente red sistémica, se ajustan a los tres esquemas conceptuales estudiados en la investigación: la localización de la información hereditaria, la herencia padres a hijos, y la herencia de los caracteres adquiridos. Esta última categoría no es tratada de forma explícita en ninguno de los problemas o

cuestiones de la prueba escrita. En principio, los estudiantes no deberían manifestar ninguna idea al respecto. Sin embargo, en la resolución de los problemas realizan afirmaciones sobre sus creencias en cuanto a lo que se hereda o no; e, incluso, algunos intentan explicar la posibilidad de tener hijos no miopes o sin ictiosis en base a posibles mutaciones o cambios producidos por el ambiente.

		GEXP (N =30)		GCON (N =19)		U de Mann-Whitney	
		N	%	N	%		
<i>Localización de información hereditaria</i>	Genes	En cromosomas	21	70%	5	26,31%	105***
		En cromosomas sexuales	5	16,66%	0	0%	
		Sin localizar	4	13,33%	10	52,63%	
	Gametos	0	0%	1	5,26%		
	Ninguna respuesta	0	0%	3	15,78%		
<i>Herencia de padres a hijos</i>	De ambos Padres	al azar y al 50%	24	80%	3	15,78%	84***
		más o menos la mitad aunque más en unos caracteres que en otros	3	10%	4	21,05%	
	De los padres o de los abuelos (sin especificar cómo)		0	0%	3	15,78%	
	Sólo de uno de los padres, del dominante.		3	10%	2	10,52%	
	Ninguna respuesta	0	0%	7	36,84%		
<i>Herencia de caracteres adquiridos</i>	Sólo se hereda la información contenida en los gametos.		26	86,66%	5	26,31%	106***
	El ambiente o las mutaciones pueden afectar en los caracteres que se heredan.		1	3,33%	0	0%	
	Ninguna respuesta		3	10%	14	73,68%	
Simbología:							
 Aspectos paralelos: elecciones simultáneas							
 Alternativas diferentes							

Cuadro 7.23: Red sistémica sobre las ideas que utilizan los estudiantes en la realización de la prueba escrita final sobre contenidos conceptuales de Genética. Los valores en negrita apoyan la hipótesis alternativa de que el GEXP es significativamente mejor que el GCON (***) $p < 0,001$).

Los resultados obtenidos muestran que, de forma significativa, los estudiantes del GEXP tienen un mayor dominio de los conceptos sobre Genética y herencia humana, con ideas más cercanas a la postura científica actual, que los alumnos del GCON. Podemos decir que, tras el proceso de enseñanza aprendizaje, se ha producido un cambio conceptual en el GEXP (recogido en el Apartado 7.2.2.) y no en el GCON que mantiene las mismas ideas que se recogían en la prueba inicial de contenidos (Apartado 7.1.1.).

B. ANALISIS DEL USO DE ESQUEMAS CONCEPTUALES EN LA PRUEBA FINAL DE RESOLUCIÓN DE UN PROBLEMA ABIERTO

Esta prueba, además de permitir analizar diferencias en los procedimientos desarrollados por ambos grupos de investigación (Apartado 7.3.3.), nos da información sobre las diferencias en el uso de las variables de contenidos y complementa el análisis anterior.

En la resolución de un problema abierto es más fácil detectar el nivel de concreción de los distintos esquemas conceptuales, que utiliza el alumnado, porque en su resolución tienen que hacer uso de los mismos de forma explícita. Sin embargo, en la prueba anterior, sólo podíamos identificar uso de conceptos. En el Apartado 7.2.2. se recogen en una tabla los niveles de explicación de cada esquema conceptual (p. 388).

El problema abierto final al que se han enfrentado los estudiantes de ambos grupos es el P₁₂ (Anexo II):

Un matrimonio tiene un hijo que se parece más al padre que a la madre. ¿Cómo puede ser esto posible?

Recordamos que este problema, por su formulación, se corresponde con los que habitualmente se trabajan en Secundaria por trabajar con un modelo de herencia mendeliana y, a nivel conceptual, requerir la utilización de los esquemas conceptuales sobre la localización de la información hereditaria (EC₁), y la herencia de caracteres de padres a hijos (EC₂). Es difícil que un problema aborde los tres esquemas conceptuales

tenidos en cuenta en esta investigación; por ello, el análisis anterior es importante porque nos aporta información sobre el EC₃, la herencia de caracteres adquiridos.

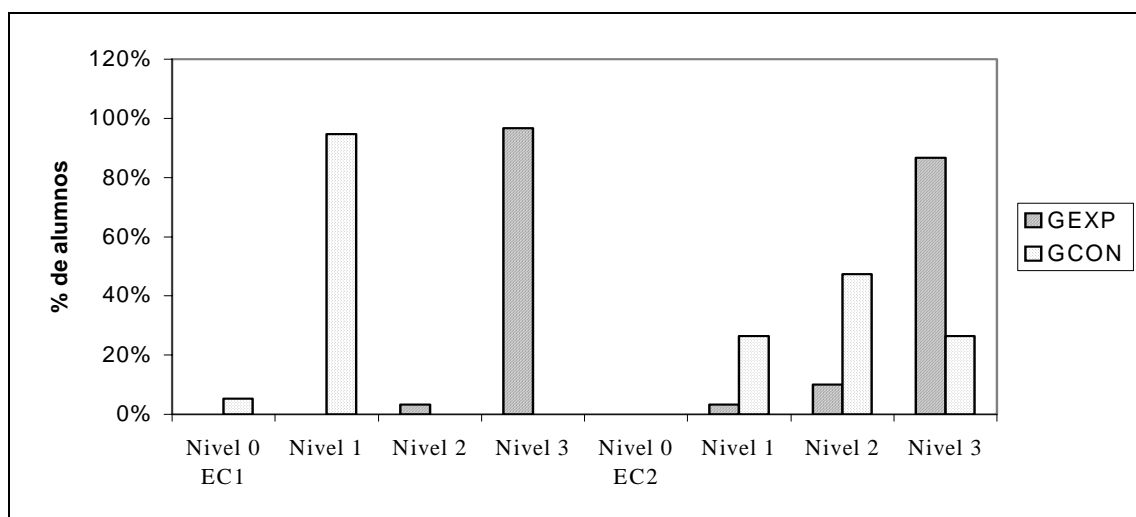
Los resultados obtenidos se recogen en el siguiente cuadro:

ESQUEMAS CONCEPTUALES		GEXP		GCON		U de Mann Whitney
		Nº	%	Nº	%	
EC1: Localización de la información hereditaria	Nivel 0	0	0,00%	1	5,26%	0***
	Nivel 1	0	0,00%	18	94,74%	
	Nivel 2	1	3,33%	0	0,00%	
	Nivel 3	29	96,67%	0	0,00%	
EC2: Herencia de padres a hijos	Nivel 0	0	0,00%	0	0,00%	110***
	Nivel 1	1	3,33%	5	26,32%	
	Nivel 2	3	10,00%	9	47,37%	
	Nivel 3	26	86,67%	5	26,32%	

Cuadro 7.24: Resultados obtenidos del uso de los esquemas conceptuales en la resolución del problema abierto final. Los valores en negrita apoyan la hipótesis alternativa de que el GEXP es significativamente mejor que el GCON (***) $p < 0,001$

Los resultados obtenidos para ambos esquemas conceptuales permiten considerar *de forma significativa que los alumnos del GEXP utilizan los esquemas conceptuales, sobre la localización de la información hereditaria y sobre la herencia de caracteres de padres a hijos, con unos niveles de complejidad más elevados que los alumnos del GCON.*

La representación gráfica de estos datos sería la siguiente:



Gráfica 7.15: Representación de los niveles de uso del EC₁ (Localización de la información hereditaria) y EC₂ (Herencia de padres a hijos) en la resolución de un problema abierto por parte del GEXP y del GCON

A partir del análisis de los resultados de estas dos pruebas, examen clásico y problema abierto, podemos decir que *el GEXP presenta esquemas conceptuales más cercanos a la postura científica actual; mientras que en el GCON están más alejados o son alternativos*, y concluir que:

Existe un aprendizaje significativamente mayor de los conceptos sobre Genética y herencia humana con esquemas conceptuales más cercanos a la postura científica actual a favor del GEXP, que ha trabajado con MRPI, respecto al GCON.

Los resultados que hemos obtenido de los dos grupos, experimental y control, en esta fase de la investigación, difieren enormemente de los que se obtuvieron en la fase inicial de la misma (Apartado 7.1.1). Al inicio de la investigación, ambos grupos, eran homogéneos en cuanto a sus conocimientos sobre los contenidos de Genética; sin embargo, al final de la misma, el GEXP es significativamente mejor. A continuación se recoge, para cada bloque de contenidos, un pequeño resumen de cuál fue la situación de partida de cada grupo y cuál ha sido la situación final.

- En relación con sus ideas sobre **la localización de la información hereditaria**, ambos grupos, dudaban sobre si todos los seres vivos tenían información genética, y sobre si ésta se encontraba o no en los cromosomas, y éstos en las células. Tampoco tenían claro si los genes se encontraban o no en los cromosomas, aunque sí los asociaban a información genética. Al final del aprendizaje realizado, siguiendo dos metodologías distintas, la mayoría de los estudiantes del GEXP localizan los genes en los cromosomas y no exclusivamente en los sexuales o en células como los gametos, y utilizan el nivel más alto de este esquema conceptual (29 de 30 estudiantes); mientras que los estudiantes del GCON mantienen en su mayoría los conocimientos y los esquemas conceptuales previos al aprendizaje (nivel 1).
- Respecto a **la herencia de padres a hijos**, ambos grupos en la prueba inicial sabían que la información de un hijo procede de sus dos padres, aunque desconocían cómo podía pasar esta información de generación a generación. Explicaban algunos casos de herencia como el color de ojos por un proceso de salto de la información de los abuelos a los nietos sin pasar por los padres. Al finalizar el aprendizaje, la mayoría

de los estudiantes del GEXP saben que la información que recibimos procede de cada padre al 50% (uno solo de cada par de cromosomas), que el proceso es totalmente al azar y, que podemos heredar genes que ellos tenían aunque no manifestaban, y se mueven mayoritariamente en el nivel 3 de complejidad en el uso de este esquema conceptual. Sin embargo, los estudiantes del GCON mantienen sus dudas iniciales sobre el proceso de la herencia de caracteres, y siguen admitiendo que se puede heredar más información de un padre que de otro o que existen saltos entre generaciones y, en su nivel de uso de este esquema conceptual, la mayoría mantienen posturas alternativas (nivel 1 y 2).

- En cuanto a **la herencia de caracteres adquiridos**, en la prueba inicial sólo unos pocos estudiantes de cada grupo afirmaban que los caracteres adquiridos, como ponerse moreno, no se transmitía a la descendencia (5 estudiantes del GEXP y 1 del GCON), porque el clima no modifica la información hereditaria (5 del GEXP y 6 del GCON). Al finalizar el aprendizaje la mayoría del GEXP ha modificado sus ideas iniciales hacia otras más correctas desde el punto de vista científico; mientras que en el GCON se mantiene el mismo porcentaje de alumnos que defienden que sólo se hereda la información contenida en los gametos. Es de esperar las mismas diferencias en el nivel de uso de este esquema conceptual.

Por otra parte, debemos resaltar que en otros trabajos (Garret, 1986; Gil y Carrascosa, 1985; Martínez y Varela, 1996), también se recoge la validez de esta metodología en el aprendizaje conceptual, superando los resultados obtenidos por otros tipos de metodologías, y permitiendo que este aprendizaje sea más significativo y útil para el alumnado. Varela (1994) al aplicar la MRPI para el desarrollo de contenidos de Mecánica y Electricidad con alumnos de 3º BUP, obtiene que en ocho de los diez esquemas conceptuales trabajados se habían producido diferencias significativas a favor del GEXP.

Vamos a matizar el contraste de esta subhipótesis con las siguientes apreciaciones:

- ✓ Los estudiantes del GEXP, que han trabajado con una MRPI, modifican sus ideas iniciales, en todos los esquemas conceptuales, hacia otras más científicas a diferencia del GCON que mantiene las iniciales.
- ✓ La MRPI permite que los estudiantes, además de conseguir los objetivos propios de esta metodología, alcancen los objetivos curriculares definidos para su curso y nivel.
- ✓ Los estudiantes del GEXP, frente al GCON, realizan un aprendizaje más significativo y útil de los contenidos conceptuales gracias a la MRPI, lo que les permite realizar razonamientos más profundos sobre la herencia humana, y tener una visión más amplia y variada de las aplicaciones de la ingeniería genética.
- ✓ Los estudiantes del GEXP son capaces de resolver problemas cerrados, con los que no han trabajado, mejor que los estudiantes del GCON, que sí han estado familiarizados con este tipo de problemas, porque hacen uso de los esquemas conceptuales más cercanos a la postura científica actual.

7.3.2. SUBHIPÓTESIS FINAL I-2: CONTRASTE DE LAS DIFERENCIAS EN EL APRENDIZAJE DE LOS CONTENIDOS CONCEPTUALES SOBRE LA NATURALEZA DE LA CIENCIA

La formulación completa de esta Subhipótesis es la siguiente:




Existe un aprendizaje significativamente mayor de los contenidos conceptuales sobre la Naturaleza de la Ciencia a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON.

Los estudiantes de ambos grupos han realizado la siguiente prueba final de contenidos sobre la Naturaleza de la Ciencia:

1. ¿Qué entiendes por Ciencia?
2. ¿Cuáles de estas profesiones consideras que es una actividad científica trabajos en: biología, cocina, contabilidad, física, ingeniería, química, matemáticas, mecánica?, ¿por qué?, ¿hay alguna que consideres la más científica?.
3. ¿Cómo crees que se trabaja o se hace Ciencia?
4. ¿Qué es una hipótesis?, y ¿una teoría?
5. ¿En qué momento, dentro de una investigación sobre Genética, se puede realizar un experimento?
6. Indica las características que creas debe tener una persona para ser un científico/a.
7. Cuando los científicos, sobre una misma investigación, llegan a resultados diferentes, ¿a qué crees que es debido?
8. Muchas teorías científicas han sido reemplazadas por otras nuevas. ¿Por qué crees que ha sido?
9. ¿Qué entiendes por Tecnología?, ¿y por biotecnología?
10. Pon ejemplos de avances científicos, y de avances tecnológicos, en el campo de la Biología
Avances científicos:
Avances tecnológicos:

La prueba recoge la misma gama de aspectos, relativos a la Naturaleza de la Ciencia, que se analizaron en la prueba inicial, pero esta vez de forma abierta; por ello, los resultados aparecen en forma de red sistémica en el siguiente cuadro.

		GEXP (N =30)		GCON(N=19)		U de Mann-Whitney	
		Nº	%	Nº	%		
<i>La Ciencia es</i>	Conocimiento	Que surge tras seguir unas pautas o criterios y ser comprobado	6	20%	2	10,52%	188,5**
		Relacionado con avance, tecnología ...	7	23,33%	2	10,52%	
	Estudio de	La Naturaleza y el por qué de las cosas	22	73,33%	10	52,63%	
		Una asignatura	0	0%	2	10,52%	
	No lo sé	1	3,33%	3	15,78%		
<i>La Ciencia se hace</i>	Resolviendo problemas. (Siguiendo un método de análisis, creación de hipótesis, experimentación, análisis de resultados)		12	40%	2	10,52%	127***
	Realizando acciones de	Experimentar, investigar	18	60%	8	42,10%	
		Observar y Estudiar	5	16,66%	6	31,57%	
	No lo sé	0	0%	5	26,31%		
<i>Los experimentos se realizan</i>	Tras pasos previos en la resolución de un problema como el análisis de la situación, el planteamiento de hipótesis		25	83,33%	3	15,78%	68,5***
	Otros momentos	En varios momentos para ir comparando	3	10%	3	15,78%	
		Cuando se tienen datos	1	3,33%	1	5,26%	
		Al final para comprobar resultados	1	3,33%	8	42,10%	
	No lo sé	0	0%	4	21,05%		
<i>Las hipótesis son</i>	Conjeturas sobre	Posibles resultados de una investigación, Algo que puede ser verdad o no	30	100%	4	21,05%	52***
			0	0%	10	52,63%	
	Teoría no comprobada		0	0%	2	10,52%	
	No lo sé		0	0%	3	15,78%	
<i>Las teorías son</i>	Conocimiento	Establecido, lo que ya se sabe, y es la base.	4	13,33%	8	42,10%	362
		Probado, investigación	22	73,33%	9	47,36%	
	Algo parecido a una hipótesis		1	3,33%	0	0%	
	No lo sé		3	10%	2	10,52%	
<i>Los científicos obtienen resultados diferentes</i>	Uso de diferentes teorías, datos, etc.		6	20%	4	21,05%	235,5
	Uso de diferentes enfoques o hipótesis de trabajo		27	90%	11	57,89%	
	Errores en el desarrollo de la investigación		4	13,33%	4	21,05%	
	No lo sé		0	0%	2	10,52%	

<i>Cambios de teoría</i>	Nuevos descubrimientos teóricos		15	50%	4	21,05%	196,5*
	Nuevos avances tecnológicos (medios de investigar)		7	23,33%	6	31,57%	
	Nuevas comprobaciones por nuevos estudios o hipótesis		10	33,33%	5	26,31%	
	Las teorías antiguas son erróneas, y las nuevas son más creíbles y elaboradas		3	10%	8	42,10%	
<i>Características de los científicos</i>	Tener conocimientos de su Ciencia		17	56,66%	7	36,84%	196**
	Inteligencia	Ser listo	3	10%	11	57,89%	
		Imaginación, creatividad, para resolver problemas	14	46,66%	0	0%	
	Interés curiosidad		18	60%	7	36,84%	
	Trabajador tenaz, responsable, ordenado, hábil, perfeccionista...		8	26,66%	7	36,84%	
	Otras (buena persona, solitario, valiente)		2	6,66%	4	21,05%	
No lo sé		0	0%	3	15,78%		
<i>Tecnología y Biotecnología son</i>	Tecnología	Máquinas e inventos	25	76,66%	3	15,78%	97***
		Estudio de técnicas, etc.	2	6,66%	10	52,63%	
		Ayuda a otras ciencias	3	10%	3	15,78%	
		No lo sé	0	0%	3	15,78%	
	Biotecnología	Aplicación de la tecnología a la Biología	24	80%	15	78,94%	274
		Estudio de cosas diversas	4	13,33%	0	0%	
No lo sé		2	6,66%	4	21,05%		
<i>Diferencias entre Ciencia y Tecnología</i>	Avances Científicos	Conocimientos teóricos	26	86,66%	14	73,68%	238
		Instrumentos y técnicas	4	13,33%	0	0%	
		No lo sé	0	0%	5	26,31%	
	Avances Tecnológicos	Conocimientos teóricos	0	0%	3	15,78%	157***
		Instrumentos y técnicas	30	100%	11	57,89%	
		No lo sé	0	0%	5	26,31%	
Simbología:							
 Aspectos paralelos: elecciones simultáneas							
 Alternativas diferentes							
 Recursión: posibilidad de repetición							

Cuadro 7.25: Red sistémica de los resultados de la prueba final sobre la Naturaleza de la Ciencia. Los valores en negrita apoyan la hipótesis alternativa de que el GEXP es significativamente mejor que el GCON (***) $p < 0,001$, (**) $p < 0,01$ (* $p < 0,05$)

Los resultados obtenidos nos permiten apreciar *diferencias significativas entre las respuestas de ambos grupos, en especial, en los aspectos relativos a la epistemología* (qué es la Ciencia, cómo se hace Ciencia, cuándo se realizan experimentos, qué son las hipótesis, el por qué de la evolución de las teorías científicas, las características de un científico). También presentan *diferencias significativas en sus*

ideas sobre lo que es la Tecnología y los avances tecnológicos. Las respuestas de ambos grupos se pueden considerar homogéneas en relación con lo que son la teorías, y lo que es la Biotecnología y los avances científicos.

Vamos a analizar las ideas reflejadas por los estudiantes en cada uno de los cuatro aspectos sobre la Naturaleza de la Ciencia que se han tenido en consideración. Para ello, hemos seleccionado ejemplos de las contestaciones más relevantes de los estudiantes de ambos grupos, tanto si son respuestas idénticas como dispares.

Ideas sobre cómo se trabaja en Ciencia.

Respecto a la idea general que tienen los estudiantes sobre **qué es la Ciencia**, la mayoría de ellos, en ambos grupos, la relacionan con el estudio de la Naturaleza o del por qué de las cosas (73,33% del GEXP, y 52,63% del GCON). Ejemplos de respuestas de ambos grupos son para el GEXP: A.2 *“Ciencia es el estudio que trata de todo lo relacionado con la naturaleza y las fuerzas de ella”*; y para el GCON: A.’17: *“Es lo que estudia todo lo relacionado con nuestro entorno”* La visión de la Ciencia que transmiten los alumnos en esta primera cuestión es simplista e inductivista, la Ciencia como acumulación de conocimientos que se obtienen por observación de la Naturaleza (Gil, 1993a).

Por otra parte, la Ciencia como un conjunto de conocimientos, que surgen de una determinada forma de trabajar, es identificada por 6 de los estudiantes (20%) del GEXP, frente a tan sólo 2 del GCON (10,52%). Ejemplos de respuestas son, del GEXP: A.4 *“Yo entiendo por Ciencia todo aquello que ha tenido que pasar por una comprobación, experimento, es decir, todo aquello que ha sido comprobado y desarrollado según unas pautas y criterios”*, A.19 *“Para mí, la Ciencia, es cuando un grupo de personas se ponen a investigar sobre un determinado problema, realizan experimentos, inventan cosas o realizan teorías”*; y del GCON: A.’11 *“El método o métodos de estudio que estudian un campo determinado; por ejemplo, la Biología es la ciencia que estudia la vida”*, A.’ 19 *“Conjunto de acciones que explican el por qué de las cosas y lo demuestran con teorías”*. En estas respuestas los estudiantes transmiten una visión de la Ciencia como proceso; aunque, en el GEXP, se refleja la idea del problema a resolver, de la comprobación; mientras que, en el GCON, el proceso es más rígido porque tiene que seguir un protocolo, un método. Es de destacar que sólo en el GCON se identifica a

la Ciencia como una asignatura (15,73%), y un porcentaje igual de estudiantes de este grupo no responden a la cuestión.

Sobre las ideas de **cómo se hace Ciencia**, un 40% de los estudiantes del GEXP indican las mismas fases de resolución de problemas que ellos siguieron al trabajar con problemas de Genética (A.3: *“Analizando, improvisando, haciendo hipótesis, haciendo estrategias, y dando resultados”*; A.28: *“Como los problemas que hemos hecho, planteando hipótesis e intentando demostrarla”*). Los estudiantes del GCON identifican el trabajo científico mayoritariamente con acciones aisladas de experimentar, o de estudiar y observar sin identificar unas pautas de trabajo (A.’9 *“Creo que se trabaja haciendo muchos experimentos y muchas investigaciones”*, A.’19 *“Experimentando. Haciendo reaccionar unas cosas con otras para ver si pueden ser buenas para el ser humano”*). Nos volvemos a encontrar un número importante de alumnos del GCON (26,31%) que no dan ninguna respuesta.

En cuanto al **papel de los experimentos** dentro de una investigación y, el momento en qué se deben realizar, la influencia de la MRPI en las respuesta del GEXP es evidente. El 83,33% de estos estudiantes indican que los experimentos se hacen tras el análisis de la situación y el planteamiento de la hipótesis que se quiera comprobar, tal y como ellos han estado trabajando en el aula. Un ejemplo de respuesta sería: A.1 *“Cuando hayas realizado los análisis, es decir, cuando ya se ha analizado la situación, los factores, etc., se realiza una hipótesis y después la verificamos con el experimento o la resolución del problema”*. Sin embargo, en el GCON, sólo el 15,78% de los estudiantes dan una respuesta similar (A.’8 *“Cuando se tiene una hipótesis de ello y se quiere comprobar”*). La mayoría de estos estudiantes contestan que los experimentos se realizan al final para comprobar u obtener resultados, o que no lo saben (A.’7 *“Cuando se sabe con certeza lo que va a pasar”*), respuesta muy acorde con la visión empirista de la actividad científica que han manifestado en cuestiones anteriores.

La idea de los estudiantes sobre **qué es una hipótesis**, también refleja posturas opuestas sobre la Naturaleza de la Ciencia en ambos grupos. Todos los alumnos del GEXP identifican una hipótesis con el posible resultado que se espera en una investigación, tras la realización de un análisis o estudio del problema, y antes de entrar en la experimentación (A.7 *“Una hipótesis es una suposición acerca de un problema a*

la hora de resolverlo”, A.23 “Una hipótesis es algo que tu planteas antes de realizar una investigación”). Los estudiantes del GCON (52.63%) también identifican el término hipótesis con una conjetura sobre algo; pero sin relación con el proceso de investigación (A.’ 6 “La hipótesis es algo que no está seguro”). Sólo 4 estudiantes (21.05%), asocian las hipótesis con trabajos de investigación (A.’11 “Una idea que aún no es segura del todo, algo que se cree pero todavía no se ha comprobado”).

Desde un punto de vista epistemológico una hipótesis científica es un enunciado verificable con cierto grado de generalidad; y, por lo tanto, no cualquier proposición o afirmación tiene que serlo (Bunge, 1987) y, como se aprecia en las respuestas, esto es lo que diferencia al GCON respecto al GEXP.

Ideas sobre lo que es una teoría

Un porcentaje elevado de estudiantes de ambos grupos definen teoría como un tipo de conocimiento, o bien demostrado o resultante de una investigación. Ejemplos de respuestas son, para el GEXP: A.10 “Una teoría es una idea que ya se ha verificado y hemos visto que es válida. Anteriormente ésta había sido una hipótesis”; y del GCON: A.’9 “Una teoría es algo confirmado”. El **concepto de teoría** está presente en la enseñanza de las Ciencias porque los contenidos se explican dentro de las teorías científicas en los que se encuentran.

La diferencia entre ambos grupos no está en la forma en que se define una teoría sino en cómo se genera. Los estudiantes del GEXP no sólo han oído hablar de la teoría cromosómica de la herencia en el aula, sino que la han tenido que aplicar en el análisis cualitativo de cada problema que resolvían; y, por ello, han asumido que la Ciencia es un proceso de creación, y esto explica que, la idea de la teoría científica como un conocimiento establecido, fijo, es mantenida por sólo un 13,33% del GEXP frente al 42,10% del GCON (A.’17 “Una teoría es algo que lleva mucho tiempo allí y que te sirve de guía para realizar una investigación”).

El conocimiento científico como un **proceso de construcción** que evoluciona y sufre cambios se refleja en dos cuestiones de la encuesta.

A la pregunta de por qué los científicos podían obtener resultados diferentes en una misma investigación, la respuesta más frecuente en ambos grupos es que los científicos trabajan con distintas teorías, datos o hipótesis. Sin embargo, la idea de distintas hipótesis de trabajo como respuesta aparece en el GEXP con un porcentaje (90%) muy superior al del GCON (57,89%). Algunos ejemplos de respuesta son, para el GEXP: A.1 “*A las diferentes hipótesis, a los diferentes modos de ver y realizar una cosa, porque todo no tiene un solo camino*”, A.12 “*A que cada uno ha planteado una hipótesis diferente y por lo tanto sus resoluciones son distintas. Al principio una hipótesis puede parecer lógica, pero al acabar el problema puedes apreciar si la hipótesis era correcta o equivocada*”; y para el GCON: A.’ 6 “*Porque han utilizado métodos diferentes*”, A.’ 19 “*A diferentes puntos de vista, o a poca claridad a la hora del experimento*”.

En cuanto, a por qué las teorías científicas cambian a lo largo del tiempo, la diferencia significativa, desde el punto de vista epistemológico, entre las respuestas de ambos grupos, es que la visión mayoritaria de los estudiantes del GCON (42,10%) es la de la Ciencia fuera de su contexto histórico, donde lo actual es lo bueno y lo anterior no sirve (A.’12 “*Porque han aparecido otras teorías nuevas mucho más fiables y creíbles*”). Esta idea sólo es mantenida por un 10% de los estudiantes del GEXP; mientras que el resto se decanta por nuevos descubrimientos teóricos o tecnológicos, o diferentes hipótesis, para explicar la evolución de las teorías científicas. Podemos decir que los estudiantes del GCON siguen manteniendo visiones de la Ciencia como algo acumulativo, lineal, aproblemático, ahistórico, y descontextualizado (Gil, 1993a).

Ideas sobre los científicos.

Sobre las aptitudes, conocimientos o destrezas, que los estudiantes han asignado a los científicos, los del GCON mantienen sus estereotipos sobre los mismos. Éstos se decantan, en su mayoría, por la inteligencia, y en segundo lugar por el conocimiento y el interés (A.’15 “*Creo que debe ser inteligente al máximo y ser bueno en la materia*”, A.’19 “*Tenaz, inteligente, paciente, solitario, perfeccionista, autoexigente, interesado en el tema*”). Sin embargo, en el GEXP se valora por igual la importancia de estos tres aspectos: inteligencia, conocimiento e interés. La diferencia está, también, en que la idea de inteligencia es mucho más amplia en el GEXP, donde muchos alumnos la asocian a tener imaginación y creatividad que les permita resolver problemas (A.1

“Debe ser inteligente, creativo, con facilidad de coger las cosas, con una mente muy abierta y que saque conclusiones por sí mismo”). La creatividad y la imaginación son imprescindibles en el proceso de creación que supone la Ciencia, y la MRPI ha permitido a los estudiantes del GEXP darse cuenta de ello. La relación entre la resolución de problemas y la creatividad ha sido tratada por Garret (1986,1987; 1988) en diversos trabajos y, como recoge este autor, Debney (1971, cit. en Garret, 1988) ya describía el proceso de solucionar problemas como pensamiento creativo, dependiendo del grado de utilidad y originalidad que incluya el problema.

Ideas sobre las relaciones C-T-S.

Las respuestas de ambos grupos sobre lo qué es **la Tecnología** difieren, aunque es difícil precisar si son realmente muy dispares. La tecnología como algo relacionado con máquinas, inventos, y técnicas es recogido por un 76,66% de sujetos del GEXP y por sólo un 15,78% del GCON (A.14 *“Ciencia que consiste en crear máquinas que faciliten la calidad de vida, el trabajo”*). La mayoría de los alumnos del GCON asocian la Tecnología a disciplinas o estudios de diversas cosas, incluidas las máquinas y técnicas (A'.10 *“Los estudios de matemáticas que comprueban las investigaciones”*, A.'11 *“Ciencia que estudia las innovaciones creadas por el hombre”*).

En cuanto a cómo definen **Biotecnología**, la mayoría de los alumnos dicen que es ‘la aplicación de la tecnología a la Biología’ sin dar mayores explicaciones (73,33% del GEXP y 73,68% del GCON).

Respecto a las **diferencias entre Ciencia y Tecnología**, podemos ver las asociaciones que realizan los estudiantes al identificar avances científicos y tecnológicos.

Los avances científicos se relacionan, en ambos grupos y en porcentajes muy altos, con avances en el desarrollo teórico de la Ciencia (86,66% en el GEXP, y 73,68% en el GCON) . La mayoría de los ejemplos se refieren a cuestiones relacionadas con la Medicina (vacunas, medicamentos, estudios del aparato circulatorio, etc.), y sobre todo a los nuevos descubrimientos en Genética (genoma humano, transgénicos, clonación, etc.). Sin embargo, todo los estudiantes del GEXP relacionan los avances tecnológicos con el desarrollo práctico de la Ciencia, con nuevos instrumentos y técnicas, frente al

57,89% de los estudiantes del GCON. El resto del GCON o no responde o los asocia con avances teóricos. Los ejemplos de avances tecnológicos se centran en instrumentos utilizados en medicina (radiografías, microscopios, escáner, etc.), en medios de transporte y en medios de comunicación.

Algunos ejemplos de respuestas son:

GEXP: A.6 *“Avances científicos son el conocimiento del Genoma humano y el conocimiento de nuevas enfermedades. Avances tecnológicos son máquinas capaces de actuar como un corazón o que le ayuden a funcionar, o máquinas que sin atravesar la piel de la madre pueden ver al bebé que se encuentra en el interior”*

GCON: A. 12 *“Avances científicos son las clonaciones, y el desciframiento del código genético. Avances tecnológicos son la protección de cultivos y los antibióticos”*

El análisis realizado de los datos obtenidos con esta prueba nos permite aceptar la hipótesis alternativa de este apartado:

Existe un aprendizaje significativamente mayor de los contenidos conceptuales sobre la Naturaleza de la Ciencia a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON.

Al inicio de la investigación, ambos grupos eran considerados homogéneos en cuanto a sus conocimientos sobre la Naturaleza de la Ciencia (Apartado 7.1.2); sin embargo, al final de la misma, los estudiantes del GEXP han asumido que la forma en la que han trabajado en el aula se corresponde, o es lo más parecido, al trabajo de los científicos; y por eso presentan una visión de la Naturaleza de la Ciencia significativamente más correcta desde el punto de vista epistemológico. Los estudiantes del GEXP tienen una visión de la Naturaleza de la Ciencia y la Tecnología más cercana a la que mantienen en la actualidad los filósofos y epistemólogos.

Las diferencias que presentan los estudiantes del GEXP y GCON al finalizar su aprendizaje son a grandes rasgos las siguientes:

- ✓ Los estudiantes del GEXP, que han trabajado con una MRPI, modifican sus ideas iniciales sobre el trabajo de investigación identificando la Ciencia con un proceso de

creación que surge como respuesta a la resolución de un problema. Los estudiantes del GEXP presentan una visión más actualizada de la Naturaleza de la Ciencia respecto a una visión empirista, que es mantenida por el GCON.

- ✓ La MRPI ha permitido a los estudiantes del GEXP asumir que las teorías científicas pueden cambiar a lo largo del tiempo ante nuevos avances teóricos o prácticos, o ante el planteamiento de nuevas hipótesis de trabajo. Los estudiantes del GCON mantienen sus ideas iniciales sobre las teorías como conocimiento establecido y verdadero.
- ✓ Los estudiantes del GEXP, al trabajar con la MRPI, identifican en los científicos las características que ellos han considerado necesarias en su trabajo en el aula. Por ello ven a los científicos como personas que tiene una mente abierta, capaz de resolver problemas con imaginación y creatividad, a diferencia del GCON que mantiene estereotipos como que los científicos son sabios, inteligentes y perfeccionistas.
- ✓ Las ideas que sobre Tecnología y Biotecnología tienen ambos grupos al final del aprendizaje no difieren de las que presentaban al inicio. Sin embargo, los estudiantes del GEXP diferencian de forma más clara, que los del GCON, los avances científicos de los tecnológicos.

7.3.3. SUBHIPÓTESIS FINAL I-3: CONTRASTE DE LAS DIFERENCIAS EN EL APRENDIZAJE DE LOS PROCEDIMIENTOS DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS ABIERTOS Y CERRADOS

Esta subhipótesis está definida de la siguiente forma:

Existe un aprendizaje significativamente mayor de los procedimientos de resolución de problemas (abiertos y cerrados) a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON.

Gracias al análisis realizado en el Apartado 7.2.1 sabemos que los estudiantes del GEXP han evolucionado de forma significativa en su aprendizaje de la MRPI. En esta Subhipótesis, planteamos que este aprendizaje realizado por el GEXP, va a ser significativamente mayor que el aprendizaje, del mismo tipo de procedimientos, por parte del GCON.

Para el contraste de esta hipótesis vamos a analizar los resultados obtenidos por ambos grupos en la resolución de problemas abiertos y cerrados.

A. ESTUDIO DE LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS ABIERTOS

Ambos grupos se han enfrentado, al final de su aprendizaje sobre la Genética y la herencia humana, a la resolución de un problema abierto (P_{12}):

“Un matrimonio tiene un hijo que se parece más al padre que a la madre. ¿Cómo puede ser esto posible?”
--

El problema seleccionado para esta prueba es sobre parecidos familiares, y por su formulación se corresponde con los que habitualmente se trabajan en Secundaria. Por lo tanto, puede ser resuelto por cualquier alumno que haya estudiado Genética, independientemente de la metodología seguida.

El GCON no ha trabajado con problemas abiertos; entonces, ¿por qué medir las diferencias entre ambos grupos en la forma de resolver este tipo de problemas?

Sabemos que el GEXP ha mejorado de forma significativa en el uso de estrategias de resolución de problemas; pero desconocemos el aprendizaje de procedimientos realizado por el GCON. Este grupo ha sido entrenado en la resolución de problemas cerrados y puede que haya desarrollado estrategias que deban compararse con las del GEXP para determinar si las diferencias son significativas.

La valoración de la resolución del problema por parte del GCON, que no se ha entrenado en la MRPI, ha consistido en diferenciar si realizaban análisis cualitativo del problema, emisión de hipótesis, etc., aunque no identificasen claramente estas fases en su proceso de verbalización.

Dentro de la resolución de un problema abierto se miden tres tipos de variables: metodológicas (VM), verbalización (VV) y contenidos (VC). Las VC ya han sido analizadas en el Apartado 7.3.1. de este capítulo, al realizar el contraste de la subhipótesis referente al aprendizaje de conceptos sobre Genética y herencia humana. Por lo tanto, en relación con los procedimientos nos interesan las VM y las VV. Recordamos que cada variable tiene una valoración del nivel 0 al 3, y que la resolución de este problema, y los criterios de calificación, se encuentran en el Anexo II (ver niveles de la VV en p. 374, y de las VM en el Anexo II).

En el siguiente cuadro se recogen los datos relativos a la resolución del problema abierto final:

VARIABLES		GEXP (N= 30)		GCON (N = 19)		U de Mann-Whitney
VARIABLES METODOLÓGICAS		Nº	%	Nº	%	
VM1 Análisis cualitativo del problema	Nivel 0	0	0,00%	18	94,74%	0,5****
	Nivel 1	1	3,33%	1	5,26%	
	Nivel 2	13	43,33%	0	0,00%	
	Nivel 3	16	53,33%	0	0,00%	
VM 2 Emisión de hipótesis	Nivel 0	0	0,00%	0	0,00%	147****
	Nivel 1	5	16,67%	4	21,05%	
	Nivel 2	0	0,00%	10	52,63%	
	Nivel 3	25	83,33%	5	26,32%	
VM3 Elaboración de estrategias de resolución	Nivel 0	0	0,00%	19	100,00%	1****
	Nivel 1	3	10,00%	0	0,00%	
	Nivel 2	1	3,33%	0	0,00%	
	Nivel 3	26	86,67%	0	0,00%	
VM4 Resolución del problema	Nivel 0	0	0,00%	16	84,21%	46****
	Nivel 1	6	20,00%	1	5,26%	
	Nivel 2	7	23,33%	0	0,00%	
	Nivel 3	17	56,67%	2	10,53%	
VM5 Análisis de los resultados	Nivel 0	1	3,33%	19	100,00%	13****
	Nivel 1	8	26,67%	0	0,00%	
	Nivel 2	18	60,00%	0	0,00%	
	Nivel 3	3	10,00%	0	0,00%	
VARIABLE DE VERBALIZACIÓN						
VV0	Nivel 0	0	0,00%	19	100,00%	2****
VV1	Nivel 1	5	16,67%	0	0,00%	
VV2	Nivel 2	3	10,00%	0	0,00%	
VV3	Nivel 3	22	73,33%	0	0,00%	

Cuadro 7.26: Resultados de la prueba final de procedimientos. Los valores en negrita apoyan la hipótesis alternativa de que el GEXP es significativamente mejor que el GCON (***) $p < 0,001$

Los resultados muestran de forma muy clara que *hay diferencias significativas en los procedimientos de resolución de problemas abiertos que aplican los alumnos de ambos grupos, y en la verbalización del proceso, a favor del GEXP.*

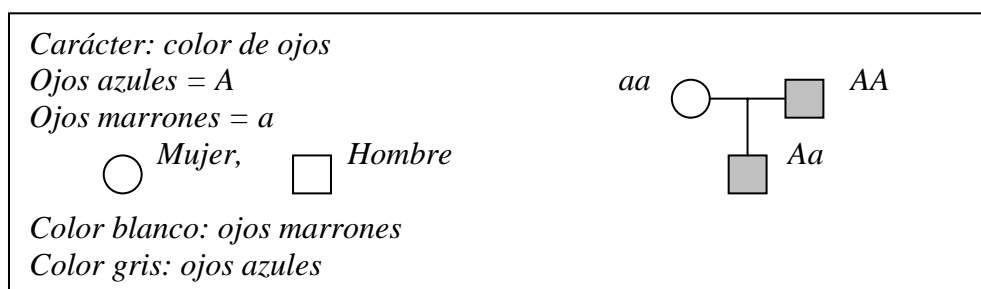
Dentro de las VM, es la VM2 o de emisión de hipótesis donde los estudiantes del GCON presentan un mayor grado de realización, aunque significativamente inferior al GEXP. Recordamos que en el Apartado 7.2.1 se vio que era fácil para los estudiantes plantear hipótesis, o posibles respuestas, a problemas muy cercanos a su vida diaria; y, las cuestiones de Biología, les son muy familiares. La mayoría de los estudiantes del GCON plantean una posible respuesta (hipótesis) del problema, que puede ser correcta desde el punto de vista de la teoría cromosómica de la herencia, pero que no surge de ningún análisis previo de la misma. Muy pocos estudiantes del GCON analizan la situación antes de emitir su hipótesis, y ninguno plantea una estrategia de resolución, o un análisis de resultados.

En cuanto a la verbalización en el proceso de resolución se detectan grandes diferencias entre los estudiantes de ambos grupos. La resolución de problemas siguiendo una MRPI requiere por parte del alumno una mayor explicitación de sus ideas, y de lo que hace en cada momento. Los alumnos del GCON no justifican su proceso de resolución porque en su gran mayoría consideran que dar una respuesta concreta al problema es solucionarlo. Ejemplos de este tipo de soluciones son: A.'9 “Porque uno de los genes que el padre ha pasado a su hijo es dominante sobre el gen recesivo que ha pasado al hijo su madre”, A.'15 “Porque el hijo ha heredado más genes del padre que de la madre”.

A continuación se recogen dos resoluciones, de las más complejas, realizadas por alumnos de ambos grupos:

GCON (A.'3):

“Porque el padre, de cada uno de los caracteres, tenía más alelos dominantes que la madre, o el padre era homocigótico. Por ejemplo, el niño tienen los ojos azules del padre porque:



Y esto además de con el color de ojos, ocurre con más caracteres, como la forma de la cara, etc.”

GEXP (A.28):

“1. Análisis del problema: El problema nos plantea una situación en la que un niño/a se parece más al padre que a la madre, y tengo que deducir las causas de esto. Voy a tomar como parecido al parecido físico porque es lo que vulgarmente se entiende como que se parece más al padre.

Para resolverlo voy a analizar un par de factores o tres según el tiempo que tenga: el 1º va a ser el color de pelo, el segundo el color de ojos, y si me diera tiempo el grosor de la nariz. Tanto el fenotipo como el genotipo del padre, la madre y el hijo me los voy a inventar pues no lo conozco.

Voy a trabajar teniendo en cuenta que los genes de cada factor están en sólo 1 cromosoma y que cada gen tiene tan sólo 2 alelos y que dentro de estos el dominante se le va a poner la letra D y para el recesivo la letra R. y las formas de nombrar a los fenotipos los iré definiendo a la largo del problema.

2. Elaboración de hipótesis. Mi hipótesis consiste en que el bebé se parece más al padre porque los alelos del niño que ha recibido del padre son dominantes a los que ha recibido de la madre. Por lo cual predominan a los de la madre por lo que su fenotipo es igual al del padre.

3. Elaboración de estrategias. Voy a hacer un análisis gráfico de 2 o 3 factores: color de pelo, color de ojos y grosor de nariz. Me he basado, para resolver el problema, en la teoría genética estudiada en clase y en los problemas que anteriormente he hecho y en la correcciones que he tenido en ellos.

<u>Color de pelo</u>	
C^D = Moreno	C^D C^D
C^R = Rubio	C^R$ | C^D C^R$ | $C^D C^R$
Genotipo del padre: $C^D C^D$; fenotipo: Moreno	C^R$ | C^D C^R$ | $C^D C^R$
Genotipo de la madre: $C^R C^R$, fenotipo: Rubio	
Descendencia: 100% heterocigóticos, 100% Morenos	
<u>Color de ojos</u>	
O^D = Marrón	O^D O^D
O^R = Verde	O^R$ | O^D O^R$ | $O^D O^R$
Genotipo del padre: $O^D O^D$; fenotipo: Marrón	O^R$ | O^D O^R$ | $O^D O^R$
Genotipo de la madre: $O^R O^R$, fenotipo: Verde	
Descendencia: 100% heterocigóticos, 100% Marrones	
<u>Grosor nariz</u>	
G^D = Nariz gruesa	G^D G^D
G^R = Nariz fina	G^R$ | G^D G^R$ | $G^D G^R$
Genotipo del padre: $G^D G^D$; fenotipo: N. gruesa	G^R$ | G^D G^R$ | $G^D G^R$
Genotipo de la madre: $G^R G^R$, fenotipo: N. fina	
Descendencia: 100% heterocigóticos, 100% N. gruesa	

4. Resolución del problema. En el paso anterior he podido demostrar mi hipótesis al 100%, pues el 100% de posibilidades son las que han tenido de que el hijo tenga el mismo fenotipo del padre, aunque el hijo sea heterocigótico, y el padre homocigótico. Es decir, aunque no tenga el mismo genotipo sí tienen el mismo fenotipo. En los tres casos han salido los genotipos del bebé con un alelo dominante y otro recesivo por lo que el fenotipo es dominante, al igual que el padre.

5. Análisis de resultados. Creo que mi hipótesis era cierta, pues he podido demostrar que se podría dar un caso en el que un hijo se pareciera más al padre que a la madre; y en mi investigación he dado un caso supuesto en el que se ha cumplido al 100% de los casos. Aunque creo que también podría haber otros casos en los que también se podría dar; y al ir resolviendo el problema me he dado cuenta, pero se cumpliría en menor proporción; este caso sería en el que el padre es heterocigótico y la madre homocigótica recesiva, y el bebé coge el alelo dominante del padre y uno recesivo de la madre, pero esto se daría en el 50% de

los casos. Esto se explicaría gráficamente así: (lo voy a explicar con el color de ojos)

<u>Color de pelo</u>			
C^D = Moreno			C^D C^R
C^R = Rubio			
Genotipo del padre: $C^D C^R$; fenotipo: Moreno		C^R	$C^D C^R$ $C^R C^R$
Genotipo de la madre: $C^R C^R$, fenotipo: Rubio			
Descendencia: 50% Rubios, 50% Morenos		C^R	$C^D C^R$ $C^R C^R$

En el 50% de Morenos sí se cumpliría”.

B. ESTUDIO DE LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS CERRADOS

Retomando la prueba inicial de contenidos de Genética, elaborada por la profesora del GCON, podemos analizar los resultados obtenidos por ambos grupos en la resolución de los tres problemas cerrados que se plantean.

Los resultados que se recogían en el cuadro 7.20, para estos problemas cerrados, eran:

PROBLEMAS	G.EXP (N = 30)		G.CON (N = 19)		U de Mann-Whitney
	N	%	N	%	
1. La miopía es debida a un gen dominante; su alelo recesivo produce una visión normal. ¿Un hombre y una mujer miopes podrán tener un hijo de visión normal?	21	70%	5	26,31%	160,5**
2. La ictiosis es debida a un gen en situado en el segmento diferencial del cromosoma Y. Un hombre con ictiosis, ¿podrá tener hijos varones que no posean esta enfermedad?	22	73,33%	3	15,78%	121***
3. La coiloniquia es una malformación en las uñas que tienen forma de cuchara.					
a) Determina el genotipo de los individuos del siguiente árbol genealógico.	16	53,33%	0	0%	148***
b) b) ¿Cómo crees que es la herencia del carácter? ¿Qué alelo crees que es dominante?	16	53,33%	5	26,31%	208*

(***p<0,001; **p<0,01; *p<0,05)

A partir de estos datos, podemos decir que *hay diferencias significativas en los procedimientos de resolución de problemas cerrados que aplican los estudiantes de ambos grupos, a favor del GEXP.*

Vamos a estudiar las resoluciones de los estudiantes de ambos grupos para poder identificar los factores que hacen que el GEXP, que hasta el momento no había trabajado con problemas cerrados de Genética, los resuelva significativamente mejor que el GCON que sólo ha trabajado con este tipo de problemas. En este análisis más detallado, vamos a incluir los ejemplos más representativos de los aspectos que se pretendan resaltar, en algunos casos los fallos más comunes, y en otras las semejanzas o diferencias, en el tipo de resolución o razonamiento.

Problema cerrado 1: “La miopía es debida a un gen dominante...”

El criterio de calificación seguido ha sido aceptar como válidas las respuestas en las que se razone que padres miopes heterocigóticos pueden tener hijos con visión normal. Llegar a la conclusión de que la probabilidad de tener un hijo con visión normal es del 25% supondría un nivel de resolución más alto.

Los resultados entre ambos grupos son muy dispares y el valor obtenido del estadístico nos permite concluir que el *GEXP es significativamente mejor en la resolución de un problema causa-efecto*. No sólo se trata de la diferencia entre los aciertos del GEXP (70%) frente al GCON (26,31%), sino de la forma en que, los alumnos que lo resuelven correctamente, lo hacen. En el GCON, de 5 sujetos que responden correctamente, sólo dos acompañan su razonamiento de esquemas tipo Punnett. En el GEXP, todos los sujetos que contestan correctamente, menos uno, utilizan cuadros de Punnett o dibujos de cromosomas para apoyar su razonamiento. Incluso hay estudiantes que plantean los diversos cruces entre genotipos de miopes para luego identificar el único cruce en el que pueden surgir individuos con visión normal. Los alumnos que lo resuelven de forma gráfica, en ambos grupos, dan los resultados en forma de proporciones o porcentajes frente a los que sólo justifican su respuesta.

En cuanto a la profundidad de las justificaciones para responder a esta cuestión vamos a tomar como referencia la del único estudiante del GEXP que lo resuelve sin

esquemas, y la de uno de los estudiantes del GCON. Es evidente que, aunque la resolución elegida del GEXP es la peor de todas las consideradas correctas, usa más conceptos científicos y de forma más adecuada.

GEXP (A.7): *“La miopía es dominante, y el alelo recesivo produce visión normal. Los padres miopes pueden ser AA/Aa. Pero ese bebé o ese niño puede tener perfectamente una visión normal. Porque puede haber un fenotipo que manifieste un carácter recesivo, ya sea de la madre o del padre. Porque la información es cogida al azar. Y esa información puede ser cogida de los abuelos de ese niño. El niño es aa porque al cogerlo al azar ha habido un fenotipo que se ha manifestado recesivo y por lo tanto el niño es de visión normal”*.

GCON (A'.10): *“Sí, debido a que no son personas puras, es decir que provienen de otras personas, y los hijos pueden tener rasgos de los abuelos y no nacer con miopía, pero lo más probable es que sí nazcan con miopía”*.

Problema cerrado 2: “En la especie humana la ictiosis es una enfermedad debida...”

El criterio de calificación seguido ha sido aceptar como válidas las respuestas en las que se explica que este gen, al localizarse en el cromosoma Y, sólo se manifiesta en varones cuyos cromosomas sexuales son XY. Por lo tanto, un hombre con ictiosis, siempre transmitirá a su descendencia masculina la enfermedad, porque el cromosoma Y de los hijos procede del padre.

Los resultados obtenidos difieren en ambos grupos, 73,33% de aciertos en el GEXP y 15,78% en el GCON; y de nuevo en este problema de tipo causa-efecto, estadísticamente *el GEXP también es significativamente mejor*. Además hay diferencias en la forma de resolverlos. De los 22 alumnos del GEXP que responden correctamente a esta cuestión, 8 utilizan cuadros de Punnett o esquemas de cruces para apoyar su solución. De los 3 alumnos del GCON que justifican su respuesta de forma válida; ninguno utiliza estas estrategias para fundamentar su respuesta. Un sujeto del GCON (A'.14), cuya respuesta no es válida, es el único que utiliza un cuadro de Punnett; pero cruza a dos varones ($XY * XY$); y sus explicaciones son confusas. Ésta es la transcripción de su respuesta: *“Sí, se podrá dar una persona sin esta enfermedad y*

tendrá el genotipo XX, por lo que será una mujer. Se explica por la segunda ley de Newton, ya que al autofecundar híbridos se puede dar una descendencia con el fenotipo XX (recesivo)". Es evidente que este estudiante pretende dar una explicación con muchos datos de los que ha aprendido en clase. Sin embargo, la poca significación o entidad que los mismos tienen para él, hace que los mezcle o confunda con otros tipos de conocimientos. Este ejemplo de respuesta es representativo de una situación muy típica que se produce en los exámenes de muchas asignaturas. Los estudiantes memorizan datos que no tienen ningún significado para ellos, y al volcarlos en un examen pueden cometer incorrecciones, desde el punto de vista del profesor, aunque no para ellos. En ninguno de los problemas de este ejercicio, y en ninguna otra prueba, se detectan respuestas de este tipo en el GEXP. Podemos aventurar que la MRPI ha generado en los estudiantes del GEXP un aprendizaje más coherente y comprensivo de los conceptos de Genética y herencia humana.

Las justificaciones o razonamientos usados por los sujetos de ambos grupos, que responden de forma más correcta, son similares:

GEXP (A.8): *"Pienso que no, ya que como el gen está en el cromosoma Y, y además lo manifiesta, su hijo manifestará la ictiosis. Si tuviera una hija ésta seguro que no lo manifestará ya que ella lleva los cromosomas X que no llevan genotipo para dicha enfermedad. En conclusión, pienso que no ya que el genotipo del padre porta la enfermedad y si tiene un hijo éste tiene que heredar la información genética de este cromosoma"*.

GCON (A'.8): *"No podría tenerlos, pues el gen situado en el segmento diferencial Y se los traspasaría a los hijos, pero sólo a los varones, pues las hembras no poseen el cromosoma Y, sino XX"*:

Problema cerrado 3: "La coiloniquia es una malformación de la uñas..."

En este problema, había dos preguntas, a) determinar el genotipo de los individuos del árbol genealógico y, b) determinar el alelo dominante. El criterio de calificación seguido en a) ha sido considerar como respuesta válida aquella en la que todos los genotipos eran correctos. El criterio de calificación en b) ha sido considerar

como correcta que el alelo dominante era el de la coiloniquia siempre y cuando la justificación estuviera fundamentada.

El apartado a) sólo es resuelto en el GEXP. Este apartado del problema se corresponde con un problema cerrado tipo efecto-causa, más complejos que los anteriores de tipo causa-efecto. Los resultados indican que *el GEXP es significativamente mejor respecto al GCON, también en los problemas de tipo efecto-causa*. El porcentaje de acierto en el GEXP es del 53,33%; sin embargo el resto de los estudiantes, menos 5 (16,66%), intentan deducir los genotipos sin conseguirlo porque introducen la variable de herencia ligada al sexo, o se confunden con los fenotipos que adjudican a cada genotipo.

En el apartado b) el porcentaje de aciertos también es mayor, y estadísticamente significativo, en el GEXP (53,33%) que en el GCON (26,31%). Si analizamos las razones esgrimidas para identificar el carácter uña de cuchara como dominante nos encontramos también con diferencias en las respuestas de ambos grupos. En el siguiente cuadro se recogen las justificaciones dadas, ordenadas de menor a mayor validez, en cuanto al razonamiento seguido.

JUSTIFICACIONES	Nº GEXP	Nº GCON	<i>U de Mann-Whitney</i>
1. La primera descendencia ha salido afectada	1	3	5,5***
2. Cuando se cruza con uno recesivo se transmite	2	2	
3. No se pueden definir los genotipos de este árbol genealógico si el carácter fuese recesivo, y se puede demostrar en cada cruce	13	0	
TOTAL	16/30	5/19	

Cuadro 7.27: Justificaciones utilizadas por los estudiantes de ambos grupos de investigación que responden de forma válida al apartado b) del problema 3. El valor obtenido apoya la hipótesis alternativa de que el GEXP es significativamente mejor que el GCON (*** $p < 0,001$)

Los estudiantes del CGON utilizan justificaciones no muy válidas, desde un punto de vista científico, porque si el individuo de fenotipo dominante es heterocigótico no se puede tener la seguridad del tipo de genotipo de sus descendientes. Este tipo de razonamientos menos elaborados y científicos, sólo son usados por tres alumnos del GEXP que no llegan a completar correctamente los genotipos del árbol genealógico.

Por otra parte, las contestaciones erróneas a esta segunda cuestión son muy similares en ambos grupos y se debe a la confusión entre los conceptos de dominante y de mayoritario. Este error de tipo semántico con el término ‘dominante’ es recogido en las investigaciones de otros autores (Hackling y Treagust, 1982; Longden, 1982 y Slack y Stewart, 1990). Los errores de tipo semántico, debidos a la interacción del lenguaje científico y cotidiano, han sido estudiados en otros campos de la didáctica de las Ciencias Experimentales donde se ha visto que genera dificultad en el aprendizaje (Gilbert, 1980; Llorens, 1991). Es un factor que debería tenerse en cuenta en futuros trabajos porque puede ser causa de una peor comprensión de los procesos de la herencia.

Tras el análisis realizado, tanto de la resolución del problema abierto como de los cerrados, podemos concluir que:

Existe un aprendizaje significativamente mayor de los procedimientos de resolución de problemas (abiertos y cerrados) a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON.

Estos resultados, en cuanto a la mayor eficacia a la hora de resolver problemas de los estudiantes familiarizados en la MRPI, frente a los estudiantes que lo han hecho con la metodología tradicional de resolución de problemas como ejercicios, coinciden con los aportados por otras investigaciones (Martínez-Torregrosa, 1987; Ramírez, 1990; Varela, 1994).

Además, podemos añadir los siguientes matices:

- ✓ La MRPI permite desarrollar procedimientos apropiados para que el alumnado pueda enfrentarse a cualquier tipo de problema (abiertos, cerrados, causa-efecto, efecto-causa)
- ✓ Los estudiantes del GEXP son mejores resolviendo problemas que sus compañeros del GCON, ya que:

- * Utilizan esquemas, incluyendo los de tipo Punnett, para explicar la herencia de la miopía y de la ictiosis, lo que les permite visualizar las resoluciones de los problemas.
- * Resuelven de forma correcta, tanto problemas tipo causa-efecto como efecto-causa, porque hacen un análisis del problema que se les plantea.
- * El aprendizaje conceptual es más coherente y comprensivo y por ello sus razonamientos son más elaborados y cercanos a las ideas científicas.

7.3.4. SUBHIPÓTESIS FINAL I-4: CONTRASTE DE LAS DIFERENCIAS EN LAS ACTITUDES RELACIONADAS CON LA CIENCIA

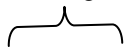


La formulación de esta Subhipótesis es la siguiente:

Se manifiestan actitudes significativamente más favorables relacionadas con la Ciencia a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON.

A continuación se indicann las preguntas de esta prueba final que recoge los mismos aspectos que se medían en la prueba inicial: *actitudes científicas o sobre la Ciencia* (cuestiones 4,5, y 6) y *actitudes hacia la Ciencia* (cuestiones 1, 2 y 3).

1. ¿Crees qué es necesario que se impartan contenidos de Genética en el instituto?, ¿Por qué?
2. ¿Para qué crees que te va a ser de utilidad la Genética que has estudiado en el instituto?
3. ¿Crees que todo el mundo debería tener conocimientos sobre Genética, o sólo deberían estudiarla los futuros biólogos, médicos, etc.?, ¿Por qué?
4. La Genética ¿ha favorecido a la humanidad o la ha perjudicado? Pon ejemplos que apoyen tus ideas.
5. El pasado año, en las campañas de vacunación (recuerda, por ejemplo, que quizá tú te hayas podido vacunar de meningitis), se podía dar la oportunidad de elegir entre una vacuna sintética creada en el laboratorio a partir de compuestos químicos, y una vacuna obtenida a partir de microorganismos. ¿Qué tipo de vacuna te pondrías?, ¿Por qué?
6. El trabajo realizado por los científicos, ¿crees que presenta algún tipo de características especiales?, ¿cuáles?

El instrumento para organizar las respuestas de los estudiantes de ambos grupos va a ser, de nuevo, la red sistémica. Los resultados obtenidos son los siguientes:

		GEXP (N =30)		GCON (N=19)		U de Mann-Whitney	
		Nº	%	Nª	%		
Actitudes científicas o sobre la Ciencia	Postura General	Favorable	25	83,33%	15	78,94%	270
		Intermedia (según uso)	5	16,66%	3	15,78%	
		Desfavorable	0	0%	0	0%	
		Sin opinión	0	0%	1	5,26%	
	Postura ante una nueva vacuna	Favorable	14	46,66%	8	42,10%	232,5
		Desfavorable	16	53,33%	7	36,84%	
		Sin opinión	0	0%	4	21,05%	
	Características de la Ciencia	Metodología específica	16	53,33%	4	21,07%	116***
		Trabajo especial	14	46,66%	4	21,05%	
		No se diferencia de otras actividades	0	0%	4	21,05%	
		Sin opinión	0	0%	7	36,84%	
	Actitudes hacia la Ciencia	Favorable: Todos debemos tener conocimientos básicos de Genética para tener cultura y entender las noticias	29	96,66%	13	68,42%	215*
Intermedia: Los estudios de Ciencias son útiles para continuar estudiando Ciencias		15	30%	6	31,57%		
Desfavorable: Sólo los futuros biólogos o médicos deberían estudiar Genética, para los demás no tienen utilidad		1	3,33%	6	31,57%		
Simbología:							
		Aspectos paralelos: elecciones simultáneas					
		Alternativas diferentes					
		Recursión: posibilidad de repetición					

Cuadro 7.28: Red sistémica de los resultados de la prueba final sobre las actitudes relacionadas con la Ciencia. Los valores en negrita apoyan la hipótesis alternativa de que el GEXP manifiesta actitudes significativamente más favorables que el GCON (**p<0,001, *p<0,05)

Los resultados muestran que *hay diferencias significativas en las actitudes relativas a las características de la Ciencia y en las actitudes hacia la Ciencia, a favor del GEXP*. Sin embargo, *no existen diferencias significativas en las actitudes científicas o sobre la Ciencia* que manifiestan ambos grupos.

Vamos a analizar estos resultados estudiando de forma separada los dos aspectos valorados sobre estas actitudes, y seleccionando las contestaciones más representativas de los estudiantes sobre el aspecto que se quiera resaltar.

Actitudes científicas o sobre la Ciencia (la Ciencia como conocimiento)

Para identificar las actitudes favorables o desfavorables de los estudiantes sobre la Ciencia, tenemos las respuestas a las cuestiones 4 y 5.

La pregunta 4 es muy general, se refiere a cómo contemplan los estudiantes el papel de la Genética desde el punto de vista del progreso de la humanidad, y qué tipo de ejemplos apoyan sus ideas. Los resultados obtenidos nos dicen que los estudiantes de ambos grupos tienen una visión muy positiva de los avances en Genética en general; sin embargo es en el GEXP donde cada alumno aporta más de un ejemplo para apoyar sus ideas (terapias génicas, conocimiento del genoma humano, seres vivos transgénicos).

Algunos ejemplos de respuestas son, para el GEXP : A.1 *“Ha favorecido sin duda a la humanidad, gracias a la genética podemos tomar muestras de ADN y mediante ella saber las enfermedades desconocidas y poder tomar medidas; encontrar un asesino sin tener testigos, hacer experimentos que permitan curar enfermedades, etc.”*; y para el GCON: A.’3 *“La ha favorecido, gracias a ella se han curado numerosas enfermedades, se han creado vacunas y alimentos mejores, y se han conseguido saber problemas o malformaciones de los fetos”*.

La pregunta 5 plantea la posibilidad de elegir entre una vacuna tradicional (microorganismos inactivos), o una vacuna sintética creada en laboratorio. Hemos considerado que la elección de la vacuna sintética, o de las dos sin diferenciar, se corresponde con una visión favorable de la Ciencia actual porque se valoran como válidos y seguros los progresos técnicos que se desarrollan en los centros de investigación; mientras que, la elección de una vacuna tradicional, supone un cierto recelo hacia los nuevos avances. Los resultados son que porcentajes similares, cercanos al 50%, de los estudiantes de ambos grupos eligen una vacuna sintética, manifestando por tanto una actitud favorable hacia los nuevos avances en investigación. Es de

destacar que sólo en el GCON nos encontramos con un porcentaje importante de estudiantes (21,05%) que no tienen una opinión al respecto.

Algunos ejemplos de respuestas en ambos grupos son, para el GEXP : A.7 “*Me pondría una vacuna creada en un laboratorio porque seguramente hubiesen buscado el gen de esa enfermedad y lo hubiesen manipulado para que no se manifieste*”, A.23 “*No lo sé puesto que las dos están bien, pero creo que elegiría la vacuna obtenida a partir de microorganismos, ya que es nuestro propio cuerpo quien se defiende*”; y para el GCON: A.’3 “*La de a partir de compuestos químicos porque está más estudiada y elaborada que la otra que es natural*”, A.9 “*La vacuna a partir de microorganismos porque de lo que se fabrica en el laboratorio no me fío*”

Otro de los aspectos recogidos dentro de las actitudes sobre la Ciencia, en la cuestión 6, se refiere al tipo de características que, según la visión de los estudiantes, definen la actividad científica.

En este apartado, las respuestas dadas por el *GEXP* manifiestan una visión sobre las características de la Ciencia significativamente más favorable y acorde con la propia actividad científica. Esta diferencia entre ambos grupos se debe a dos factores. El primero, más de la mitad (57,89%) de los estudiantes del GCON no responden, o consideran que no existen características que diferencien el trabajo realizado por los científicos. El segundo, reconocer que la actividad científica se caracteriza por una metodología específica de trabajo es algo que han hecho de forma mayoritaria los alumnos del GEXP, y de forma minoritaria los del GCON.

Algunos ejemplos de respuestas en ambos grupos son, para el GEXP : A. 14 “*Si porque en los demás trabajos es todo más sistemático y los científicos tienen que razonar más y buscar soluciones a problemas*”, A.16 “*Creo que [el trabajo de los científicos] presenta la característica especial de la investigación*”; y para el GCON: A.’3 “*Si, es muy lento, muy puntualizado, muy perfecto, muy limpio, y sobre todo muy complicado y preciso*”, A.’11 “*Sí, que utilizan métodos y medios específicos en su trabajo, y es un trabajo en el que nunca dejarán de investigar porque continuamente se están averiguando nuevas cosas sobre la vida y los seres vivos*”.

Actitudes hacia la Ciencia (la Ciencia como disciplina de estudio)

Los estudiantes han reflejado sus actitudes favorables o no hacia la Ciencia al contestar a las tres primeras preguntas del cuestionario. La pregunta 1 y 3, sobre la necesidad de realizar estudios de Ciencias, se han fundido en una sola porque las respuestas que dan los alumnos se solapan. La cuestión 2 hace referencia a la utilidad que para ellos tienen los estudios de Genética que han realizado.

Los estudiantes del *GEXP* *manifiestan actitudes significativamente más favorables hacia la Ciencia y su estudio que los estudiantes del GCON*. La mayoría de los estudiantes del GEXP (96,66%) consideran que estos estudios son importantes para todos los ciudadanos, independientemente de lo que vayan a estudiar o hacer en un futuro. Esta opinión sólo es mantenida por el 68,42% de los estudiantes del GCON. Una proporción similar de estos alumnos, en ambos grupos, también manifiestan una postura intermedia sobre el estudio de las Ciencias porque consideran que es útil para tener más conocimientos sobre aspectos que importan a todos, y es útil para seguir posteriores estudios. La causa de que las respuestas de ambos grupos sean significativamente diferentes, se debe al alto porcentaje de alumnos del GCON (31,57%) que sólo ven útil el estudio de contenidos científicos para aquellas personas que vayan a utilizarlos en su profesión.

Algunos ejemplos de respuestas dadas por alumnos de ambos grupos son, para el GEXP: A.4 *“Puede servir [lo estudiado en clase] para varias cosas, una para cultivarte más y así aprender más cosas, otra para en un futuro próximo llegar a ser científico, biólogo, etc., y por último para resolver problemas de la vida cotidiana”*, A. 10 *“Todo el mundo debería tener estos conocimientos, ya que la genética va a ser la base del futuro. Quien no sepa nada de ello no entenderá la sociedad y se encontrará perdido, sin saber qué hacer”*; y para el GCON, A.’ 12 *“Creo que todo el mundo debería tener conocimientos de genética porque ayudaría a la sociedad a asustarse menos de las situaciones y a conocer más sobre sí misma”*, A.’18 *“Yo pienso que las personas que no van a estudiar eso no deberían estudiarlo porque pueden aprovechar ese tiempo para estudiar otra asignatura que en un futuro les vaya a servir más. Y lo digo porque la genética es difícil y requiere mucho tiempo de estudio”*.

El análisis realizado de los resultados obtenidos nos permite afirmar que, aunque ambos grupos de estudiantes consideran de forma favorable los avances científicos en Genética, al igual que gran parte de la sociedad, se acepta la subhipótesis alternativa de este apartado:

Se manifiestan actitudes significativamente más favorables relacionadas con la Ciencia a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON.

Los resultados que hemos obtenido, de ambos grupos, en esta fase de la investigación difieren de los que se obtuvieron en la fase inicial de la misma (Apartado 7.1.4).

Al inicio de la investigación, ambos grupos se consideraban homogéneos en las actitudes que manifestaban sobre y hacia la Ciencia; sin embargo, al finalizar la misma, los estudiantes sólo siguen siendo homogéneos en sus actitudes favorables hacia la investigación científica y sus avances. Actitud que es compartida por el resto de la Sociedad, en especial si los avances científicos se refieren a curación de enfermedades y mejora de la calidad de vida.

En la fase inicial de la investigación, antes de comenzar el trabajo de aula, ambos grupos manifestaban actitudes similares sobre las características de la Ciencia y moderadamente favorables hacia su estudio. Ahora, tras la finalización del proceso de enseñanza aprendizaje, los estudiantes del GCON siguen manifestando las mismas actitudes de la fase inicial; mientras que el GEXP ha mejorado considerablemente en sus actitudes sobre las características de la Ciencia y hacia su estudio. Podemos, además, concluir que:

- ✓ La MRPI permite a los estudiantes del GEXP tener una nueva visión de lo que es el trabajo científico alejada de la idea de la Ciencia como un conocimiento abstracto y difícil, que sigue manteniendo el GCON.
- ✓ La MRPI permite a los estudiantes del GEXP sentirse capaces de entender los procesos y conocimientos científicos de forma que su estudio les motive e interese.

7.3.5. SUBHIPÓTESIS FINAL I-5: CONTRASTE DE LAS DIFERENCIAS EN LAS ACTITUDES HACIA LAS RELACIONES C-T-S

Esta subhipótesis está definida de la siguiente forma:

Se pone de manifiesto una postura significativamente más definida y favorable hacia las relaciones C-T-S a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON.

La visión que tienen los alumnos de ambos grupos sobre las relaciones C-T-S, y su postura ante temas donde las mismas sean de gran importancia, se ha recogido gracias a dos pruebas finales: una encuesta y una situación problemática personalizada de toma de decisiones.

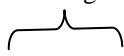


A. ANÁLISIS DE LA PRUEBA FINAL DE ACTITUDES RESPECTO A LAS RELACIONES C-T-S

Las cuestiones de esta prueba, que recogemos a continuación, indagan sobre la misma gama de aspectos, relativos a las relaciones C-T-S, que se tenían en consideración en la encuesta inicial.

1. ¿Cómo crees que han influido los conocimientos de Genética en la vida de las personas, o en la Sociedad en su conjunto?.
2. ¿Cómo puede influir la Sociedad en los avances genéticos?
3. Actualmente, se están investigando nuevas formas de curar enfermedades usando la terapia génica. Los ciudadanos, ¿qué deberíamos demandar a los investigadores?, y ¿a los gobiernos?, y ¿a otras personas o instituciones?
4. ¿Crees que es mejor dar dinero a las investigaciones científicas o a las tecnológicas?, ¿por qué? ¿De dónde debe salir ese dinero?
5. ¿Se debe dar dinero público a todo tipo de investigaciones científicas, o sólo a aquellas que sean potencialmente rentables para la sociedad?
6. Nuestro mundo tiene problemas. Indica cuáles crees que son sus causas y sus posibles soluciones:
Hambre:
 Causas:
 Soluciones:
Enfermedades hereditarias:
 Causas:
 Soluciones:
7. El Proyecto Genoma Humano va a permitir conocer la información genética humana. ¿Qué ventajas o inconvenientes crees que puede llegar a tener este tipo de conocimientos?
8. ¿Debería tener límites la investigación sobre Genética?, ¿Quién o quienes deberían controlar estas investigaciones?

Como en el resto de pruebas abiertas, se ha optado por el uso de la red sistémica como la mejor herramienta para recoger y organizar las respuestas de los alumnos, que son variadas y numerosas. La elaboración del sistema de categorías de esta red se ha centrado en la gama de relaciones C-T-S que eran tratados en la prueba. Los resultados han sido los siguientes:

		GEXP (N=30)		GCON (N=19)		U de Mann-Whitney	
		Nº	%	Nº	%		
<i>El papel de los científicos en la Sociedad</i>	Evitar riesgos en las investigaciones y en sus aplicaciones		7	23,33%	2	10,52%	189,5**
	Trabajar para la Sociedad		2	6,66%	5	26,31%	
	Informar de sus investigaciones a los ciudadanos.		20	66,66%	5	26,31%	
	Sin opinión		1	3,33%	7	36,84%	
<i>La influencia de la Ciencia, y la Tecnología en la Sociedad</i>	En general	Influencia positiva	25	83,33%	11	57,89%	192,5**
		Influencia mixta	5	16,66%	2	10,52%	
		Influencia negativa	0	0%	0	0%	
		Sin opinión	0	0%	6	31,57%	
	En casos concretos	Proyecto Genoma					162,5**
		Ventajas	30	100%	13	68,42%	
		Inconvenientes	24	80%	8	42,10%	
		Sin opinión	0	0%	4	21,05%	
		Curar enfermedades genéticas	30	100%	8	42,10%		124***
		Solucionar el hambre en el mundo	1	3,33%	1	5,26%	290,5
	La S respecto a la C y T	La C avanza cuando la S tiene una mente más abierta	4	13,33%	4	21,05%	114,5***
		La S puede favorecer unos avances y otros no	25	83,33%	3	15,78%	
		Sin opinión	1	3,33%	12	63,15%	
Los alumnos como ciudadanos reclaman	Más cultura en temas de investigación científica	20	66,66%	5	26,31%	156,5***	
	Pedir que se investigue más y con más recursos	15	50%	13	68,42%		
	Confiar en los científicos porque son los expertos	6	20%	1	5,26%		
	Pedir a los científicos que sus trabajos sean seguros	7	23,33%	2	10,52%		
	Pedir control del gobierno sobre las investigaciones	0	0%	2	10,52%		
	Ninguna	0	0%	6	31,57%		

La finalidad de la Ciencia y del gasto en investigación	Financiar investigación	De todo tipo	18	60%	11	57,89%	267	
		Sólo científica	11	36,66%	5	26,31%		
		Sólo tecnológica	1	3,33%	1	5,26%		
		Sin opinión	0	0%	2	10,52%		
	El dinero procede de	Rentables o no	14	46,66%	6	26,31%	234	
		Sólo rentable	16	53,33%	12	63,15%		
		Sin opinión	0	0%	1	5,26%		
	¿Se deben poner límites?	No	Justificaciones (progreso)	11	36,66%	3	15,78%	147,5***
			Sin justificar	4	13,33%	4	21,06%	
		Sí	Justificaciones (éticas, sociales)	14	46,66%	5	26,31%	
Sin justificar			1	3,33%	4	21,06%		
	Sin opinión	0	0%	3	15,78%			
¿Quién debe poner límites?	Sin respuesta	Sociedad	1	3,33%	1	5,26%	272,5	
		Gobierno (o con ayuda de científicos)	12	40%	4	21,06%		
		Los científicos	11	36,66%	8	42,10%		
		Sin respuesta	6	20%	6	31,57%		
Simbología:								
		Aspectos paralelos: elecciones simultáneas						
		Alternativas diferentes						
		Recursión: posibilidad de repetición						

Cuadro 7.29: Red sistémica de los resultados de la prueba final sobre las actitudes C-T-S. Los valores en negrita apoyan la hipótesis alternativa de que el GEXP tiene una postura significativamente más favorable y definida que el GCON (**p<0,001, ***p<0,01, *p<0,05)

Los resultados muestran que *los estudiantes de ambos grupos presentan diferencias significativas, a favor del GEXP, en su visión sobre el papel del científico en la Sociedad; la influencia que la Ciencia y la Tecnología tienen en la Sociedad (excepto en el papel de la Ciencia a la hora de solucionar el problema del hambre en el mundo); la influencia de la Sociedad sobre la Ciencia y la Tecnología; y sobre los límites que debe tener la investigación científica. Por otra parte, las respuestas de ambos grupos se pueden considerar homogéneas en su visión sobre el tipo de*

investigación que se debe financiar (aunque difieren sobre el origen de esa financiación); *y quién debe poner límites a la investigación científica.*

Vamos a analizar las respuestas de los estudiantes en cada una de las categorías, recogiendo aquellas que sean las más relevantes.

El papel de los científicos en la Sociedad.

Para la mayoría de los estudiantes del GEXP el papel de los científicos es informar a los ciudadanos y evitar riesgos; y, para la mayoría de los del GCON que responden, su papel es, además de informar, trabajar para la Sociedad. Las respuestas de ambos grupos en este apartado *son significativamente diferentes porque un elevado número de estudiantes del GCON (36,84%), no tienen ninguna opinión al respecto.* Algunos ejemplos de respuestas en ambos grupos son, para el GEXP: A. 9 *“Deberíamos pedirles [a los investigadores] seguridad y que nos expliquen bien el método que van a utilizar para poder estar seguros de que no va a haber ningún error.”*, A.28 *“Que nos informen sobre los nuevos avances y sobre las contraindicaciones”*; y para el GCON: A.’8 *“Deberíamos demandar a los investigadores más información”* A.’16 *“Los investigadores que descubrieran más vacunas”*.

La influencia de la Ciencia y la Tecnología en la Sociedad.

La **visión global** de ambos grupos, sobre la influencia que los descubrimientos científicos y tecnológicos (en el campo de la Genética) han tenido en la Sociedad, es mayoritariamente positiva (83,33% GEXP y 57,89% GCON). Ningún sujeto identifica influencias negativas, y unos pocos reconocen para algunos temas aspectos positivos y negativos. Sin embargo, *las respuestas de ambos grupos difieren significativamente porque, otra vez, nos encontramos con un elevado porcentaje de estudiantes del GCON (31,57%) que no manifiesta ninguna opinión.* Ejemplos de respuestas son, para el GEXP: A.12 *“Creo que ha influido para mejorar la calidad de vida de la sociedad. Al ser mejores conocedores de nuestro cuerpo, y de las distintas enfermedades que nos afectan, podemos prevenirlas o podemos utilizar varias soluciones”*; y para el GCON: A.’13 *“Pues nos permite saber y solucionar o prevenir enfermedades o mejorar y proteger productos alimenticios. Ha salvado muchas vidas y por lo tanto ha beneficiado a las personas”*.

En cuanto a la **influencia** de la Ciencia y la Tecnología en la Sociedad, concretando la pregunta en el **Proyecto Genoma Humano (PGH)**, las respuestas dadas de forma mayoritaria por ambos grupos coinciden. Identifican aspectos positivos como la de mejorar la calidad de vida, y aspectos negativos como el de generar nuevos problemas éticos y sociales. En el GEXP la mayoría de los estudiantes (80%) reconocen ventajas e inconvenientes del PGH, y el resto sólo ventajas. Los estudiantes del GCON, que opinan, también dan respuestas similares. *La diferencia significativa entre ambos grupos está en el porcentaje de sujetos del GCON (21,05%) que no da su opinión.* Ejemplos de respuestas son, para el GEXP: A. 28 “*Ventajas, se podrán curar y prevenir todas las enfermedades que vengan dadas en el genoma. Inconvenientes, problemas éticos, o usarlo para contratar en empleos*”; y para el GCON: A.’1 “*Ventajas, prevenir enfermedades; inconvenientes, utilizarlo para crear seres como queramos*”.

Respecto a la Ciencia como solución a diversos problemas, ni el GEXP ni el GCON confía en la Ciencia para acabar con el hambre en el mundo. Más expectativas tienen respecto al **papel de la Ciencia en la curación de enfermedades genéticas**. No obstante, la visión de los estudiantes de ambos grupos respecto a este tema, que ha sido tratado en el aula, es *significativamente más favorable en el GEXP*. El 100% de los estudiantes del GEXP considera que la terapia génica es la solución a estas enfermedades, frente al 42,10% del GCON. Algunos ejemplos de respuestas en ambos grupos son, para el GEXP: A.30 “*La causa, un gen contiene información sobre una enfermedad y se transmite de padres a hijos. Solución, manejar los genes que las portan e intentar curarles*”; y para el GCON: A.’3 “*Causa [enfermedad hereditaria] no hay dinero para medicamentos ni investigaciones; solución: dinero*”, A.’7 “*La causa, procede de otras generaciones. La solución, intentar solucionarlo con la genética*”.

En cuanto a **la influencia de la Sociedad en la Ciencia y la Tecnología** la mayoría de los estudiantes del GCON no dan ninguna respuesta (63,15%), y por eso hay una *diferencia significativa entre las respuestas de ambos grupos*. La mayoría del GEXP (83,33%) piensa que la Sociedad puede favorecer unas investigaciones sobre otras aportando más dinero a las sean importantes para el conjunto de la Sociedad. Ejemplos de respuestas son, para el GEXP: A.12 “*Si la Sociedad apoya a los científicos y consideran que todo lo que éstos hacen es para mejorar nuestra salud, los científicos podrán trabajar con más libertad y sin ningún impedimento. También está el apoyo*

económico, porque cuanto más dinero sea destinado a la Ciencia, más avanzada podrá estar ésta en nuestro país”, A.10 “Puede influir negativamente debido a que se pueden plantear problemas éticos y no permitir así que estos avances sigan adelante”; y para el GCON: A.’7 “Puede influir mucho [la Sociedad] pues hasta que la gente no asimila lo que se dice, no lo creen” A.’17 “Si la sociedad estuviera en contra de los avances genéticos y de la manipulación del ADN, no se hubiera permitido su trabajo y no hubiéramos conseguido dichos avances”.

Respecto al **papel del ciudadano** frente a la Ciencia y a la Tecnología, en ambos grupos las respuestas mayoritarias son que el ciudadano debe ser científicamente más culto (66,66% GEXP y 26,31% GCON), y que debe pedir que se realicen más investigaciones y que haya más recursos (50% GEXP y 68,42% GCON). De nuevo, *las diferencias significativas se deben a que casi un tercio de los componentes del GCON no dan ninguna respuesta*. Algunos ejemplos de contestaciones en ambos grupos son, para el GEXP: A.2 “*Deberíamos demandar nuestro mapa genoma humano y que fuera confidencial, porque es una cosa muy seria*”, A.19 “*Que [los científicos] fueran precisos en sus investigaciones y que hasta que no tuvieran definidos los efectos no lo pusieran al alcance de nadie. Que [los gobiernos] subvencionaran las investigaciones para que pudieran avanzar. Que [las personas] si tienen una enfermedad sin solución se prestaran voluntarios para probar los remedios inventados*”; y para el GCON: A.’3 “*Creo que deberíamos demandar más información, ya que cada vez podemos controlarlo más todo, bueno pueden (gobiernos, investigadores, etc.) han llegado a sacar un individuo totalmente idéntico a otro con la genética, y si ahora son capaces de esto, ¿para qué se aplicará en el futuro? Por eso yo pediría más información y la certeza de que la genética va a ser utilizada para cosas buenas como curar enfermedades*”.

La finalidad de la Ciencia y los gastos en investigación.

Las respuestas dadas de forma mayoritaria por ambos grupos, son muy similares. La mayoría apuesta por investigar tanto en cuestiones científicas como tecnológicas sobre todo tipo de cuestiones, aunque preferiblemente si son rentables a priori o beneficiosas para la humanidad.. También coinciden en que la financiación de las investigaciones debe proceder de los presupuestos del gobierno. Ejemplos de respuestas son, para el GEXP: A.20 “*A las dos [científica y tecnológica] por igual, debido a que no*

avanza una sin la otra. Para avanzar en las investigaciones científicas hace falta mucho material tecnológico, por lo tanto, las dos necesitan dinero para avanzar. Ese dinero debería ser el que se están gastando en comprar armas para la guerra. En lugar de pagar para matar vidas se debería pagar para salvarlas. Se debería dar más dinero a las que sean importantes para la Sociedad, y a las otras menos; pero también porque algo ayudarán en la Sociedad y en su evolución”; y para el GCON: A.’15 “Yo creo que a las dos [científica y tecnológica] porque las dos nos aportan cosas muy buenas a la humanidad. Creo que el dinero lo debe dar el gobierno. Yo creo que a todas [rentables o no] porque todas seguro que aportan algo bueno y nuevo a la humanidad”

Los límites de la Ciencia y la Tecnología.

A la cuestión de si la Ciencia debe tener límites, las opiniones de los alumnos de ambos grupos se decantan entre el sí y el no. La diferencia significativa entre sus respuestas se debe a que *la mayoría de los estudiantes del GEXP, justifican su postura; mientras que sólo la mitad, más o menos, de los estudiantes del GCON dan razones para fundamentar su decisión.* Algunos ejemplos de respuestas son, para el GEXP: A. 19 “No, porque cada día se puede descubrir una cosa y no por eso va a ser menos importante que la anterior. Si hace veinte años hubieran decidido que ya se había descubierto todo, todavía se seguirían muriendo personas por enfermedades que ahora son absurdas”, A. 21 “El único límite sería el no dañar al ser humano”; y para el GCON: A.’15 “Yo creo que no, porque siempre hay que investigar cosas y hacer nuevos medicamentos, investigar nuevas enfermedades, etc., pero siempre con mucho cuidado para que no se pueda hacer daño al mundo”. A.’19 “Sí, si atenta a la integridad humana”.

Sobre la cuestión de quién debe poner límites, las respuestas de ambos grupos apuntan a los científicos como los grandes expertos, bien solos o asesorando al gobierno; y, en segunda opción, al gobierno. Esta es la única pregunta en la que el porcentaje de estudiantes del GEXP que no contesta es elevado (20%) y cercano al del GCON (31,57%). Algunos ejemplos de respuestas en ambos grupos son, para el GEXP: A.28 “Debería haber un grupo especializado de investigadores en el gobierno que controlen todas las investigaciones que se hacen en ese país y luego reunirse todos los países y ponerlo todo en común”; y para el GCON: A.’2 “Las personas entendidas en esos temas”.

Podemos concluir, en base a estos resultados, que *el GEXP, respecto al GCON, presenta una postura más favorable y definida hacia las relaciones C-T-S, y ha desarrollado un mayor número de opiniones personales que justifica desde posturas más críticas.*

Los resultados obtenidos en esta fase de la investigación, sobre las actitudes de ambos grupos hacia las relaciones C-T-S, difieren de los que se obtuvieron en la fase inicial de la misma (Apartado 7.1.5.). Al inicio de la investigación, ambos grupos eran homogéneos en estas actitudes; sin embargo, al finalizar la misma, el GEXP manifiesta actitudes significativamente mejores que el GCON, y sólo son homogéneos en cuestiones tan evidentes como que la Ciencia no puede resolver el problema del hambre en el mundo, o que se debe financiar todo tipo de investigación, especialmente si es de carácter científico y rentable para la Sociedad. En estas dos cuestiones ya eran homogéneos en la fase inicial, y no es extraño que lo sigan siendo porque la mayor parte de la Sociedad piensa igual.

En la prueba inicial no se detectaba una falta de opinión por parte de ninguno de los dos grupos, quizá porque los ítems eran cerrados. Sin embargo, en esta prueba abierta es evidente la falta de una opinión propia que presenta un porcentaje importante de los estudiantes del GCON.

Al inicio de la investigación, ambos grupos, se podían considerar homogéneos en sus actitudes hacia el papel de los científicos a los que consideraban expertos en la toma de decisiones respecto a temas sociales relacionados con la Ciencia, y a la vez los veían como responsables de los daños que ocasionan determinados usos de los avances científicos. En esta fase final, más de un tercio de los estudiantes del GCON no saben qué papel juegan los científicos dentro de la Sociedad. El resto del GCON y el 96,66% del GEXP consideran que los científicos trabajan para la Sociedad, deben informar de sus investigaciones a los ciudadanos y deben evitar riesgos en sus investigaciones.

También, ambos grupos, eran al inicio significativamente homogéneos en su visión de la Ciencia y la Tecnología como un agente que mejora las condiciones de vida de las personas, aunque no pueda resolver todos los problemas. Después del trabajo con la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?”, el GEXP ha generado de forma

significativa una actitud más crítica y favorable hacia la influencia de la Ciencia y la Tecnología en la Sociedad. En casos concretos como el Genoma Humano, la gran mayoría del GEXP es capaz de identificar pros y contras, y el 100% cree que estos conocimientos ayudarán a curar enfermedades genéticas. Sólo un 42,10% del GCON presentan esta misma actitud hacia las relaciones C-T-S.

Respecto a la postura de los ciudadanos frente a los avances científicos, en la prueba inicial, ambos grupos pensaban que la población reconocía la importancia de los mismos aunque les hacía sentirse inseguros y, por eso tenían necesidad de mayor información. Los estudiantes del GEXP siguen pensando lo mismo aunque han mejorado significativamente su actitud porque también consideran que los ciudadanos deben pedir más investigaciones y confiar en los científicos. En el GCON, casi un tercio de los estudiantes no tienen ninguna postura al respecto, y como ciudadanos piden de forma mayoritaria que se investigue más.

En la prueba inicial los estudiantes de ambos grupos de forma homogénea pensaban que los ciudadanos cultos debían poner límites a la Ciencia. En la prueba final, y también de forma homogénea, ambos grupos hacen recaer esta responsabilidad en los científicos y en el gobierno asesorado por científicos. Sin embargo, el GEXP presenta una postura significativamente más definida porque a la hora de decidir si hay que poner límites o no a la Ciencia lo hace, de forma mayoritaria, justificando sus decisiones, frente al GCON donde más de la mitad de los estudiantes no las justifica.

Como resumen, los aspectos en los que, de forma más relevante, las actitudes y valoraciones de los estudiantes del GEXP se alejan más de las manifestadas por los estudiantes del GCON son:

- ✓ Los alumnos del GEXP, frente al GCON, pocas veces se abstienen de dar su opinión en las diversas cuestiones planteadas sobre las interrelaciones que se establecen entre la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad.
- ✓ Aunque la visión global de la Ciencia como algo positivo predomina en los componentes de ambos grupos, la mayoría de los estudiantes del GEXP identifican los pros y contras de los nuevos descubrimientos en Genética (24 alumnos de 30 que

suponen el 80% de la clase). Mientras que en el GCON sólo 8 alumnos de 19, el 42,10% de la clase, identifica a la vez pros y contras.

- ✓ El GEXP, frente al GCON, muestra una visión más positiva de la Ciencia en torno a sus posibilidades de éxito en el campo de la terapia génica (tema de estudio dentro de la unidad didáctica que se está evaluando). Ambos grupos reconocen que la Ciencia y la Tecnología han influido en la Sociedad. Sin embargo, la influencia de la Sociedad en los avances científicos y técnicos, sólo son reconocidos de forma mayoritaria en el GEXP.
- ✓ El GEXP, frente al GCON, tiene una visión más crítica, tanto a favor como en contra, de los límites que hay que poner a la investigación científica.

B. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA PERSONALIZADA

La situación que se les plantea a los estudiantes, para que realicen una toma de decisiones, en la siguiente:

“Imagina que en tu familia se han presentado varios casos de cáncer de colon, ¿te harás un test genético?”

Los estudiantes deben tomar una decisión al respecto y, para ello, deben aplicar su conocimiento sobre la utilidad de una técnica de diagnóstico genético y su grado de fiabilidad, al mismo tiempo que sopesar las implicaciones que la información que aporte pueda tener en diversos aspectos de su vida.

Como en las demás pruebas abiertas, se ha optado por recoger las respuestas de los alumnos en la siguiente red sistémica, que se organiza en torno a diversos ámbitos como: cuestiones personales, salud, trabajo, cuestiones económicas y otras.

		GEXP (N =30)		GCON(N=19)		U de Mann-Whitney		
		Nº	%	Nº	%			
<i>Cuestiones personales</i>	}	Razones sólo a favor (No estar intranquilo, organizar el futuro, etc.)	11	36,66%	14	73,68%	77***	
		Razones a favor y en contra	19	63,33%	0	0%		
		Razones sólo en contra (Obsesionarse)	0	0%	2	10,52%		
		Sin opinión	0	0%	3	15,78%		
<i>Salud</i>	}	Razones a favor (Prevención, tratamiento)	25	83,33%	4	21,05%	95***	
		Razones en contra	2	6,66%	1	5,26%		
		Sin opinión	3	10%	14	73,68%		
<i>Trabajo</i>	}	Razones a favor	0	0%	0	0%	186**	
		Razones en contra (contratación)	11	36,66%	0	0%		
		Sin opinión	19	63,33%	19	100%		
<i>Economía</i>	}	Razones a favor	0	0%	0	0%	205**	
		Razones en contra (coste)	9	30%	0	0%		
		Sin opinión	21	70%	19	100%		
<i>Otras</i>	}	Razones ambiguas {	No es algo genético	0	0%	3	15,78%	292
			Depende de la edad	1	3,33%	0	0%	
			Consejo del especialista	2	6,66%	0	0%	
			Cuestiones éticas: ¿lo diría?	1	3,33%	0	0%	
	Sin otras razones	26	86,66%	16	84,21%			
<i>Decisión final</i>	}	Sí	30	100%	13	68,42%	188**	
		No	0	0%	3	15,78%		
		No lo sé	0	0%	3	15,78%		
Simbología:								
}		Aspectos paralelos: elecciones simultáneas						
}		Alternativas diferentes						
}		Recursión: posibilidad de repetición						

Cuadro 7.30: Red sistémica de los tipos de argumentos usados en la situación problemática personalizada. Los valores en negrita apoyan la hipótesis alternativa de que el GEXP es de forma significativa más crítico a la hora de tomar una decisión que el GCON (**p<0,01, ***p<0,001).

Los resultados muestran que *los estudiantes de ambos grupos presentan diferencias significativas, a favor del GEXP, a la hora de enfrentarse a la toma de decisiones personales en una situación problemática con connotaciones C-T-S. La profundidad en el análisis de los pros y contras de someterse a un diagnóstico genético es mucho más amplio por parte de los alumnos del GEXP. Sólo en el apartado de ‘Otras’, debido al bajo número de alumnos de ambos grupos que identifican más razones, se pueden considerar homogéneos.*

También es interesante para este análisis determinar cuántos aspectos diferentes tuvo en cuenta cada estudiante antes de tomar su decisión; y, también, el nivel de profundidad a la hora de elegir una u otra opción (Sí o No al test genético).

A continuación se recogen el número de razones que aporta cada uno de los estudiantes de ambos grupos.

Nº de razones esgrimidas	GEXP (N =30)		GCON(N=19)		U de Mann-Whitney
	Nº	%	Nº	%	
0	0	0%	3	15,78%	10,5***
1	0	0%	11	57,89%	
2	2	6,66%	4	21,05%	
3	9	30%	1	5,26%	
4	10	33,33%	0	0%	
5	6	20%	0	0%	
6	2	6,66%	0	0%	
7	1	3,33%	0	0%	

Cuadro 7.31: Número de razones esgrimidas para las tomas de decisiones. El valor del estadístico apoya la hipótesis alternativa de que el GEXP es significativamente mejor que el GCON en la toma de decisiones al utilizar un mayor número de razones (**p<0,001)

La gran mayoría de los estudiantes del GEXP (83,33%) indican de 3 a cinco razones para tomar su decisión. Además, éstas son tanto pros como contras ante el hecho de tomar una u otra decisión. En el GCON, la mayoría de estudiantes (57,89%) se atiene a una sola razón para tomar su decisión. De los cuatro estudiantes del GCON que dan dos razones, ambas son de la categoría ‘a favor’: *“Para saberlo y tomar medidas preventivas”*; y *“Para saberlo y detectar otras enfermedades”*. Sólo uno de estos estudiantes plantea tres razones: A.11 *“Por supuesto que sí, porque a lo mejor si yo también lo tengo, a lo mejor pillamos el tumor a tiempo y puedo lograr salvarme; sin embargo, si el cáncer se extiende, entonces ya no habrá nada que hacer. Y me haría un*

test genético porque si se han dado varios casos en mi familia, puede que sea hereditaria, es decir, que se lleve en los genes. Aunque también se puede dar el caso de que, si lo tengo, sea incurable y entonces viva obsesionada el resto de mi vida”.

También hay grandes diferencias, entre los estudiantes de ambos grupos, en cuanto al nivel de fundamentación de la respuesta de la opción elegida.

El 78,94% de los estudiantes del GCON no justifica de forma razonada su decisión y da respuestas del tipo:

“Sí, porque así sabré si yo también lo padezco” (A’.15)

“No, porque el cáncer de colon no es hereditario” (A’.4)

“A lo mejor” (A’.5)

O a respuestas en las que intentan demostrar al profesor que ‘se saben el tema’ introduciendo terminología de Genética. Por lo tanto, interpretan el problema como un ejercicio de clase o problema cerrado. Estos estudiantes no son capaces de llevar lo que han aprendido en el aula a una cuestión de carácter personal. Algunos ejemplos son:

“Si, porque el cáncer de colon es hereditario, es decir que se lleva en los genes, y se puede traspasar de generación en generación, y, por eso, aunque mis padres no lo tengan, quizá si tengan el gen que lo produce, por lo que yo lo puedo heredar. Por ejemplo, en este caso que voy a representar, mis abuelos tendrían la enfermedad, mis padres no, y yo sí (dibuja un árbol genealógico)” (A’.3)

“Depende de si en mi familia fueran homocigotos o heterocigotos, y también de si fuera o no recesivo. Si fuera dominante pero mis padres o mis familiares fueran heterocigotos, me lo haría por si acaso, pues puedo haberlo heredado, bueno en cualquiera de los casos me lo haría pues si fueran homocigóticos y los dos genes fueran del cáncer de colon lo podría tener igualmente” (A’.9)

También es sintomático que uno de los estudiantes del GCON (A.’14) utilice una experiencia personal muy concreta para tomar su decisión:

“... Creo que no me haría ningún test genético porque he tenido un abuelo que ha muerto por cáncer y él vivía bien hasta que se lo dijeron y le operaron. Y tengo otra abuela que también la han operado de cáncer y lo ha pasado muy mal con la quimioterapia hasta el punto que se la han quitado...”

En el GEXP, 25 de los 30 alumnos (83,33%), justifican su decisión atendiendo a factores diversos y asumiendo en menor o mayor grado las posibles implicaciones que la misma pueda traer consigo. A continuación se transcribe la respuesta dada por uno de estos alumnos (A.8):

“Yo antes de pensarlo, analizaría todas las ventajas e inconvenientes ya que es un proceso complicado. Las ventajas que pudiera tener un test genético es que podría saber si en un futuro próximo padeceré la enfermedad, cómo me afectaría, cuándo me afectaría... A mi me gustaría hacerme el test genético pero eso lleva una serie de problemas. Por ejemplo, el test es muy caro, si diera positivo (que presentara en un futuro la enfermedad) esto conllevaría a una serie de trastornos psicológicos y me podría hundir, ya que si supiera que dentro de, por ejemplo 10 años, voy a manifestar el cáncer podría preocuparme demasiado y dejar la vida a un lado, o quizás no, nunca se sabe.

Otro inconveniente sería mi supuesta novia o mujer. Ella a lo mejor no quiere tener un marido que dentro de 10 o 15 años esté muy enfermo, que no pueda trabajar y que necesite muchos cuidados. Habría que hacerla a ella un test genético, si queremos tener hijos, para conocer su genotipo (yo supongo que esta enfermedad es recesiva) ya que si ella tuviera genotipo normal (no padecer la enfermedad) y homocigótico, las posibilidades de que nuestro hijo no tenga el cáncer aumentan. También sería un inconveniente cuando mi hijo fuera adulto y yo todavía no hubiera manifestado la enfermedad y tampoco supiera si la padecería (porque no me había hecho el test), ya que estaríamos en las mismas; el también tendría que hacerse el test genético.

Una ventaja, que se me acaba de ocurrir, es que si sé que padeceré la enfermedad podría estar en una lista de espera para la posible curación, ya que tardaría bastante tiempo en manifestarse, y en esos años da tiempo a estudiar la enfermedad, tratarla y crear una terapia o medicamento eficaz. Así yo podría curarme.

Otro inconveniente serían las razones de trabajo, posiblemente en una empresa no me admitirían ya que quieren trabajadores a largo plazo y yo sería un estorbo en los planes de la empresa. Ahora los responsables de contratar piden reconocimientos médicos y demás para asegurarse de no tener problemas en el futuro.

Ante todas las ventajas e inconvenientes, creo que sí me haría un test genético ya que soy un tío valiente, y me gustaría enfrentarme al destino. También de esta manera podría cuidarme más, prevenir y buscar una terapia curativa, por lo que de la otra manera no sabría nada”

Los resultados obtenidos en este análisis nos permiten afirmar que *los estudiantes del GEXP, frente a los del GCON, son capaces de identificar un mayor número de aspectos relacionados con un tema de base científica y con incidencia en otros ámbitos de la vida (personal, salud, laboral, etc.), y argumentar mejor su toma de decisiones realizando un buen análisis de la situación.*

Tras los resultados obtenidos en estas dos pruebas sobre las actitudes C-T-S de los estudiantes, podemos concluir que se contrasta la subhipótesis de este apartado:

Se pone de manifiesto una postura significativamente más definida y favorable hacia las relaciones C-T-S a favor del GEXP, que ha trabajado con la MRPI, respecto al GCON

Podemos, además, ampliar esta conclusión diciendo que:

- ✓ La MRPI, al favorecer el análisis de cada problema y la verbalización de las propias ideas, permite a los estudiantes del GEXP, frente a los del GCON, tengan una postura u opinión personal sobre las relaciones C-T-S.
- ✓ La forma de trabajar en la MRPI facilita que el GEXP, frente al GCON, tenga una visión positiva de las expectativas de la investigación científica y una postura crítica que le permite reconocer los pros y contras de los nuevos avances en Genética y sus límites.
- ✓ La MRPI ha favorecido que los estudiantes del GEXP, frente a los del GCON, se enfrenten a cualquier situación de forma analítica. Por ello, al tomar una decisión personal sobre una cuestión relacionada con un avance científico, tienen una visión más amplia de todos los aspectos involucrados y los posibles pros y contras.
- ✓ El contraste de hipótesis bien fundamentadas que es la base de la MRPI, permite que los estudiantes del GEXP, frente a los del GCON, argumenten mejor su toma de decisiones al desarrollar una mayor capacidad de razonar y justificar sus posturas.

7.3.6. CONCLUSIONES ACERCA DEL CONTRASTE DE LA HIPÓTESIS FINAL I

Tras los análisis de los apartados anteriores podemos concluir que la hipótesis final I ha sido contrastada al haberlo sido cada una de las cinco subhipótesis en las que se concretaba. Por lo tanto, podemos decir, que:

Existen diferencias significativas en el aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes, a favor del GEXP, que trabajado con la MRPI, respecto al GCON.

Las primeras conclusiones sobre estas diferencias en el aprendizaje que han realizado ambos grupos sería.

- ✓ **La MRPI, que supone que el trabajo sea analítico, reflexivo y se verbalice, permite que el GEXP, frente al GCON, realice un aprendizaje significativamente mayor de los contenidos conceptuales de Genética, porque los estudiantes:**
 - * modifican sus ideas iniciales hacia ideas más científicas, y hacen uso de esquemas conceptuales más alejados de los alternativos.
 - * realizan un aprendizaje más significativo y útil de los contenidos lo que les permite realizar razonamientos más profundos sobre los mismos.

- ✓ **La MRPI, que aporta una visión sobre el trabajo científico más cercana a posturas epistemológicas actuales, permite que el GEXP, frente al GCON, realice un aprendizaje significativamente mayor de los contenidos conceptuales sobre la Naturaleza de la Ciencia, porque los estudiantes:**
 - * identifican el trabajo de los científicos con la resolución de problemas como una investigación.
 - * saben que las hipótesis surgen de un marco teórico y marcan pautas del diseño experimental y la resolución del problema.
 - * asumen que las teorías pueden cambiar porque son construcciones humanas que se apoyan en datos, técnicas o formas de pensar que pueden modificarse a lo largo del tiempo.

- * tienen una visión no estereotipada de los científicos y de su trabajo.
 - * diferencian entre avances científicos y avances tecnológicos.
- ✓ **La MRPI, por las variables metodológicas y de verbalización que desarrolla, permite que el GEXP, frente al GCON, realice un aprendizaje significativamente mayor de los procedimientos de resolución de problemas, porque los estudiantes:**
- * alcanzan un dominio de los contenidos conceptuales, más elaborados y cercanos a las ideas científicas, de forma que los usan de forma más coherente y comprensiva en la resolución de los problemas.
 - * realizan un análisis cualitativo del problema y un diseño de la estrategia de resolución antes de intentar resolverlo.
 - * se ayudan de esquemas o dibujos que les facilita visualizar la resolución del problema.
 - * adquieren unos procedimientos de resolución de problemas apropiados para enfrentarse a cualquier tipo de problema (abiertos, cerrados, causa-efecto, efecto- causa)
- ✓ **La MRPI, por desarrollar una forma de trabajo semejante a la actividad científica, permite que el GEXP, frente al GCON, manifieste actitudes significativamente más favorables relacionadas con la Ciencia, porque los estudiantes:**
- * tienen una visión de lo que es la Ciencia más cercana y asequible, y no como algo difícil y abstracto que no todo el mundo puede entender.
 - * se sienten motivados hacia su estudio al entender los procesos y conocimientos científicos y al sentirse partícipes de su propio aprendizaje.
- ✓ **La MRPI, por desarrollar una forma de trabajo semejante a la actividad científica y haber sido aplicada a problemas de la vida diaria, permite que el GEXP, frente al GCON, manifieste una postura significativamente más definida y favorable hacia las relaciones C-T-S, porque los estudiantes:**
- * han generado opiniones propias sobre aspectos relativos a las relaciones C-T-S basadas en sus conocimientos.

- * son capaces de identificar los pros y contras de los avances científico-técnicos, y tomar una postura crítica y personal ante ellos porque se plantean cualquier situación de forma analítica.
- * además de reconocer la influencia de la Ciencia y la Tecnología en la Sociedad, también identifican la influencia que ejerce la Sociedad en la Ciencia y la Tecnología.
- * consideran de gran importancia que los científicos informen de sus trabajos, y que los ciudadanos sean cada vez más cultos en especial temas relacionados con su vida cotidiana.
- * tienen una visión positiva de las expectativas que tiene la investigación científica en el campo de la Genética.

Como colofón a estas conclusiones tenemos que decir que:

La MRPI permite que los estudiantes del GEXP, además de conseguir los objetivos propios de esta metodología, alcancen los objetivos curriculares definidos para su curso y nivel.

7.4. PERMANENCIA EN EL TIEMPO DE LOS APRENDIZAJES REALIZADOS: HIPÓTESIS FINAL II

Con el paso del tiempo se produce un cierto retroceso en los conocimientos adquiridos por los estudiantes. Por ello, una vez finalizada la fase de intervención en el aula, y analizados los resultados correspondientes a los aprendizajes realizados por el GEXP frente al GCON, nos interesa constatar la permanencia en el tiempo de los mismos. La formulación completa de esta última hipótesis de la investigación es la siguiente:

El cambio producido en el aprendizaje de los contenidos por la MRPI, en el GEXP, es estable en el tiempo y difícilmente sufre un retroceso significativo.

Este estudio se ha centrado sólo en los contenidos que los alumnos no han vuelto a estudiar en los cinco meses que transcurren desde la fase final I a la II, que son: conceptos y procedimientos. No se han medido las actitudes sobre y hacia la Ciencia, ni sobre relaciones C-T-S, porque han podido ser influidas por experiencias vividas por los alumnos en los últimos meses. Por lo tanto, esta hipótesis final II se ha concretado en tres subhipótesis relativas a:

- Contenidos de Genética y herencia humana (Apartado 7.4.1.)
- Contenidos sobre la Naturaleza de la Ciencia (Apartado 7.4.2.)
- Metodología de resolución de problemas abiertos (Apartado 7.4.3.)

Para su contraste, el GEXP ha realizado tres pruebas que, al igual que en la fase Final I, son abiertas. La información obtenida de las mismas se ha organizado en **redes sistémicas** que permitan la comparación entre ambos momentos. En estas pruebas finales I y II, no se repite ninguna cuestión para evitar que los alumnos intenten reproducir las contestaciones que dieron hace unos meses.

Las pruebas se han pasado **cinco meses después del desarrollo de la unidad didáctica** “¿Soy así por puro azar?” Las circunstancias en las que se ha realizado esta última fase de recogida de información ha variado considerablemente, respecto a las

fases anteriores de la investigación, debido a circunstancias específicas del propio sistema educativo en el que se encuentra la misma. Por un lado, la profesora investigadora ya no impartía su docencia en el centro en el que se realizó este trabajo, y fueron sus compañeros del Departamento de Biología y Geología los que pasaron las pruebas a los alumnos. Por otro lado, los estudiantes que participaron en la investigación pertenecían al último curso del segundo ciclo de la ESO (4º E.S.O.) y ya no se encontraban todos en el centro. Al final sólo 10 estudiantes del GEXP inicial contestaron a todas las pruebas.

Al partir de una muestra tan reducida respecto a la original, a la que llamaremos subgrupo experimental (SubGEXP), se ha optado por comparar los aprendizajes residuales de estos diez sujetos (SubGEXP II) con sus propios aprendizajes en las pruebas finales I (SubGEXP I). Para poder contrastar la hipótesis de este apartado se ha procedido de la siguiente forma:

1. Primero, determinaremos si se ha producido un retroceso significativo en los aprendizajes realizados por el SubGEXP a lo largo del tiempo. Para ello, se han comparado los conocimientos de estos estudiantes en la fase Final I y Final II. Al tratarse de dos muestras relacionadas se ha trabajado con el estadístico de **Wilcoxon**. La hipótesis nula del estadístico es que los grupos son homogéneos frente a la alternativa de que son peores en la fase Final II. Como pretendemos apoyar la hipótesis nula frente a la alternativa, se ha optado por aceptarla sólo con un valor de significatividad que sea el más discriminante, es decir $p > 0,1$.
2. Segundo, en el caso en el que el SubGEXP haya experimentado un retroceso significativo, comprobaremos que su aprendizaje sigue siendo significativamente superior al alcanzado por el GCON al finalizar el trabajo en el aula. Para comparar los resultados del SubGEXP después del retroceso (Final II) y los del GCON (Final I) se ha utilizado la prueba **U de Mann-Whitney**. La hipótesis nula es que los resultados obtenidos por los dos grupos son iguales frente a la alternativa de que el SubGEXP sea mejor. En este caso para que los resultados del estadístico puedan rechazar la hipótesis nula de forma significativa los p-valores obtenidos deben ser inferiores a 0,1. En este caso el grado de significatividad se marcará con asteriscos (***) $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$

7.4.1. SUBHIPÓTESIS FINAL II-1: CONTRASTE DE LA PERMANENCIA EN EL TIEMPO DEL CAMBIO CONCEPTUAL SOBRE GENÉTICA Y HERENCIA HUMANA

El contraste de esta Subhipótesis, que se define de la siguiente forma:

El cambio conceptual sobre Genética y herencia humana permanece en el tiempo sin sufrir retrocesos significativos.

se puede realizar tomando datos de dos pruebas diferentes:

- a) la prueba final II de contenidos de Genética, y
- b) el problema abierto final II, donde se pueden valorar los niveles alcanzados por los estudiantes en el uso de los esquemas conceptuales implicados.

Vamos a analizar la información que nos aportan ambas pruebas por separado.

A. ANÁLISIS DE LA PRUEBA FINAL II DE CONTENIDOS DE GENÉTICA

La prueba, aunque distinta, recoge todos los aspectos analizados en la prueba final I y permite trabajar con la misma red sistémica.

1. Fíjate en los siguientes seres vivos: (dibujos de una hormiga, un pez, un águila, unas palmeras y una niña con un perro) a) ¿Cuáles de ellos tienen información hereditaria?, b) ¿Dónde se localiza esta información?, ¿En qué tipo de estructuras?:
2. a) ¿Dónde está tu información hereditaria?:
b) Por ejemplo, ¿tienes información en las células de la piel?. Justifica tu respuesta.
3. Cuando tengas un hijo, ¿qué información hereditaria recibirá de ti?, ¿dónde se localizará, y cómo pasará a tu hijo?
4. Un niño ha nacido con un grupo sanguíneo Rh-, siendo sus dos padres Rh+. Se sabe que algunos antepasados suyos eran Rh-. ¿Cómo ha podido pasar esta información hereditaria desde los bisabuelos o abuelos al niño?
5. Imagina que un grupo de humanos con visión correcta para los colores tuviera que vivir en cuevas con poca luz, viendo sólo en blanco y negro. Esta forma de vida la mantendrían durante muchos años. ¿Cómo sería la visión de los bebés que nazcan después de muchas generaciones?
6. ¿Crees que el SIDA es hereditario?, ¿por qué?

Las preguntas 1 y 2 abordan cuestiones relativas a la localización de la información hereditaria; las preguntas 3 y 4 se refieren a la herencia de padres a hijos; y, por último, las cuestiones 5 y 6 son relativas a la herencia de caracteres adquiridos. La pregunta 6 surge tras la constatación, que hace la profesora en el aula, de que los alumnos piensan, en general, que las enfermedades de transmisión sexual son hereditarias. Éstos son los resultados obtenidos:

				SubGEXP (I)		SubGEXP (II)		Wilcoxon
				Nº	%	Nº	%	
<i>Localización de la información hereditaria</i>	Genes	—	En cromosomas	7	70%	80	80%	0,98
			Cromosomas sexuales	2	20%	0	0%	
			Sin localizar	1	10%	1	10%	
	Gametos	0	0%	1	10%			
	Ninguna respuesta			0	0%	0	0%	
<i>Herencia de padres a hijos</i>	De ambos padres	—	al 50%	8	80%	10	100%	3,02
			más o menos la mitad, aunque más en unos caracteres que en otros	2	20%	0	0%	
	De los padres o de los abuelos (sin especificar cómo)			0	0%	0	0%	
	Sólo de uno de los padres, del dominante.			0	0%	0	0%	
Ninguna respuesta			0	0%	0	0%		
<i>Herencia de caracteres adquiridos</i>	Sólo se hereda la información contenida en los gametos.			10	100%	5	50%	1,26
	El ambiente o las mutaciones pueden afectar en los caracteres que se heredan.			0	0%	5	50%	
	Ninguna respuesta			0	0%	0	0%	
Simbología:								
}		Aspectos paralelos: elecciones simultáneas						
—		Alternativas diferentes						

Cuadro 7.32: Red sistémica sobre los contenidos conceptuales de Genética utilizados en la realización de la prueba escrita Final I y Final II. Los valores en negrita apoyan la hipótesis nula de homogeneidad; es decir, los estudiantes del SubGEXP no han sufrido un retroceso significativo en sus conocimientos ($p > 0,1$)

En base a estos resultados podemos decir que los estudiantes del SubGEXP *no han retrocedido de forma significativa en los aprendizajes realizados sobre la localización de la información hereditaria, la herencia entre padres e hijos, y la herencia de caracteres adquiridos, y permanece en el tiempo el cambio conceptual.*

Algunos ejemplos de respuestas dadas por los estudiantes son:

Sobre la existencia de información hereditaria en diversos seres vivos y su localización:

A.7 *“Todos los seres vivos [los del dibujo] tienen información genética porque son fruto de una unión entre dos seres, 50% de información de cada uno”*

A.22. *“Las células de la piel tiene información hereditaria porque todas las células de nuestro organismo tienen un núcleo, que es donde se encuentra el ADN”*

A.26 *“La información hereditaria se localiza en el ADN que es una secuencia que está en los genes; los genes están en los cromosomas y los cromosomas vienen de la cromatina que es el material genético que hay en el núcleo de las células”*

Sobre la herencia de padres a hijos:

A.17 *“Mi hijo recibirá la mitad de mi información hereditaria y otra media información del padre. Porque al unirse un gameto con otro gameto se produce un cigoto con información genética del padre y de la madre”*

A.26 *“Recibiré 23 cromosomas de la madre y 23 del padre para tener 46 cromosomas”*

Sobre la herencia de caracteres adquiridos (vivir en oscuridad)

A.17 *“La visión de los bebés al cabo de muchas generaciones será en blanco y negro, a causa de una mutación, en la que el material genético es alterado. Es producido por un agente mutagénico como ha sido la luz”*

A.28 *“La visión de las nuevas generaciones sería totalmente correcta [en color] ya que aunque el grupo de antepasados suyos hubieran perdido o atrofiado su visión para los colores, ésta sería un carácter adquirido que no estaría en su información genética, por lo que su descendencia no lo heredará”*

B. ANÁLISIS DEL USO DE ESQUEMAS CONCEPTUALES EN LA PRUEBA FINAL II DE RESOLUCIÓN DE UN PROBLEMA ABIERTO

El problema abierto al que se ha enfrentado el SubGEXP, cinco meses después del desarrollo de la unidad didáctica, es el siguiente:

“¿Cómo podrías saber si alguno de tus futuros hijos nacerá con algún defecto en su visión?”

La resolución de este problema (P₁₃), así como su valoración, se encuentran recogidas en el Anexo II.

Para el contraste de la subhipótesis de este apartado, sólo nos interesa analizar el nivel de uso que hacen los estudiantes del SubGEXP de los esquemas conceptuales (EC) implicados en la resolución de este problema, que son los mismos que se necesitaron para la resolución del problema abierto de la fase Final I: EC1 sobre la localización de la información hereditaria y EC2 sobre la herencia de los caracteres adquiridos.

Recordamos que la categorización de estos EC en niveles de complejidad del 0 al 3, desde el más alejado al más cercano a la visión científica, está recogida en el Cuadro 5.13.

A continuación reflejamos los resultados del SubGEXP en la fase final I y II:

ESQUEMAS CONCEPTUALES		SubGEXP (I)		SubGEXP (II)		Wilcoxon
		Nº	%	Nº	%	
EC1: Localización de la información hereditaria	Nivel 0	0	0%	2	20%	1,24
	Nivel 1	0	0%	3	30%	
	Nivel 2	1	10%	0	0%	
	Nivel 3	9	90%	5	50%	
EC2: La herencia de padres a hijos	Nivel 0	0	0%	2	20%	0,63
	Nivel 1	0	0%	0	0%	
	Nivel 2	1	10%	2	20%	
	Nivel 3	9	90%	6	60%	

Cuadro 7.33: Resultados sobre el nivel de uso de los esquemas conceptuales (EC1, EC2) en la resolución del problema abierto Final I y Final II. Los valores en negrita apoyan la hipótesis nula de homogeneidad; es decir, los estudiantes del SubGEXP no han sufrido un retroceso significativo en el uso de los mismos ($p > 0,1$)

Los resultados nos indican que *los alumnos del SubGEXP utilizan, en la resolución del problema, un nivel de corrección en el uso del EC1 y EC2 que no ha sufrido un retroceso significativo respecto a la fase Final I.*

Recogiendo los resultados obtenidos en ambas pruebas, podemos afirmar que gracias al trabajo con una MRPI:

El cambio conceptual sobre Genética y herencia humana permanece en el tiempo sin sufrir retrocesos significativos

De manera pormenorizada, y para cada uno de los ámbitos de contenido, podemos recalcar que, a pesar del tiempo transcurrido, los estudiantes del SubGEXP:

- Respecto a la localización de la información hereditaria, mantienen que la información genética está contenida en cromosomas de todas las células, y no de forma exclusiva en los cromosomas sexuales o en los gametos.
- Sobre la herencia de padres a hijos, siguen pensando que los hijos reciben la mitad de la información de cada uno de los padres y que el proceso es totalmente al azar.
- En la herencia de caracteres adquiridos, la idea de que sólo se hereda la información contenida en los gametos, presenta un menor grado de permanencia; aunque, para la muestra con la que trabajamos, este retroceso no es estadísticamente significativo.

7.4.2 SUBHIPÓTESIS FINAL II-2: CONTRASTE DE LA PERMANENCIA EN EL TIEMPO DEL CAMBIO CONCEPTUAL SOBRE LA NATURALEZA DE LA CIENCIA

La formulación de esta Subhipótesis es la siguiente:

El cambio conceptual sobre la Naturaleza de la Ciencia permanece en el tiempo sin sufrir retrocesos significativos.

La prueba utilizada para su contraste recoge los aspectos fundamentales tratados en la prueba final I sobre las ideas respecto a: cómo se trabaja en Ciencia (preguntas 1, 2, 3a y 4); lo que es una teoría (pregunta 3b y 3c); las características de los científicos (pregunta 4); y las relaciones C-T-S (pregunta 5).

1. Cuando te venden un producto diciéndote que ha sido probado científicamente, ¿qué es lo que te imaginas?, ¿por qué crees que es mejor que otro producto similar en el que no incluyan esa información?
2. ¿Por qué realizan experimentos los científicos? ¿Crees que son necesarios en todas las investigaciones?
3. ¿Conoces alguna teoría científica?, ¿Cuál?:
Sobre la teoría que has indicado:
 - a) ¿Cómo crees que se elaboró?:
 - b) ¿Crees que fue la primera teoría científica que explicaba esos hechos?:
 - c) ¿Por qué crees que ahora se acepta esta teoría?:
4. Describe con todo lujo de detalles como te imaginas a una persona realizando una investigación científica.
5. Pon algún ejemplo de descubrimiento de carácter científico:
Y alguno de carácter tecnológico:
¿Por qué los has enmarcado en el campo de la Ciencia o en el de la Tecnología?:

La siguiente red sistémica recoge las ideas que, sobre la Naturaleza de la Ciencia, se indagan en las pruebas final I y II:

		SubGEXP (I)		SubGEXP (II)		Wilcoxon
		Nº	%	Nº	%	
<i>La Ciencia se hace</i>	Resolviendo problemas según unas pautas.	4	40%	5	50%	0,31
	Realizando acciones de	5	50%	1	10%	
	Experimentar, investigar Observar y estudiar	1	10%	4	40%	
	No lo sé	0	0%	0	0%	
<i>Los experimentos se realizan</i>	Tras pasos previos en la resolución de un problema como el análisis de la situación, el planteamiento de hipótesis	6	60%	4	40%	0,63
	Otros momentos	1	10%	0	0%	
	En varios momentos para ir comparando	1	10%	0	0%	
	Cuando se tienen datos Al final para comprobar resultados	2	20%	6	60%	
	No lo sé	0	0%	0	0%	
<i>Cambios de teoría</i>	Nuevos descubrimientos teóricos	5	50%	2	20%	0,31
	Nuevos avances tecnológicos (medios de investigar)	0	0%	0	0%	
	Nuevas comprobaciones por nuevos estudios o hipótesis	4	40%	7	70%	
	Las teorías antiguas son erróneas, y las nuevas son más creíbles y elaboradas	2	20%	0	0%	
	No lo sé	0	0%	1	10%	
<i>Características de los científicos</i>	Tener conocimientos de su Ciencia	5	50%	1	10%	1,99
	Inteligencia que le permita resolver problemas (imaginación, creatividad, mente abierta)	4	40%	7	70%	
	Interés, curiosidad	5	50%	1	10%	
	Trabajador tenaz, responsable, ordenado, hábil, perfeccionista...	4	40%	6	60%	
	Otras (buena persona, solitario, valiente)	0	0%	0	0%	
	No lo sé	0	0%	0	0%	
<i>La Tecnología es</i>	Tecnología	8	80%	10	100%	3,02
	Máquinas e inventos	1	10%	0	0%	
	Estudio de técnicas, etc.	1	10%	0	0%	
	Ayuda a otras ciencias No lo sé	0	0%	0	0%	

<i>Diferencias entre Ciencia y Tecnología</i>	Avances Científicos	[Conocimientos teóricos	8	80%	9	90%	3,1	
			Instrumentos y técnicas	2	20%	1	10%		
			No lo sé	0	0%	0	0%		
	Avances Tecnológicos	[Conocimientos teóricos	0	0%	0	0%		iguales
			Instrumentos y técnicas	10	100%	10	100%		
			No lo sé	0	0%	0	0%		
Simbología:									
}		Aspectos paralelos: elecciones simultáneas							
+		Alternativas diferentes							
(		Recurción: posibilidad de repetición					

Cuadro 7.34: Red sistémica de los resultados obtenidos en la prueba Final I y Final II sobre la Naturaleza de la Ciencia. Los valores en negrita apoyan la hipótesis nula de homogeneidad; es decir, los estudiantes del SubGEXP no han sufrido un retroceso significativo en sus conocimientos ($p > 0,1$)

Estos resultados nos permiten afirmar que *los alumnos del SubGEXP no presentan un retroceso significativo de los conocimientos sobre la naturaleza de la Ciencia* entre la finalización de su aprendizaje (Final I) y pasado un tiempo de varios meses (Final II).

Algunos ejemplos de las respuestas dadas por los estudiantes son:

Sobre cómo se trabaja en Ciencia:

- Un producto vendido con el marchamo de probado científicamente significa
A.10 *“Me imagino que sus propiedades han sido analizadas y se ha experimentado con ellos, comprobándose así que sus cualidades y efectos son adecuados para el consumo”*
A.22 *“Me imagino que será que ha sido sometido a distintas pruebas (como por ejemplo: calor, frío, humedad, manchas, ácidos, etc.) y las ha pasado satisfactoriamente”*
- Los experimentos se realizan:
A.3 *“Porque los experimentos ayudan a comprobar hipótesis que no se saben si pueden ser ciertas o inciertas. Los experimentos son la práctica y son necesarios”*
A.12 *“Toda investigación necesita experimentos que aseguren una hipótesis y sobre todo porque realizando experimentos nos quedamos más tranquilos ante el efecto de lo que investigamos”*

Sobre las teorías:

A.20 Ejemplo de teoría: *“La teoría de Wegener”*; ¿Cómo crees que se elaboró?: *“Pues Wegener la elaboraría a partir de datos, pruebas y después de muchas investigaciones”*; ¿Fue la primera teoría que explicaba estos hechos?: *“No, antes de él habría más gente que hubiese intentado explicar esos hechos con otras teorías”*; ¿Por qué se acepta?: *“Porque hay más pruebas que nos llevan a pensar que parte de esta teoría lleva razón”*

A.28 Ejemplo de teoría: *“La teoría genética”*; ¿Cómo crees que se elaboró?: *“Observando el funcionamiento de la herencia y realizando pruebas para ver lo que pasaba”*; ¿Fue la primera teoría que explicaba estos hechos?: *“No, pienso que se crearon muchas hasta llegar a la válida porque de una se van viendo los errores hasta que se consigue explicarlo todo”*; ¿Por qué se acepta?: *“Porque se han realizado pruebas para comprobarla en todos los posibles casos”*

Sobre los científicos y su trabajo:

A.20 *“Me imagino a esa persona con todo tipo de instrumentos necesarios para recoger datos y pruebas que le puedan ayudar (cámara fotográfica, recipientes para las muestras...). Supongo que después tendría que buscar todo tipo de información sobre lo que quiere investigar y tener conocimientos sobre ello”*

A.22 *“Me la imagino en un laboratorio con todo tipo de instrumentos (tubos de ensayo, matraz, pipeta), sustancias (ácidos, aguas, óxidos, etc., etc.), y documentación (libros, revistas, tesis, enciclopedias, tratados) los cuales combina con sus conocimientos para llegar a un resultado”*

Sobre las relaciones C-T-S: ¿Qué es Ciencia y qué Tecnología?

A.10 *“La penicilina y el principio de Arquímedes están relacionados con la medicina o la física (Ciencia); y el microondas y la televisión con el avance de nuevos elementos más desarrollados y mejores (Tecnología)”*

A.15 *“El descubrimiento de la clonación porque lo han investigado científicos, y la tele porque lo han descubierto ingenieros tecnológicos. Cada uno en su ciencia aunque los dos han sido una investigación”*

Por lo tanto, la hipótesis de este apartado ha sido contrastada, y se puede concluir que:

El cambio conceptual sobre la Naturaleza de la Ciencia permanece en el tiempo sin sufrir retrocesos significativos

Matizando esta conclusión, para cada uno de los aspectos relativos a la Naturaleza de la Ciencia estudiados, podemos decir que los estudiantes del SubGEXP:

- Respecto a sus ideas sobre cómo se trabaja en Ciencia, siguen pensando que la investigación científica se inicia con la resolución de problemas; donde la experimentación pretende contrastar hipótesis que surgen de un análisis de la cuestión.
- En relación con las ideas sobre cómo se crean y evolucionan las teorías, mantienen una visión dinámica de las mismas, como una construcción humana que cambia ante nuevos descubrimientos o formas de pensar.
- En cuanto a sus ideas sobre los científicos, persiste la imagen del científico con numerosas cualidades donde la creatividad, la curiosidad y el tener una mente abierta es más importante que los estereotipos de persona responsable, ordenada y perfeccionista.
- Las ideas sobre la Ciencia y Tecnología son idénticas a la fase final I, e incluso está más reforzada la idea de avance científico como avance de tipo teórico, y lo tecnológico con cuestiones relacionadas con máquinas.

7.4.3 SUBHIPÓTESIS FINAL II-3: CONTRASTE DE LA PERMANENCIA EN EL TIEMPO DEL CAMBIO DE METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS ABIERTOS

Esta subhipótesis está definida de la siguiente forma:

El cambio respecto a la metodología de resolución de problemas abiertos permanece en el tiempo sin sufrir retrocesos significativos.

Los alumnos del SubGEXP se han enfrentado a un nuevo problema abierto que coincide en el tipo herencia mendeliana, y en los esquemas conceptuales que se requieren para su resolución (EC1 y EC2), con el realizado en la fase Final I. Este problema, cuya resolución y valoración se encuentra en el Anexo II, es el siguiente:

¿Cómo podrías saber si alguno de tus futuros hijos nacerá con algún defecto en su visión?

Para el contraste de esta subhipótesis nos interesan las variables metodológicas (VM) y de verbalización (VV). Recordamos que cada una de ellas se valora del 0 al 3 según su nivel de realización (ver niveles de VM en Anexo II y de VV en p. 374).

Los resultados, recogidos en el siguiente cuadro, nos permiten indicar que *los alumnos del SubGEXP, excepto para la VM2 (emisión de hipótesis), han sufrido un retroceso significativo respecto a los contenidos referentes a procedimientos.*

VARIABLES		SubGEXP (I)		SubGEXP (II)		Wilcoxon
VARIABLES METODOLÓGICAS		N	%	N	%	
VM1 Análisis cualitativo del problema	Nivel 0	0	0%	2	20%	1,75
	Nivel 1	1	10%	4	40%	
	Nivel 2	3	30%	2	20%	
	Nivel 3	6	60%	2	20%	
VM2 Emisión de hipótesis	Nivel 0	0	0%	1	40%	1,18
	Nivel 1	2	20%	4	10%	
	Nivel 2	0	0%	2	20%	
	Nivel 3	8	80%	3	30%	
VM3 Elaboración de una estrategia de resolución	Nivel 0	0	0%	2	20%	1,75
	Nivel 1	2	20%	5	50%	
	Nivel 2	1	10%	1	1%	
	Nivel 3	7	70%	2	20%	
VM4 Resolución	Nivel 0	0	0%	5	50%	1,69
	Nivel 1	2	20%	2	20%	
	Nivel 2	2	20%	0	0%	
	Nivel 3	6	60%	3	30%	
VM5 Análisis de los resultados	Nivel 0	0	0%	6	60%	2,49
	Nivel 1	3	30%	2	20%	
	Nivel 2	7	70%	2	20%	
	Nivel 3	0	0%	0	0%	
VERBALIZACIÓN						
VV	Nivel 0	0	0%	5	50%	1,75
	Nivel 1	2	20%	2	20%	
	Nivel 2	1	10%	0	0%	
	Nivel 3	7	70%	3	30%	

Cuadro 7.35: Resultados de la resolución del problema abierto Final I y Final II. El valor en negrita apoya la hipótesis nula de homogeneidad; es decir, los estudiantes del SubGEXP no han sufrido un retroceso significativo en la realización de esa VM ($p > 0,1$)

Vamos a tomar ejemplos de cómo resuelven los estudiantes del SubGEXP este problema.

Aquellos, que obtienen valoraciones bajas (nivel 0 en todas o casi todas las variables), no lo resuelven, aunque sí dejan entrever los aspectos propios de la MRPI.

A.1 “Realizando una hipótesis después de hacer un análisis. En la hipótesis realizas los cruces necesarios, después realizas un análisis de resultados”

A.17 “Investigando en mis antepasados para saber si alguien tiene algún problema con la visión y compararla conmigo. Si en mi familia hay defectos de visión mi hijo nacerá con defectos. Pero puede que si en mi familia hay defectos de visión y en la familia de mi marido no, mi hijo tiene un 50% de probabilidades de padecerla”

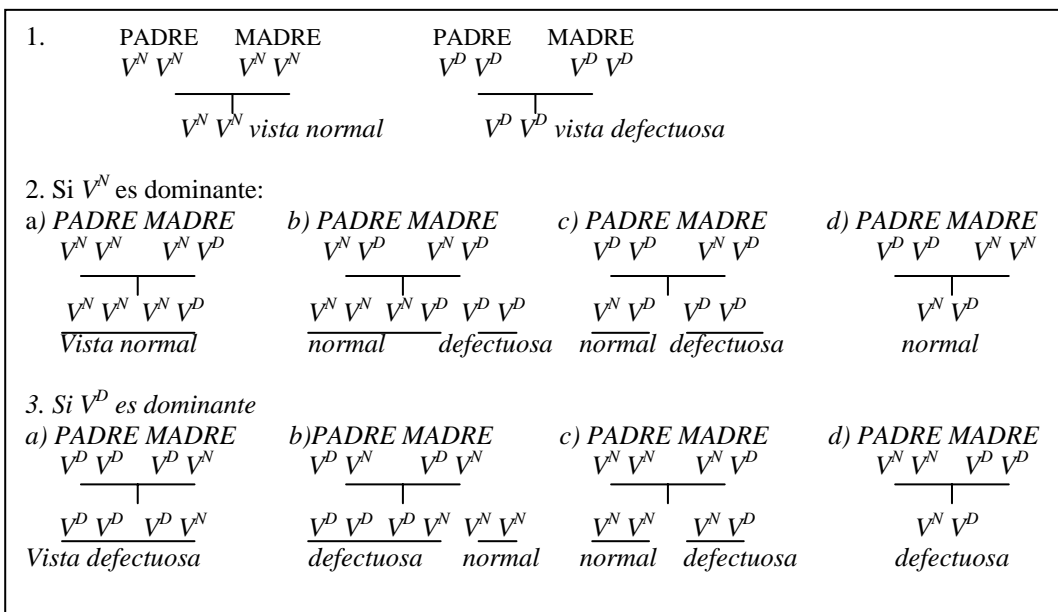
Un ejemplo de resolución más completa sería A.28:

“Análisis: El problema me está planteando la duda de cómo podría yo saber si un hijo mío podría nacer con un defecto en la visión. Voy a suponer mi material genético en todos los posibles casos y el del padre de mi hijo también. Voy a usar los términos de V^N para el alelo de la visión normal y V^D para el alelo de la visión defectuosa. Voy a realizar el problema en los dos posibles casos de que o V^N o V^D sean dominantes uno u otro.

Mi hipótesis acerca de este problema es la siguiente:

- Si el padre y yo tenemos los dos una información genética de tipo ($V^N V^N$) nuestro hijo tendrá visión normal, al igual que si los dos tenemos el material ($V^D V^D$) nuestro hijo tendrá una visión defectuosa.
- Si el V^N es dominante y alguno de nosotros tenemos el alelo V^N y lo hereda nuestro hijo tendrá visión normal.
- Si el V^D es dominante con que uno de los dos tengamos una alelo V^D nuestro hijo tendrá visión defectuosa.

Estrategia y resolución: dada la Teoría Genética y los otros problemas similares que he realizado voy a resolver el problema y lo voy a hacer dividiéndolo en las 3 partes en que he dividido mi hipótesis:



Análisis de resultados:

En el primer caso, si los dos son V^N o V^D tienen un 100% de posibilidades de que sus hijos nazcan V^N o V^D respectivamente.

Si es V^N dominante hay un 100% de posibilidades de que nazca con vista normal en el caso a), en el b) un 75%, en el c) un 50%, y en el d) un 100%.

Si es V^D dominante hay un 100% de posibilidades de que mi hijo nazca con vista deficiente en el caso a), en el caso b) un 75%, en el c) un 50%, y en el d) un 100%.

No tengo ninguna opción de mencionar un caso real pero habría que tener un caso de cada uno de estos anteriormente citados. A la luz de los datos teóricos obtenidos mi hipótesis es correcta pero le falta explicar lo que ocurriría si nuestro hijo no hereda un alelo dominante sino que coge el otro alelo que no sea el dominante, y ahí he descubierto que el caso 1 tendría $V^D V^D$ y en el 2 $V^N V^N$.”

Para comprobar que este retroceso no llega a niveles similares a los del GCON, se van a comparar los procedimientos utilizados por estos en la resolución del problema de la fase Final I y los resultados del SubGEXP en el problema de la fase Final II. Utilizamos, en las variables en las que hay retroceso, el test de la **U de Mann Whitney**. La hipótesis nula del test es que ambos grupos son iguales frente a la alternativa de que el SubGEXP es mejor. Estos son los resultados.

VARIABLES		SubGEXP (II)		GCON (I)		U de Mann-Whitney
VARIABLES METODOLÓGICAS		N	%	N	%	
VM1 Análisis cualitativo del problema	Nivel 0	2	20%	18	94,74% ⁵	21***
	Nivel 1	4	40%	1	26%	
	Nivel 2	2	20%	0	0%	
	Nivel 3	2	20%	0	0%	
VM3 Elaboración de una estrategia de resolución	Nivel 0	2	20%	19	100%	12,5***
	Nivel 1	5	50%	0	0%	
	Nivel 2	1	1%	0	0%	
	Nivel 3	2	20%	0	0%	
VM4 Resolución	Nivel 0	5	50%	16	84,21%	60,5*
	Nivel 1	2	20%	1	5,26%	
	Nivel 2	0	0%	0	0%	
	Nivel 3	3	30%	2	10,53%	
VM5 Análisis de los resultados	Nivel 0	6	60%	19	100%	49**
	Nivel 1	2	20%	0	0%	
	Nivel 2	2	20%	0	0%	
	Nivel 3	0	0%	0	0%	
VERBALIZACIÓN						
VV	Nivel 0	5	50%	19	100%	39,5***
	Nivel 1	2	20%	0	0%	
	Nivel 2	0	0%	0	0%	
	Nivel 3	3	30%	0	0%	

Cuadro 7.36: Resultados sobre la resolución de problemas abiertos del SubGEXP en la fase Final II y el GCON en la fase Final I. Los valores en negrita apoya la hipótesis alternativa de que el SubGEXP es significativamente mejor que el GCON (**p<0,001; **p<0,01; *p<0,05)

En relación con esta Subhipótesis Final II-3, los resultados obtenidos *sólo nos permiten su contraste en el caso de la VM2; sin embargo podemos indicar que, a pesar del retroceso, los procedimientos de resolución de problemas abiertos del SubGEXP siguen siendo significativamente mejores que los utilizados por el GCON tras el proceso de enseñanza-aprendizaje*. Y, por lo tanto, en cuanto a procedimientos, están en un nivel superior al que presentaban en la fase Inicial. Es de esperar que estos alumnos vuelvan a adquirir los hábitos de trabajo en la resolución de problemas como una investigación cuando continúen el trabajo con ella.

7.4.4. CONCLUSIONES ACERCA DE LA HIPÓTESIS FINAL II

Recogiendo los análisis de los apartados anteriores, no podemos considerar la hipótesis Final II contrastada y, sólo podemos decir que la permanencia en el tiempo de los aprendizajes se produce en los contenidos conceptuales: Genética y herencia humana y Naturaleza de las Ciencia.

Sobre esta permanencia de estos aprendizajes en el tiempo podemos concluir que:

- ✓ El trabajo en el aula con la MRPI permite el cambio conceptual, y su permanencia en el tiempo, tanto de los contenidos específicos con los que se trabajan, en nuestro caso Genética y herencia humana, como de los conceptos referentes a la Naturaleza de la Ciencia.
- ✓ Todo aprendizaje que se mantiene en el tiempo y cuyo olvido es lento implica la modificación sináptica y la formación de nuevas conexiones o refuerzo de las ya existentes; por lo tanto, la MRPI permite el cambio conceptual entendido como reestructuración de los esquemas mentales hacia otros más cercanos a los utilizados por la comunidad científica o los epistemólogos.
- ✓ A pesar de que los estudiantes, con el paso del tiempo, olvidan o dejan de utilizar la MRPI para resolver un problema abierto, esto no implica olvido de los conocimientos conceptuales que aprendieron gracias a la misma.

7.5. LA ACTITUD DE LOS ESTUDIANTES HACIA LA METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMO UNA INVESTIGACIÓN. ASPECTOS METACOGNITIVOS

Una vez contrastadas las hipótesis de la investigación, vamos a analizar la actitud de los estudiantes hacia la MRPI, y cómo han percibido las dificultades a las que se han tenido que enfrentar, su evolución en el aprendizaje, y sus logros; es decir, lo que hemos llamado aspectos metacognitivos.

Entre los diversos instrumentos para indagar las ideas de los estudiantes sobre el trabajo de resolución de problemas abiertos, la que más información nos ha aportado es la encuesta recogida en el apartado 4.4.2.E. En la misma se plantean cuestiones relacionadas con:

- Características de la tarea (ítems 1, 2, 3, 4 y 5)
- Autoconfianza (ítems 6, 10 y 12)
- Metodología y papel del profesor (ítems 7 y 11)
- Transposición a otras materias (ítems 8 y 9)

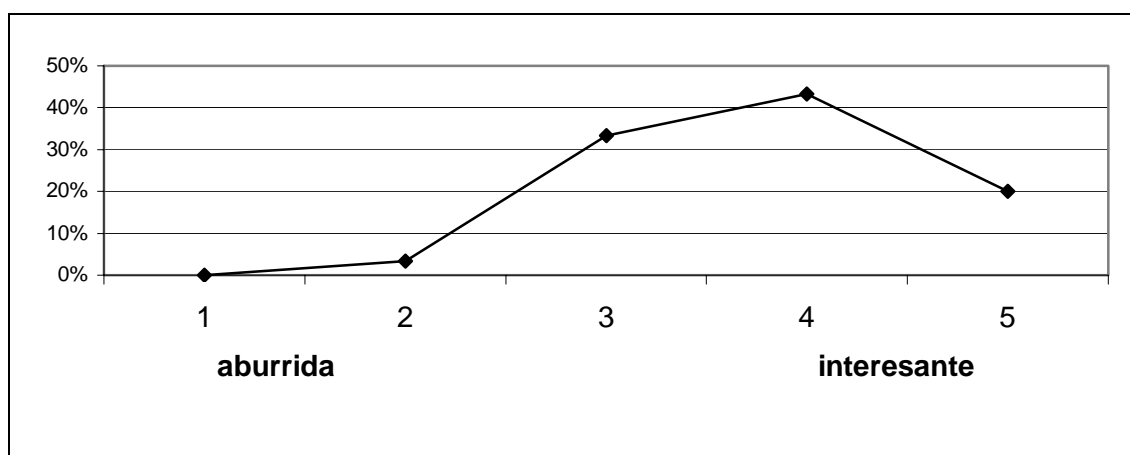
Los resultados obtenidos aparecen en la siguiente tabla:

CUESTIONES	VALORACION DE LAS RESPUESTAS				
	1	2	3	4	5
1	0,00%	3,33%	33,33%	43,33%	20,00%
2	16,66%	26,66%	46,66%	10,00%	0,00%
3	0,00%	0,00%	10,00%	40,00%	50,00%
4	0,00%	6,66%	33,33%	43,33%	16,66%
5	6,66%	3,33%	33,33%	30,00%	26,66%
6	0,00%	10,00%	16,66%	43,33%	30,00%
7	0,00%	13,33%	23,33%	50,00%	13,33%
8	0,00%	3,33%	13,33%	43,33%	40,00%
9	10,00%	16,66%	36,66%	16,66%	20,00%
10	6,66%	16,66%	20,00%	26,66%	30,00%
11	0,00%	0,00%	30,00%	46,66%	23,33%
12	0,00%	6,66%	13,33%	63,33%	16,66%

Cuadro 7.37: Resultados obtenidos en la encuesta sobre actitudes hacia la MRPI

A continuación se analiza cada cuestión recogiendo los resultados en una gráfica, e incorporando las razones que esgrimen los estudiantes a la hora de justificar su respuesta.

Cuestión 1: La MRPI me ha parecido una tarea: aburrida/interesante



Gráfica 7.16: Representación gráfica de los resultados de la cuestión 1.

El interés que ha suscitado este tipo de trabajo es evidente al observar el gráfico. Las razones de esa gran mayoría de estudiantes, a la hora de decir que esta forma de trabajo les ha resultado interesante, están relacionadas con el mayor aprendizaje de conocimientos útiles, y con el hecho de trabajar “como científicos”:

“Ponías en práctica los conocimientos de genética en problemas de la vida cotidiana, que puedes tener a lo largo de tu vida” (A.2)

“En realidad me ha hecho ver la Ciencia desde algo más cotidiano, y menos aburrido y difícil” (A. 12)

“Me ha ayudado a ver las cosas de otra manera y a trabajar como los expertos lo hacen” (A.10)

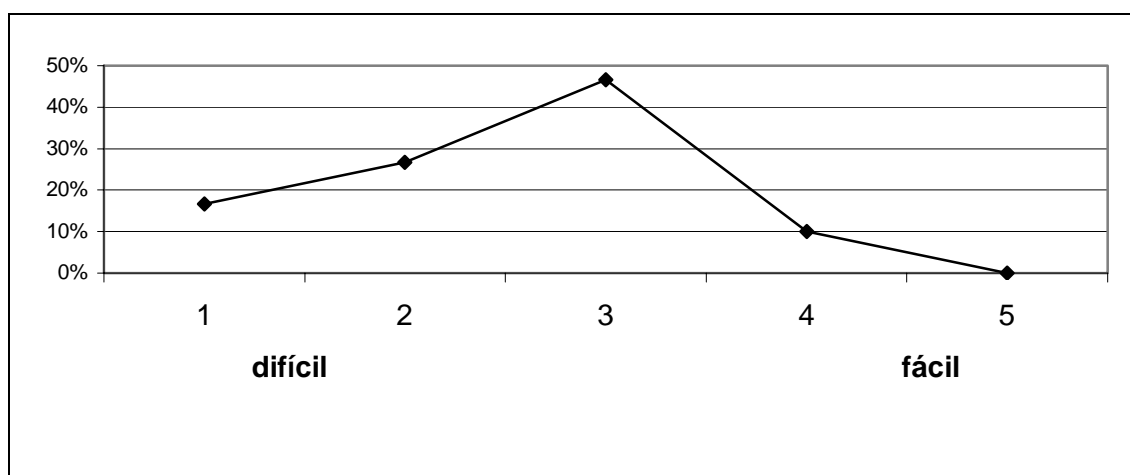
“Me gusta mucho eso de investigar e intentar resolver problemas reales como lo pudiera hacer un científico” (A.28)

Las razones de unos pocos para considerar la tarea aburrida están relacionadas con el esfuerzo exigido por esta forma de trabajo:

“Un poco cansada ya que nos has mandado muchos y me he pasado tardes y noches haciendo problemas” (A.3)

“Porque era muy cansado siempre hacer lo mismo, pero prefiero mucho antes esto a dar una clase normal (dentro de lo que cabe ha sido más interesante)” (A.23)

Cuestión 2: La MRPI me ha resultado una actividad: difícil/fácil



Gráfica 7.17: Representación gráfica de los resultados de la cuestión 2.

La MRPI les ha parecido, a la mayoría de los alumnos, una actividad de gran dificultad. Sin embargo, esto no ha supuesto una pérdida de interés como se constata en la cuestión 1.

Las respuestas de los estudiantes se centran en los aspectos que les han dado más quebraderos de cabeza:

“A veces era complicado entender el problema y tomar un camino para su resolución” (A.2)

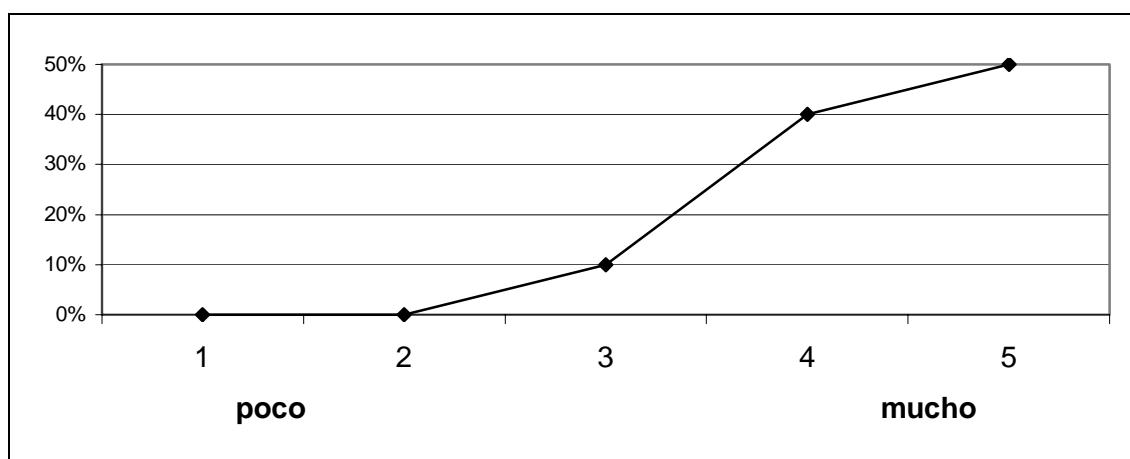
“Teníamos que explicar con mucho detalle todos los pasos que dábamos” (A.25)

y, en el hecho de que poco a poco los han ido superando:

“Al principio se me daban fatal, aunque al final se me han ido dando mejor” (A.6)

“En principio todo es difícil pero luego se han ido realizando en menos tiempo y con más rapidez, pero los problemas no eran fáciles” (A.16)

Cuestión 3: La MRPI me ha ayudado a aprender conceptos de Genética: poco/mucho



Gráfica 7.18: Representación gráfica de los resultados de la cuestión 3.

La gran mayoría de los estudiantes considera que la MRPI les ha ayudado a aprender conceptos de Genética, y sus razones se centran en que es necesario dominar los conceptos para aplicarlos y poder resolver los problemas:

“Algunos conceptos, aunque más bien me ha ayudado a saberlos aplicar” (A.5)

“En cada problema los necesitabas utilizar, cuando aparecía uno nuevo lo podías enlazar con los demás, y para el examen me ha ayudado mucho saber ya los conceptos” (A.9)

“De una manera práctica se entienden, no se aprende de memoria, y se sabe para qué sirven, dónde están, etc.” (A.12)

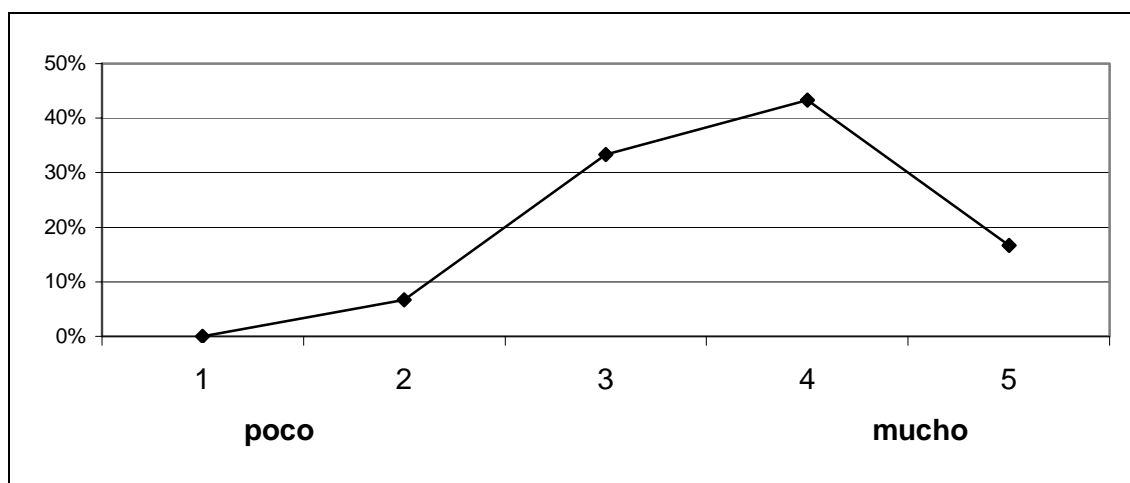
“Si no tenías claros los conceptos no podías resolver los problemas” (A.29)

También ponen de manifiesto un hecho que ya se había percibido en el aula al finalizar la unidad didáctica y dar comienzo las diferentes pruebas finales. Los estudiantes, o creían que no se había dado teoría para realizar un examen teórico, o creían que no necesitaban estudiar teoría porque la habían trabajado mucho:

“Con ello dabas muchas cosas que luego me ha servido para hacer bien el examen teórico” (A.6)

“No he tenido que estudiar nada para el examen y los conceptos que he aprendido ya no se me olvidan, no como los que puedo estudiar para un examen” (A.28)

Cuestión 4: La MRPI me ha ayudado a familiarizarme con procedimientos más científicos de trabajo: poco/mucho



Gráfica 7.19: Representación gráfica de los resultados de la cuestión 4.

La mayoría de las respuestas de los estudiantes se encuentran entre el valor intermedio, y los valores más altos. En las explicaciones que aportan reconocen que la forma de trabajo se acerca a la verdadera actividad científica (salvando las diferencias que puede haber entre un experto y un no-experto), y que los problemas son más reales o próximos a los que puede plantearse un científico:

“Hemos trabajado como lo haría un científico, haciendo supuestos, y así nos hemos puesto en su lugar” (A.10)

“En parte yo creo que sí pero por otra parte los científicos tienen un nivel más alto que nosotros y harán más cosas” (A.11)

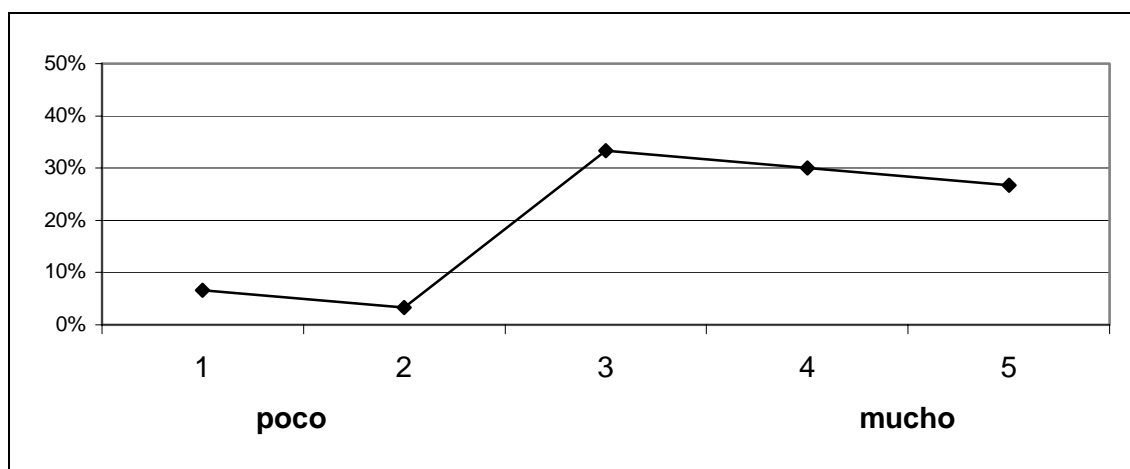
“Creo que un científico trabaja así, con problemas abiertos, pues ellos no conocen todos los datos, sino que tienen que investigar para conocerlos y llegar a soluciones distintas, a veces, como nosotros” (A.28)

Las razones de los dos estudiantes que dan un valoración baja a esta cuestión son estas:

“Después de hacer tantísimos problemas acabas por familiarizarte con todo” (A.29)

“Si, hemos hecho muchos problemas, pero sólo en papel, no hemos utilizado máquinas ni otros objetos científicos” (A.30)

Cuestión 5: La MRPI me ayuda a realizar problemas cerrados (tipo los que aparecen en el libro de texto): poco/mucho



Gráfica 7.20: Representación gráfica de los resultados de la cuestión 5.

Las respuestas se reparten entre los valores 3, 4 y 5. Sumando los valores más altos, más del 50% considera que la MRPI les ha ayudado a resolver los problemas cerrados del examen clásico (diseñado por la profesora del GCON). Sólo un 10% cree que no le ha ayudado.

Las razones esgrimidas por la mayoría se centran en el hecho de que cuando aprendes a resolver lo difícil, lo fácil (problemas cerrados) no supone ningún reto.

“Son iguales sólo que con todos los datos, y por lo tanto más sencillos” (A,6)

“He tenido que tener menos cosas en cuenta, sólo ceñirme a lo que se nos proponía y era más fácil ya que te lo daba el problema y no tenías que pensar como en los problemas abiertos que tienes que pensar en todas las posibilidades” (A.15)

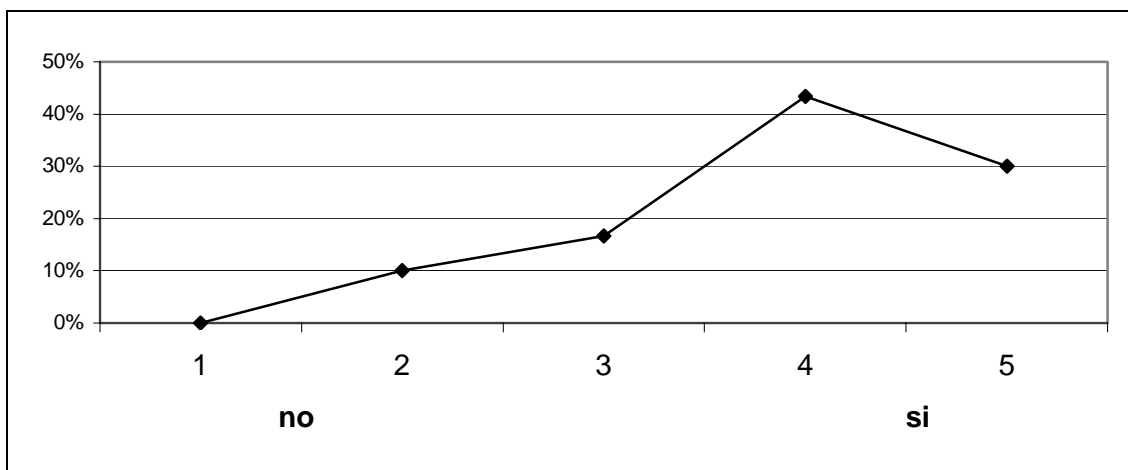
“Me parecen mucho más fáciles, llegan a una conclusión y un sola solución” (A.19)

Las razones de la minoría, que no consideran que los problemas abiertos les ayuden a realizar los otros, son del tipo:

“Dependiendo del tipo de problema” (A.13)

“Yo siempre encuentro más de una respuesta” (A.16)

Cuestión 6: Con las estrategias de resolución de problemas que he aprendido, me siento más capacitado para intentar resolver otros problemas que en principio me resultan desconocidos: no/sí



Gráfica 7.21: Representación gráfica de los resultados de la cuestión 6.

A la gran mayoría, más del 70%, el trabajo de resolución de problemas les ha dado la confianza suficiente como para enfrentarse a problemas desconocidos. Esta confianza nace de la percepción que tienen de que han aprendido a analizar más detenidamente una situación problemática o novedosa:

“Al haber aprendido a resolver estos problemas, y de diversas maneras, me veo capaz de resolver un problema desconocido” (A.12)

“Estas estrategias se aplican y sirven para otros problemas aunque sean distintos” (A.10)

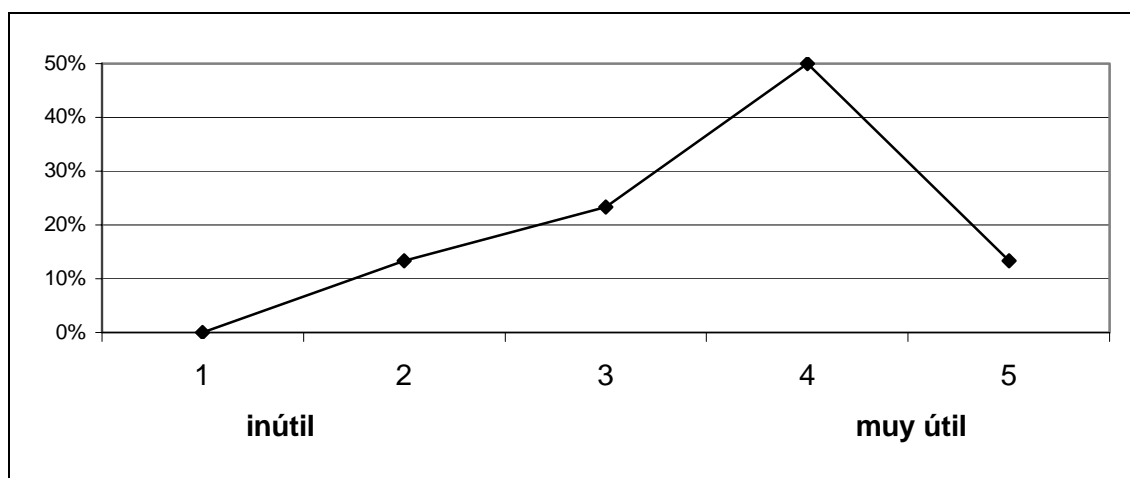
“Pienso más detenidamente los problemas, imagino posibles soluciones y miro los pros y los contras de cada posible solución” (A.19)

Los que no se sienten tan seguros es porque las dificultades que han tenido a la hora de resolver problemas les hace ser precavidos, o bien reconocen que cada problema necesita de nuevos datos o estrategias:

“Como en todo hay unos que parecen más fáciles y otros difíciles, necesito algo de base siempre para realizar alguno desconocido” (A.5)

“No me salen bien, ya que hay que buscar estrategias con que resolverlos y pueden estar mal” (A.17)

Cuestión 7: ¿Cómo te ha resultado la ayuda que has recibido del profesor para aprender a resolver problemas?: inútil/muy útil



Gráfica 7.22: Representación gráfica de los resultados de la cuestión 7.

Aunque este gráfico indica una mayoría de estudiantes contentos de la ayuda recibida por el profesor, si analizamos las respuestas nos encontramos con una situación muy curiosa. Estudiantes con valoraciones opuestas coinciden en las razones por las que eligen esa puntuación, y estudiantes que han dado un valor alto a la ayuda recibida por parte del profesor difieren considerablemente en sus argumentos. La razón se encuentra en que unos piensan que el papel del profesor debe ser el de ‘experto que soluciona el problema’, y otros han aceptado el papel del profesor como ‘guía’.

Algunas de las razones de los estudiantes que dieron una puntuación de 2 o 3 han sido:

“Tampoco nos ha ayudado demasiado sólo nos daba alguna pista de vez en cuando” (A.3)

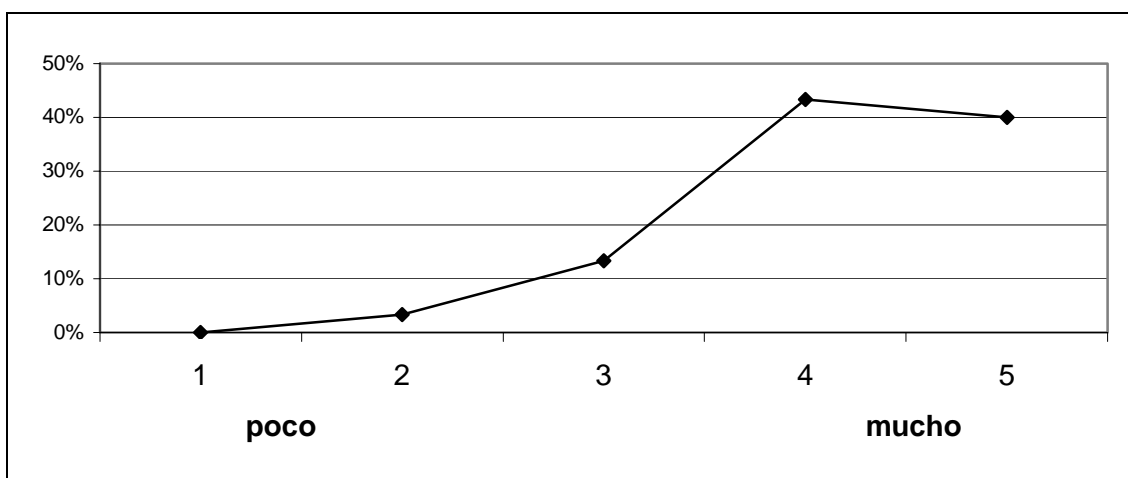
“A veces te explicaba las cosas y lo que hacía era presentar más problemas de los que teníamos al principio” (A.27)

Entre los argumentos esgrimidos por los estudiantes que dieron una puntuación de 4 o 5 tenemos:

“Nos guiaba pero nos dejaba la resolución a nosotros” (A.14)

“Ella aunque no nos lo resolvía nos encaminaba hacia el problema y nos daba mucha ayuda ya que nos preguntaba mucho sobre nuestra respuesta” (A.15)

Cuestión 8: El tipo de problemas que hemos resuelto, ¿te ayudará en el futuro a resolver situaciones de tu vida cotidiana (salud, familia, consumidor...)?: poco/mucho



Gráfica 7.23: Representación gráfica de los resultados de la cuestión 8.

Exceptuando un estudiante (A.5) que no ve los problemas trabajados en el aula “*aplicables a la vida cotidiana*”, el resto de la clase considera que los contenidos, en especial los referentes a enfermedades, los van a poder utilizar en el futuro. Algunas explicaciones dadas por ellos son:

“*Si la ciencia sigue avanzando la genética en el futuro formará parte de la vida cotidiana*” (A.14)

“*Puedes dar opiniones sobre posibles enfermedades o cambios genéticos*” (A.25)

“*Sé como se trabaja en ciencias, entiendo las noticias que oigo, sé lo que son los transgénicos, etc., algo que en el futuro muy próximo se va a usar mucho*” (A.28)

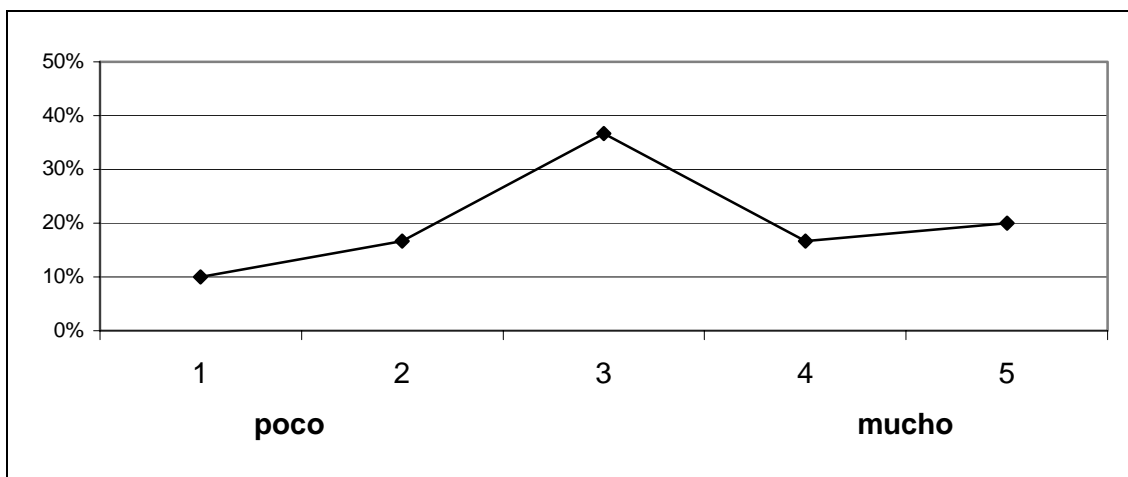
También consideran que la forma de trabajo, no sólo los contenidos, les va a ayudar en otros aspectos de su vida:

“*Siempre en la vida diaria tienes que tomar decisiones, y ahora diariamente las estamos tomando*” (A.7)

“*Hemos aprendido a resolver los problemas haciendo análisis muy amplios y pensando en los beneficios o perjuicios*” (A.10)

“*Analizaré la situación y la resolveré, pero yo creo que no utilizaré todos los pasos*” (A.16)

Cuestión 9: ¿Crees que los procedimientos de trabajo que has practicado en la MRPI te van a ser útiles cuando resuelvas problemas de otras materias: Matemáticas, Química, Física?: poco/mucho



Gráfica 7.24: Representación gráfica de los resultados de la cuestión 9.

El mayor número de respuestas (36,66%) se encuentran en el valor intermedio de duda o indecisión a la hora de optar por una respuesta; sin embargo, las explicaciones de los estudiantes son cercanas a la utilidad de la MRPI en cualquier campo:

“Según, yo creo que si, el procedimiento de trabajo es muy bueno, te ayuda a ir resolviendo los problemas desde el principio (tenerlo pensado)” (A.20)

“Pueden servir, porque también en estas materias te tienes que hacer un análisis...” (A.26)

Si sumamos los valores de 4 y 5, otro 36,66% de los estudiantes consideran que la forma de trabajo es útil para cualquier tipo de problema porque:

“Estos procedimientos pueden aplicarse a otras materias” (A.10)

“Estos problemas no son sólo específicos para biología, hemos aprendido a analizar la situación y para mí es lo más importante” (A.16)

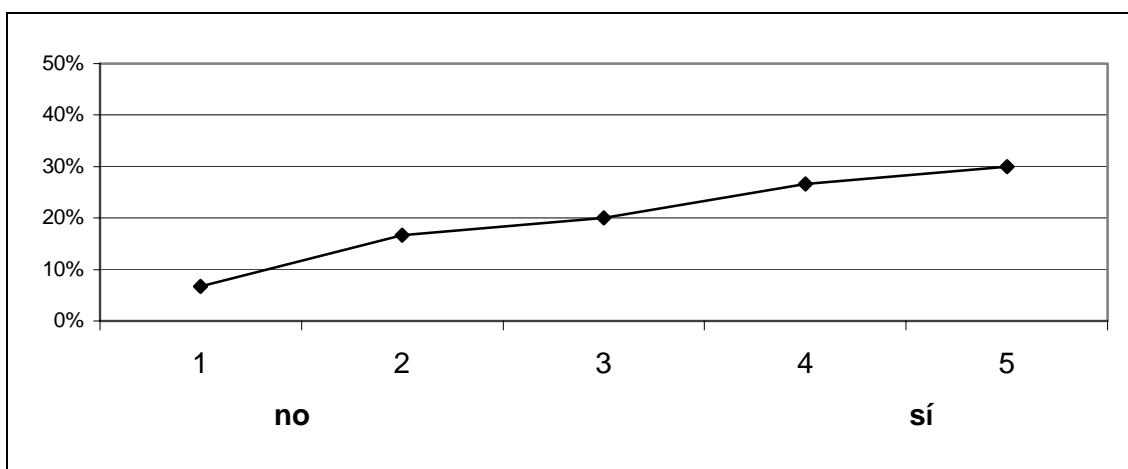
Sólo un 26,66% de los estudiantes no extrapolan la MRPI a otras disciplinas:

“No sé, a lo mejor en química, pero por ahora no me han servido para ninguna de las anteriores asignaturas” (A.13)

“No tiene nada que ver, porque son campos cerrados” (A. 17)

“Cada materia tiene su método de resolución de problemas distintos” (A.22)

Cuestión 10: La forma en que hemos trabajado la asignatura, ¿te ha abierto nuevas perspectivas e interés sobre qué es la Biología o las Ciencias en general?: no/sí



Gráfica 7.25: Representación gráfica de los resultados de la cuestión 10.

La mayoría de los estudiantes muestran un gran interés sobre la Biología o las Ciencias en general, a partir de esta forma de trabajar en el aula:

“Me ha parecido que no son tan aburridas como las pintan, sino que pueden ser muy interesantes” (A.5)

“Antes creía que la biología sólo era animales y plantas” (A.8)

“Me gustaría estudiar Ciencias y esto que me ha hecho obtener buenos resultados, me ha animado a seguir en la Ciencia” (A.12)

“Me ha llevado a pensar más sobre cómo es la ciencia y lo bonito que es investigar y lo amplio que es la Biología y las Ciencias en general” (A.24)

“Yo pensaba que esto era sólo teórico, de estudiar mucho, y gracias a los trabajos, pienso que es más práctico e interesante las ciencias” (A. 30)

El 23,32% de los estudiantes dan respuestas negativas porque no van a seguir estudiando Ciencias, o bien reflejan sus dificultades con la MRPI:

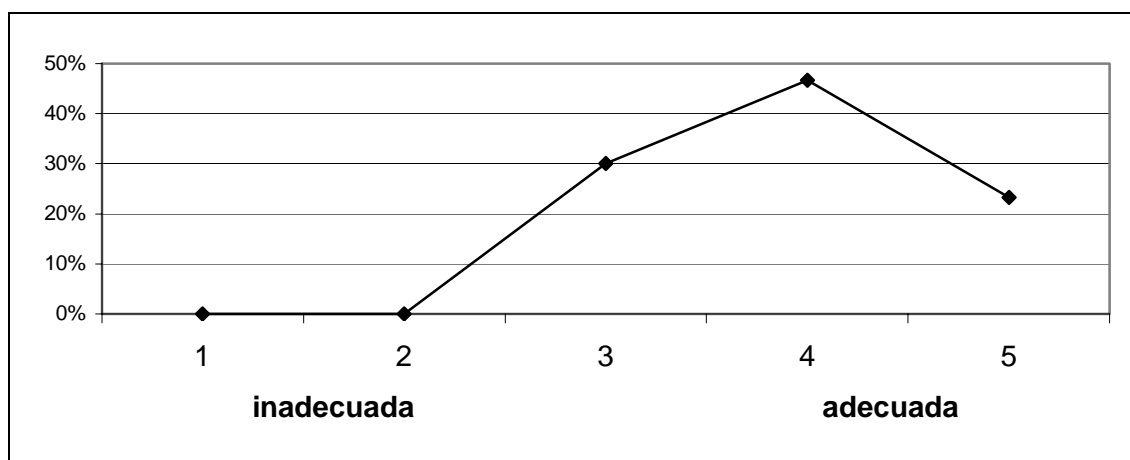
“Ha sido interesante pero no va conmigo” (A.16)

“No me interesa la Ciencia en general, me ha despertado curiosidad, nada más” (A. 19)

“Lo que más me gusta en este mundo son la música, la poesía y el dibujo” (A.25)

“Ha sido todo lo contrario, estos problemas me han parecido muy complicados por lo que ya no tengo tantas ganas como al principio de interesarme por la Biología” (A.27)

Cuestión 11: ¿Cómo te ha resultado la metodología con que se han desarrollado las clases de Genética?: inadecuada/adecuada



Gráfica 7.26: Representación gráfica de los resultados de la cuestión 11.

No hay ningún estudiante que considere la metodología utilizada como inadecuada. Las razones que dan, el 70% de los estudiantes, para considerarla adecuada son, principalmente, la organización del trabajo en grupos y la dinámica activa seguida en el aula:

“Trabajar en grupos de trabajo te ayuda a resolver los problemas con más interés, debido a que tienes que discutir las distintas opciones de cada miembro del grupo”
(A.9)

“Ha sido adecuada porque ha hecho que todos prestemos atención y que las clases sean más amenas” (A.13)

“Buena, ya que en poco tiempo he aprendido muchas cosas casi sin estudiar nada”
(A.15)

“Eran entretenidas y variadas porque te hacían razonar mucho en los problemas. Contaba mucho el trabajo personal diario y eso me gusta” (A.19)

“Aunque nunca había trabajado así, me gusta esta forma de trabajo” (A.26)

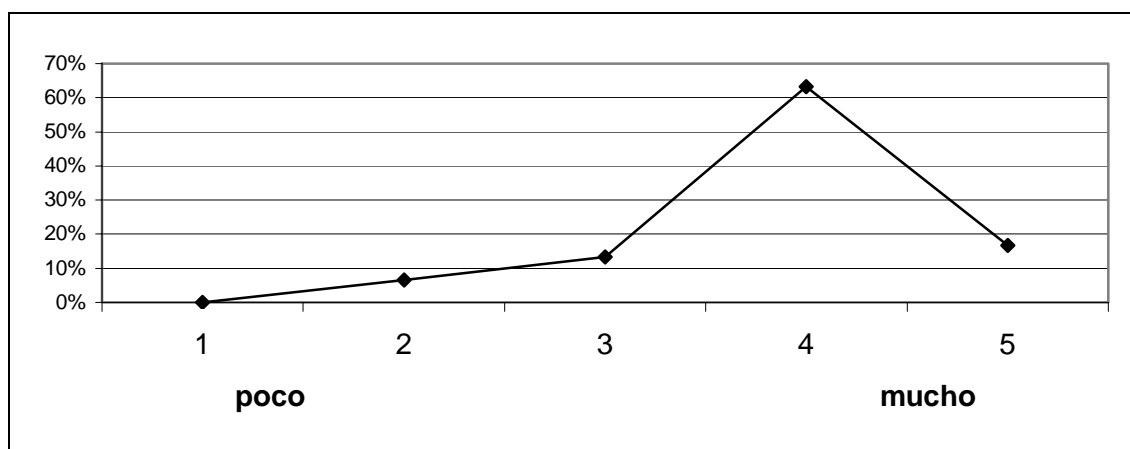
Las respuestas correspondientes al valor intermedio (30%), no dan mucha información y son del tipo:

“No se si ha sido la adecuada porque nunca antes había dado Genética” (A.7)

“Todo el tiempo hemos estado haciendo problemas y eso me aburría un poco”
(A.27)

“Hubiese preferido realizar clases más divertidas” (A.29)

Cuestión 12: El tipo de trabajo que hemos realizado, ¿ha aumentado tu autoconfianza para resolver problemas?: poco/mucho



Gráfica 7.27: Representación gráfica de los resultados de la cuestión 12.

Sólo un 6,66% de los estudiantes no se creen capaces de resolver problemas, las razones de estos dos alumnos son:

“Más bien no, me ha dejado por los suelos ya que casi todos los tengo mal, me he llegado a desanimar mucho” (A.5)

“Soy una persona que tengo muy poca confianza en mí” (A.7)

El resto de la clase presenta un alto grado de autoconfianza a la hora de resolver otros problemas:

“Ahora me siento más seguro de mí mismo, antes me parecía imposible que yo resolviera estos problemas” (A.2)

“Yo pensaba que esos problemas no los iba a poder resolver y ahora me doy cuenta que poco a poco los he ido cogiendo el tranquillo” (A.28)

“Me he dado cuenta de que soy capaz de resolver problemas a partir de otro más abierto” (A.30)

incluso aunque los resultados finales no hayan sido buenos:

“Me ha ayudado mucho para confiar en mí misma y poder hacerlos aunque estén mal” (A.17)

Una valoración global de los datos obtenidos, muestra que las opciones más favorables, extremos 4 y 5 del diferencial de la escala Likert, han sido escogidas como media en un **61,93%** de las respuestas. El extremo más negativo del diferencial, puntuaciones 1 y 2, ha sido escogido como media en un **12,21%** de las respuestas. Estos valores son muy relevantes en cuanto al grado de aceptación y valoración que esta metodología ha tenido en los estudiantes; y son muy superiores a los obtenidos en pruebas similares realizadas con alumnos inmersos en modelos de enseñanza de tipo expositivo.

Esta misma prueba, utilizada para medir la actitud de estudiantes de Física hacia la MRPI (Varela, 1994), obtiene resultados similares sobre los tres primeros aspectos mencionados al inicio: características de la tarea, autoconfianza del alumno y metodología y papel del profesor. Sólo se han detectado diferencias en relación a la transposición de estos conocimientos. Los estudiantes de Física, frente a los de Biología, ven más factible usar esta metodología en otras disciplinas científicas. Sin embargo, los estudiantes de Biología, frente a los de Física, ven más fácil la aplicación de estos conocimientos a resolver cuestiones de la vida cotidiana. Esta diferencia se debe a la naturaleza de las dos disciplinas académicas, tanto por el uso habitual de problemas, como por la cercanía de los contenidos con la realidad del alumnado.

Los resultados que hemos obtenido en nuestro trabajo nos permite afirmar que el uso de **la MRPI ha incidido en una actitud favorable hacia la tarea de resolver problemas, en el marco general del aprendizaje de las Ciencias.**

Dentro de los **aspectos metacognitivos**, que se han analizado podemos llegar a las siguientes conclusiones preliminares a partir de las opiniones de los protagonistas del proceso de aprendizaje:

- ✓ La MRPI genera interés en los estudiantes porque permite un mayor aprendizaje de conocimientos útiles, y de forma práctica y cercana al trabajo científico. El aprendizaje realizado es muy útil en la vida diaria porque se ha aprendido a tomar decisiones, pensar y resolver un problema desde el principio, y a discutir en grupos las diferentes opciones de resolución.

- ✓ Las dificultades en la MRPI se relacionan con la elección de un camino o forma de resolución; y con el mayor esfuerzo que supone esta forma de trabajo que requiere explicar todos los pasos y decisiones que se toman.

- ✓ Los estudiantes consideran que con la MRPI han aprendido de una forma muy especial, lo que les hace sentirse seguros de sus conocimientos y capaces de resolver problemas desconocidos para ellos.

PARTE IV.

CONCLUSIONES

CAPÍTULO 8

SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS E IMPLICACIONES DIDÁCTICAS

INTRODUCCIÓN

La investigación realizada ha tenido la finalidad de aplicar una metodología de aula, la resolución de problemas como una investigación (MRPI), para el desarrollo de un enfoque C-T-S dentro del currículo de Biología en el nivel de Secundaria Obligatoria. Por ello, los objetivos de cambio conceptual, de procedimientos y de actitudes que se le atribuyen a esta metodología, en nuestro estudio, no se han limitado a los contenidos biológicos de la disciplina sino que se han ampliado hacia ámbitos epistemológicos. Se ha estudiado tanto el cambio conceptual respecto a la Genética y herencia humana como a la Naturaleza de la Ciencia; el cambio metodológico se ha centrado en estrategias propias de la actividad científica, la resolución de problemas; y el cambio de actitudes se ha referido a la Ciencia como conocimiento y disciplina de estudio, y a las relaciones C-T-S. Además, se ha investigado sobre las interacciones de las diferencias individuales, en concreto el estilo cognitivo Dependencia-Independencia de Campo (DIC), en el aprendizaje de la MRPI.

Este trabajo busca contribuir al desarrollo teórico de la Didáctica de las Ciencias en aspectos como:

- favorecer el aprendizaje significativo de los estudiantes,
- promover metodologías de aula más activas y cercanas a perspectivas de la Ciencia acordes con la epistemología actual,
- ampliar la validez de la MRPI, desarrollada en las últimas décadas, al campo concreto de la Genética,
- desarrollar nuevas perspectivas del enfoque C-T-S a partir de la MRPI,
- elaborar materiales curriculares adecuados al nivel investigado,
- potenciar, dentro del paradigma de investigación-acción en el que se enmarca la metodología de este trabajo, el desarrollo profesional del profesorado de Secundaria a partir de su implicación en acciones de innovación educativa.

A lo largo del Capítulo 7, el análisis de los resultados se ha organizado alrededor de las hipótesis formuladas en cada uno de los momentos de recogida de información

(Inicial, Intervención en el aula, Final I y Final II). Aunque allí se hizo un análisis más pormenorizado de los resultados (pp. 386, 402, 415,429, 435, 450, 473, 474-476, 483, 488, 493, 507-508), ahora, vamos a presentar una síntesis de las conclusiones obtenidas siguiendo un criterio más académico como es distribuirlas por el tipo de contenidos escolares: conceptos, procedimientos y actitudes. Por último, se recogen las implicaciones didácticas que puedan tener los resultados de nuestra investigación.

8.1. SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Como ya hemos indicado, vamos a recoger las conclusiones de esta investigación según el tipo de contenidos escolares:

- Conceptos: (A) de Genética y herencia humana
(B) sobre la Naturaleza de la Ciencia
- Procedimientos: (C) de resolución de problemas
- Actitudes: (D) relacionadas con la Ciencia
(E) relativas a las relaciones C-T-S

A. SOBRE LOS CONTENIDOS CONCEPTUALES DE GENÉTICA Y HERENCIA HUMANA

La eficacia de la MRPI a la hora de promover el cambio conceptual, sobre Genética y herencia humana, se manifiesta en:

1. Los estudiantes, tras el trabajo realizado en la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?”, **modifican sus esquemas conceptuales sobre localización de la información hereditaria, herencia de padres a hijos y herencia de caracteres adquiridos**, hacia otros más próximos a los defendidos actualmente por la ciencia.
2. Este **aprendizaje es, desde el punto de vista estadístico, significativamente mayor que el realizado a través de una metodología tradicional.**
3. El cambio conceptual sobre estos contenidos conceptuales **permanece en el tiempo sin sufrir retrocesos estadísticamente significativos.**

Además, respecto a los esquemas conceptuales estudiados, se puede concluir que:

4. **Los niveles de complejidad con el que los estudiantes utilizan, a lo largo de la resolución de problemas, cada uno de los esquemas conceptuales sobre Genética y herencia humana están relacionados entre sí.** Esta correlación se establece de forma más evidente entre la localización de la información hereditaria y la herencia de padres a hijos, y entre estos dos y el de la herencia de caracteres adquiridos. Los estudiantes alcanzan un nivel mayor de coherencia en sus explicaciones sobre la herencia de padres a hijos cuando ya se ha producido el cambio conceptual sobre la localización de la información hereditaria. De la misma forma, la modificación de esquemas alternativos sobre la herencia de caracteres adquiridos requiere el cambio conceptual previo en los esquemas anteriores.
5. El cambio conceptual sobre los contenidos conceptuales investigados **no se ha podido relacionar con características individuales de los estudiantes como el estilo cognitivo DIC.**

B. SOBRE LOS CONTENIDOS CONCEPTUALES RELACIONADOS CON LA NATURALEZA DE LA CIENCIA

La validez de la MRPI para generar un cambio conceptual, en las creencias sobre la Naturaleza de la Ciencia, se refleja en:

1. Los estudiantes, a través del trabajo de resolución de problemas abiertos, **modifican sus ideas respecto a cómo se trabaja en Ciencia, qué es una teoría, las características de los científicos y sobre las relaciones C-T-S**, evolucionando hacia una visión más actualizada y cercana a la epistemología actual.
2. Este **aprendizaje es significativamente mayor, estadísticamente hablando, que el que se produce a través de una metodología tradicional.**
3. El cambio conceptual sobre cuestiones epistemológicas **permanece en el tiempo sin sufrir retrocesos estadísticamente significativos.**

C. SOBRE LOS PROCEDIMIENTOS DE LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS ABIERTOS COMO UNA INVESTIGACIÓN

Sobre el aprendizaje que los estudiantes han realizado de los procedimientos propios de la MRPI, podemos decir que:

1. Los estudiantes **evolucionan de forma estadísticamente significativa hacia niveles de resolución más complejos de las variables metodológicas y de verbalización**. Dentro de las variables metodológicas, el *análisis cualitativo del problema* y la *elaboración de una estrategia de resolución*, son las que más han mejorado.
2. Esta evolución en la resolución de problemas abiertos es **estadísticamente significativa para los problemas de tipo: herencia mendeliana, herencia no mendeliana, herencia de caracteres adquiridos**. Para los problemas de aplicaciones biotecnológicas, debido a su diferente naturaleza, no se ha apreciado dicha evolución.
3. Los estudiantes son capaces de **transferir la metodología aprendida** de un tipo de problema a otros. Las dificultades que se han apreciado en este proceso se deben a la necesidad de encontrar un nuevo patrón o modelo de herencia, siendo la no mendeliana la que presenta mayores complicaciones a la hora elaborar una estrategia de resolución.
4. Este aprendizaje es **mayor, estadísticamente, que el que se obtiene a través de una metodología tradicional** y, también capacita, en mayor proporción, a los estudiantes para la resolución de problemas cerrados, ya sean de tipo causa-efecto o efecto-origen.

Además, respecto a las características individuales en el aprendizaje de la MRPI:

5. El **estilo cognitivo DIC de cada individuo influye en la realización de las variables metodológicas y de verbalización**. De las variables, la que menos afectada se encuentra es la *resolución de problemas*.

D. SOBRE LAS ACTITUDES RELACIONADAS CON LA CIENCIA

La MRPI se manifiesta como una buena metodología a la hora de facilitar el cambio de actitudes relacionadas con la Ciencia, entendida como conocimiento y disciplina de estudio, porque:

1. Los estudiantes, que han trabajado con esta metodología en el aula, **modifican sus actitudes hacia otras más críticas y favorables respecto al progreso científico, más acordes con las características de la actividad científica, y más motivadoras hacia su estudio.**
2. Los estudiantes que han trabajado con nuestra propuesta metodológica **manifiestan un cambio de actitud que es, estadísticamente, más favorable que el presentado por los estudiantes que siguen una metodología tradicional.**

E. SOBRE LAS ACTITUDES RELATIVAS A LAS RELACIONES C-T-S

El trabajo con la MRPI permite el cambio de estas actitudes porque:

1. Los estudiantes, que han trabajado con esta metodología, **modifican sus posturas sobre las relaciones C-T-S hacia otras más definidas y favorables** porque han ido generando sus propias opiniones respecto al papel de los científicos en la Sociedad, la influencia de la Ciencia y la Tecnología en la Sociedad, la finalidad de la Ciencia y los gastos en investigación, y los límites de la Ciencia y la Tecnología.
2. Las actitudes hacia las relaciones C-T-S **son estadísticamente más definidas y favorables en los estudiantes, que trabajan con la MRPI, que las que manifiestan los que siguen una metodología tradicional.** Este cambio también se manifiesta en la mayor capacidad crítica y de razonamiento, que tienen los estudiantes que han trabajado con la resolución de problemas abiertos, a la hora de tomar decisiones en una situación problemática personalizada con connotaciones C-T-S.

A parte de estas conclusiones, extraídas de la investigación llevada a cabo, querríamos destacar algunas cuestiones más ligadas a la metodología utilizada en las investigaciones dentro del área de la Didáctica de las Ciencias Experimentales.

En primer lugar, recalcar la importancia y riqueza que supone el uso conjunto de técnicas cualitativas y cuantitativas para el análisis de las informaciones y datos recogidos.

En segundo lugar, la necesidad de profundizar en resultados ya existentes en la literatura. En este sentido, en este trabajo se ha llevado a cabo la validación de pruebas utilizadas por otros autores para indagar las ideas de los alumnos, y se ha consolidado y ampliado el conocimiento que sobre la MRPI se está desarrollando en los últimos tiempos.

En tercer lugar, la elaboración de una unidad didáctica que nos ha permitido llevar a buen puerto nuestras hipótesis de trabajo y, que consideramos un material curricular útil, y ya validado, para su uso en el aula.

8.2. IMPLICACIONES DIDÁCTICAS

Dentro de la enseñanza de las ciencias, la resolución de problemas es una actividad esencial y característica de estas disciplinas. Por ello, como ya se ha ido viendo a lo largo de esta memoria, las investigaciones en didáctica sobre metodologías basadas en este tipo de actividades han sido numerosas. Las implicaciones didácticas que se sugieren, a partir de los resultados de nuestro trabajo, son una aportación más a las propuestas de actuación en el aula de cómo enseñar que se realizan desde marcos teóricos constructivistas sobre cómo aprenden los estudiantes.

1. **La MRPI** aplicada a la enseñanza de la Biología permite, al igual que en otras disciplinas, que los estudiantes reestructuren sus conocimientos, produciéndose un cambio conceptual, de procedimientos y en las actitudes, que **abarca y supera los objetivos curriculares definidos** para el nivel y curso de los alumnos investigados. Por lo tanto, el trabajo de resolución de problemas abiertos, **aporta a la enseñanza de la Biología una forma novedosa y más productiva de abordar sus contenidos**. El trabajo con esta metodología debería estar presente en la enseñanza de esta disciplina puesto que, al igual que en otras, la construcción de su cuerpo de conocimientos surge de la resolución de problemas verdaderos. Esta propuesta nos llevaría a plantear **una revisión de los procedimientos con los que se trabaja el currículo de Biología** de forma que incluya, a través de la resolución de problemas abiertos, **una visión de la misma más cercana a la epistemología actual**. Con el ánimo de realizar esta labor, **hemos desarrollado materiales curriculares, enmarcados dentro de la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?”**, que permiten trabajar con la MRPI dentro de un enfoque C-T-S **para el nivel de 4º de E.S.O. vigente**. A este respecto, esperamos que nuestra aportación sea de utilidad a los profesores y suponga un punto de inicio de esta ardua tarea, **favoreciendo el desarrollo profesional de los mismos y la mejora educativa**.
2. Salvando las diferencias en los contenidos de las distintas disciplinas de ciencias, **la MRPI** se manifiesta como una **metodología potente a la hora de conseguir los aprendizajes** tan deseados dentro de la enseñanza, que sin duda se ven reforzados

por el trabajo en grupos cooperativos. Por ello, consideramos oportuno aplicarla **en la enseñanza de todas las ciencias**, resaltando para el caso de Biología, que **posibilita la inclusión de problemas muy relacionados con la vida diaria de los individuos** (salud, uso de medicamentos, hábitos alimenticios, parecidos familiares, etc.), que se potencia aún más **la predisposición** del alumnado hacia la resolución de problemas abiertos. Además **el interés de los estudiantes** hacia esta forma de trabajo es muy alto **porque incide en aspectos metacognitivos** como permitir que ellos sean conscientes del aprendizaje realizado y su utilidad, así como favorecer su autoconfianza a la hora de resolver otros problemas.

3. En lo que respecta a los contenidos conceptuales escolares de Genética y herencia humana, **la correlación encontrada ente los distintos esquemas conceptuales investigados** (la localización de la información hereditaria, la herencia de padres a hijos y la herencia de caracteres adquiridos) **nos proporciona una pauta fundamental para la selección y organización** adecuada de dichos contenidos, **para favorecer** la modificación de los mismos, promover **nuevos aprendizajes y la reestructuración de esquemas conceptuales**.
4. **Dentro de los enfoques educativos C-T-S**, muy promovidos actualmente tanto en reformas educativas como en organismos internacionales como la UNESCO, esta investigación permite considerar **la MRPI** como una metodología que no sólo se adapta sino que **permite el desarrollo de este enfoque**. Hay que tener presente que la resolución de problemas abiertos genera en los alumnos un cambio conceptual, de procedimientos y actitudes, que va más allá de la disciplina en la que se aplica y trasciende a la visión que sobre la Ciencia tienen los estudiantes.
5. **La heterogeneidad de individuos**, que conforman la ecología de las aulas, **no imposibilita la aplicación de la MRPI**, como puede desprenderse de la investigación aquí llevada a cabo y de otras semejantes. Partiendo de la base de que los estudiantes aprenden de forma diferenciada, tal y como se ha comprobado con la relación entre el estilo cognitivo DIC y la resolución de problemas abiertos, los profesores deberíamos tenerlo en cuenta en nuestra práctica docente. **Se debe facilitar el aprendizaje de los estudiantes dependientes de campo**, diseñando

materiales adecuados para la enseñanza de destrezas concretas de resolución de problemas abiertos como una investigación.

Para finalizar, no queremos perder la oportunidad de sugerir que **el trabajo con la MRPI**, aunque puede suponer mayor reticencia en los profesores de Biología que en los de Física y Química por la tradición escolar propia de la disciplina, **debería estar presente en los cursos de formación, tanto inicial como permanente, del profesorado de Educación Secundaria**. La utilización de esta propuesta metodológica durante los procesos de enseñanza-aprendizaje, no sólo se ha manifestado, como en parte se recoge en esta memoria, como **promotora de aprendizajes escolares**, sino que la consideramos **fundamental para que los profesores** desarrollen actividades más creativas y motivadoras que **potencien su desarrollo profesional y la mejora en la calidad de la enseñanza**. Respecto al desarrollo profesional del docente de Enseñanza Secundaria, y de acuerdo con investigaciones recientes desarrolladas en la Facultad de Educación de la U.C.M. (Martínez Aznar y otros, 2001, 2002), consideramos que el diseño de materiales para el uso escolar, como la unidad didáctica realizada aquí, y el trabajar en la línea de investigación-acción, que conlleva el trabajo conjunto con otros colegas, son sin duda aspectos a tener en cuenta en futuros planes de formación permanente para dicho profesorado.

BIBLIOGRAFÍA

- ACEVEDO, J. A. (1989). Comprensión newtoniana de la caída de cuerpos. Un estudio de su evolución en el Bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (3), pp. 241-246.
- ACEVEDO, J. A. (1994). Los futuros profesores de Enseñanza Secundaria ante la sociología y la epistemología de las ciencias. Un enfoque C-T-S. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 19, pp. 111-125.
- AGUILAR, T. (1999). *Alfabetización científica y educación para la ciudadanía*. Narcea, Madrid.
- AGUILAR, T. (2002). Aprendizaje de las ciencias y ejercicio de la ciudadanía. En: P. Membiela (ed.) *Enseñanza de las ciencias desde la perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad: formación científica para la ciudadanía*. Narcea, Madrid, pp. 77-89.
- AIKENHEAD, G.S. (1987). High-school graduates' beliefs about Science-Technology-Society, III. Characteristics and limitations of scientific knowledge. *Science Education*, 71(4), pp. 459-487.
- AIKENHEAD, G.S.; FLEMING, R.W. y RYAN, A.G. (1987). High-school graduates' beliefs about Science-Technology-Society, I. Methods and issues in monitoring students views. *Science Education*, 71(2), pp. 145-161.
- AIKENHEAD, G.S. y RYAN, A.G. (1992). The development of a new instrument: "Views on Science-Technology-Society" (VOSTS). *Science Education*, 76(5), pp. 477-491.
- ALBADALEJO, C. y LUCAS, A. (1988). Pupils' meanings for 'mutation'. *Journal of Biological Education*, 22 (3), pp. 215-219.
- ALBERO, A. (1999). *La alfabetización científica en la Enseñanza Secundaria. Diseño de una unidad didáctica basada en fuentes informales de aprendizaje*. Tesis de Maestría. IEPS-Universidad Carlos III, Madrid.
- ALIBERAS, J.; GUTIERREZ, R. e IZQUIERDO, M. (1989). La didáctica de las ciencias: una empresa racional. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (3), pp. 277-284.
- A.P.U. (1984). *Science Report for Teachers*, 2, A.S.E., Herts, U.K.
- AUDIGER, F. (1999). *L'éducation á la citoyenneté*. París, INRP.
- AYUSO, E.; BANET, E. y ABELLÁN, T. (1996). Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y el bachillerato II. ¿Resolución de problemas o realización de ejercicios?. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (2), pp. 127-142.
- AYUSO, E y BANET, E. (2002). Alternativas a la enseñanza de la genética en educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (1), pp. 133-157.
- BANET, E. (2001). *Los procesos de nutrición humana*. Síntesis Educación, Madrid.

- BANET, E. y AYUSO, E. (1995). Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y el bachillerato I. Contenidos de enseñanza y conocimientos de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (2), pp. 137-153.
- BANET, E. y AYUSO, E. (1998). La herencia biológica en la educación secundaria: reflexiones sobre los programas y las estrategias de enseñanza. *Alambique*, 16, pp. 21-31.
- BANET, E. y AYUSO, E. (2000). Teaching genetics at Secondary schools: a strategy for teaching about the location of inheritance information. *Science Education*, 84 (3), pp. 313-351.
- BERMAN, S. (1990). Educating for Social Responsibility. *Educational Leadership*, Noviembre, pp. 75-80.
- BERNAL, J.D. (1967). *Historia social de la ciencia. Volumen I y II*. Ediciones Península, Serie Universitaria, Barcelona.
- BLACK, P. y HARRISON, G. (1985). *In place of confusion. Technology and Science in the School Curriculum*. Nuffield-Chelsea Curriculum Trust y National Centre for School Technology, Trent Polytechnic, Londres.
- BLISS, J., MONK, M. y OGBORN, J. (1983). *Qualitative data analysis for educational research. A guide to use of systemic networks*. Croom Helm, Londres.
- BORSESE, A. (1999). Hacer divulgación científica: una tarea muy delicada. *Alambique*, 21, pp. 41-48.
- BORREGUERO, P. y RIVAS, F. (1995). Una aproximación empírica a través de las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS) en estudiantes de secundaria y universitarios valencianos. *Enseñanza de las Ciencias*. 13 (3), pp. 363-370.
- BOTTOMS, G. Y KORCHECK, S.A. (1988). *Lectura de evaluación, matemáticas y realización de ciencias de completadores vocacionales secundarios. Evaluación de los progresos en educación*. Editorial Eric.
- BRICKHOUSE, N.W. (1989). The teaching of the philosophy of science in secondary classrooms: case studies of teachers' personal theories. *International Journal of Science Education*, 11(4), pp.437-449.
- BROWN, C.R. (1990). Some misconceptions in meiosis shown by students responding to an advanced level practical examination question in biology. *Journal of Biological Education*, 23, pp. 182-186.
- BROWNING, M. y LEHMAN, J. (1988). Identification of student misconceptions in genetics problem solving via computer program. *Journal of Research in Science Teaching*, 25 (9), pp. 747-761.
- BRUMBY, M. y GARRAD, J. (1985). Students perceptions of the concept of health. *European Journal of Science Education*, 7 (3), pp. 307-324.

- BUGALLO, A. (1995). La didáctica de la genética: revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(3), pp. 379-385.
- BUNGE, M. (1979). *La investigación científica*. Ariel, Barcelona.
- BUNGE, M. (1987). *La Ciencia, su método y su filosofía*. Siglo XX, Buenos Aires.
- BURBULES, N. y LINN, M. (1991). Science education and philosophy of science: congruence or contradiction? *International Journal of Science Education*, 13 (3), pp. 227-241.
- BYBEE, R.W.; HARMS, N.; WARDS, B. y YAGER, R. (1980). Science, society and science education. *Science Education*, 64 (3), pp. 377-395.
- CAAMAÑO, A. (1988). Tendencias actuales en el currículo de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), pp. 265-277.
- CAAMAÑO, A. (1992). Los trabajos prácticos en ciencias experimentales: una reflexión sobre sus objetivos y una propuesta para su diversificación. *Aula de Innovación Educativa*, 9, pp. 61-68.
- CAAMAÑO, A. (1994). Estructura y evolución de los proyectos de ciencias experimentales. *Alambique*, 1, pp. 8-20.
- CAAMAÑO, A. (ed.) (1995). La educación ciencia-tecnología-sociedad. (Monográfico) *Alambique*, 3.
- CAAMAÑO, A. (2002). Presencia de Ciencia, Tecnología y Sociedad en el currículo escolar español. En P. Membiela (ed.) *Enseñanza de las ciencias desde la perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad: formación científica para la ciudadanía*. Narcea, Madrid, pp. 121-133.
- CAAMAÑO, A.; CORREIG, T.; CRAU, R.; GUASCH, E.; LOZANO, M.T.; MAYÓS, C.; PAREJO, C. y VARELA, X. (1994). Proyecto Gaia. Una propuesta para la enseñanza de las Ciencias 12-16. *Alambique*, 1, pp. 41-49.
- CABALLER, M.J. y JIMÉNEZ, I. (1992). Las ideas de los alumnos y alumnas acerca de la estructura celular de los seres vivos. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), pp. 172-180.
- CAILLOT, M. y DUMAS-CARRÉ, A. (1987). PROPHY: Un enseignement d'une méthodologie de résolution de problèmes de Physique. En: *Résolution de problèmes en mathématiques et en physique, Rapports de recherches*, 12, pp. 199-244. INPR, Paris.
- CAÑAS, A.; GUTIÉRREZ, S. y HERRERO, F. (1991). Una herramienta para la evaluación en el área de las ciencias de la naturaleza. *Educación Abierta*, nº 74. Zaragoza.

- CAREY, S.; EVANS, R; HONDA, M.; JAY, E. y UNGAR, C. (1989). An experiment is when you try it and see if it works': a study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, 11, pp. 514-529.
- CARMICHAEL, P.; DRIVER, R.; HOLDING, B.; PHILLIPS, I.; TWIGGER, D. y WATTS, M. (1990). *Research on students' conceptions in science: a bibliography*. University of Leeds.
- CARRASCOSA, J. y GIL, D. (1985). La metodología de la superficialidad y el aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), pp. 113-120.
- CARRETERO, M. (1982). El desarrollo del estilo cognitivo dependencia-independencia de campo. *Infancia y Aprendizaje*, 18, pp. 65-82.
- CAVALLO, A.M.L. (1996). Meaningful learning, reasoning ability and students' understanding and problem solving of topics in genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, pp. 625-656.
- CAVALLO, A.M.L. y SCHAFER, L.E. (1994). Relationships between students' meaningful learning orientation and their understanding of genetics topics. *Journal of Research of Science Teaching*, 31 (4), pp. 393-418.
- C.D.L. (1990). *Diseño y desarrollo curricular*. Ilustre Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias de Madrid.
- CHALMERS, A. (1991). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* Siglo XXI, Madrid.
- CHALMERS, A. (1992). *La ciencia y cómo se elabora*. Siglo XXI, Madrid.
- CHEVALLARD, Y. (1985). *La transposición didactique*. La Pensée sauvage, Grenoble.
- CHI, M.; FELTOVICH, P.J. y GLASER, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, pp. 121-152.
- CHI, M. y GLASER, R. (1986). Capacidad de resolución de problemas. En: J. Sternberg, *Las capacidades humanas: un enfoque desde el procesamiento de la información*. Labor, Barcelona, pp. 293-324.
- CHO, H.,M.; KAHLE, J.B. y NORDLAND, F.H. (1985). An investigation of high school biology textbooks as sources of misconceptions and difficulties in genetics and some suggestions for teaching genetics. *Science Education*, 69 (5), pp. 707-719.
- COLL, C. (1993). Psicología y didácticas: una relación a debate. *Infancia y Aprendizaje*. 62-63, pp. 59-75.
- COLLINS, A. y STEWART, J.H. (1989). The knowledge structure of mendelian genetics. *The American Biology Teacher*, 51, pp. 143-149.

- COOK, T.D. y REICHARDT, C.S. (1986). *Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación evaluativa*. Morata, Madrid.
- CORCOS, A. y MONAGHAN, F. (1985). Some myths about Mendel's experiments. *The American Biology Teacher*, 47 (4), pp. 233-236.
- CORRAL, A. (1982). La influencia del estilo cognitivo "Dependencia-Independencia de Campo" en la resolución de los problemas de Física. *Infancia y Aprendizaje*, 18, pp. 107-123.
- COSGROVE, M. y OSBORNE, R. (1985). Lessons frameworks for changing children's ideas. En: R. Osborne y P. Freyberg (Eds.), *Learning in Science*. Heinemann, Londres, pp. 101-111.
- CRONIN-JONES, L. L. (1991). Science teaching beliefs and their influence on curriculum implimentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 38 (3), pp. 235-250.
- DE BOER, G.E. (2000). Scientific literacy: another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 34 (10), pp. 582-601.
- DEADMAN, J.A. y KELLY, P.J. (1978). What do secondary scholboys understand about evolution and heredity before they are taught the topics? *Journal of Biological Education*, 12 (1), pp. 7-15.
- DeMANUEL, J. y GRAU, R. (1996). Concepciones y dificultades comunes en la construcción del pensamieto biológico. *Alambique*, nº 7, pp. 53-63.
- DRIVER, R. (1986). Children's learning in science. *Educational Analysis*, 4 (2), pp. 69-79.
- DRIVER, R. y ERICKSON, G. (1983). Theories-in action: some theoretical and empirical issues in the study of students conceptual frameworks. *Studies in Science Education*, 10, pp. 37-60.
- DRIVER, R. y OLDHAM, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, pp. 105-122.
- DRIVER, R.; SQUIRES, A.; RUSHWORTH, P. y WOOD-ROBINSON V. (1994). *Making sense of secondary science: research into children's ideas*. University of Leeds.
- DURANT, J., EVANS, G. y THOMAS, G. (1989). The public understanding of science". *Nature*, 340, pp.11-14.
- DUSCHL, R. (1994). Research on the history and philosophy of science. En: D. Gabel (ed.), *Handbook of research on Science Teaching and Learning*. MacMillan, New York, pp. 443-465.

- DUSCHL, R. y GITOMER, D. (1991). Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (9), pp. 839-858.
- DUVEEN, J., SCOTT, L. y SOLOMON, J. (1993). Pupils' understanding of science: description of experiments or 'A passion to explain'?. *School Science Review*. 75 (271), pp. 19-27.
- ENGEL-CLOUGH, E. y WOODS-ROBINSON, C. (1985). Children's understanding of inheritance, *Journal of Biological Education*, 19 (4), pp. 304-310.
- ENGEL-CLOUGH, E. y DRIVER, R. (1986). A study of consistency in the use of students' conceptual framework across different task contexts. *Science Education*, 70 (4), pp. 473-496.
- ERIKSON, G. y ERIKSON, L. (1984). Females and science achievement: evidence, explanations and implications. *Science Education*, 68, pp. 63-89.
- ESCRIBANO, A. y PERALTA, M.D. (1993). *Organización del ambiente de aprendizaje*. Documentos IEPS, Monografías nº 17.
- ESPINOSA, J. y ROMÁN, T. (1991). Actitudes hacia la ciencia y asignaturas pendientes: dos factores que afectan al rendimiento en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 9, pp. 151-154.
- ETZIONI, A. y NUNN, C. (1974). The public appreciation of science in contemporary America. *Daedalus*, 103 (3), pp.191-205.
- FENSHAM, P.J. (1985). Science for All: a reflective essay. *Journal of Curriculum Studies*, vol 17 (4), pp. 415-435.
- FERNÁNDEZ DÍAZ, M.J. , GARCÍA, J.M., ASENSIO, I.I. y FUENTES, A. (1990). *Resolución de problemas de estadística aplicada a las Ciencias Sociales (Guía práctica para profesores y alumnos)*. Síntesis, Madrid.
- FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, M. (2000). Fundamentos históricos. En: F.J.Perales y P. Cañal (ed.) *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, Marfil, Madrid. pp. 65-83.
- FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, J.; ELORTEGUI, N.; RODRÍGUEZ, J.; y MORENO, T. (1999). *¿Cómo hacer unidades didácticas innovadoras?* Diada.
- FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, J.; ELORTEGUI, N.; RODRÍGUEZ, J.; y MORENO, T. (2001). *Modelos didácticos y enseñanza de las ciencias*. Centro de la Cultura Popular Canaria.
- FINLEY, F.N.; STEWART, J. y YARROCH, W.L. (1982). Teacher's perceptions of important and difficult science content. *Science Education*, 66 (4), pp. 531-538.
- FLAVELL (1976). *Metacognitive aspect of problem solving in the nature of intelligence*. En. L.B. ReSnick, (ed.), Hillsdale, New Jersey, pp. 231-235.

- FLEMING, R.W. (1986). Adolescent reasoning in socio-scientific issues. Pat. 2. *Journal of Research in Science Teaching*, 23, pp. 689-698.
- FLEMING, R.W. (1987). High-school graduates' beliefs about Science-Technology-Society, II. The interaction among science, technology and society. *Science Education*, 71(2), pp. 163-186.
- FORD, W.D. (1991). *Education 2005: The role of research and development in an overwhelming campaign for education in America*. Whashington, D.C., U.S. Government Printing Office.
- FOUREZ, G. (1997). *Alfabetización científica y tecnológica*. Calihue, Buenos Aires.
- FOUREZ, G. (1998). *La construcción del conocimiento científico*. Narcea, Madrid.
- FOX, D. (1987). *El proceso de investigación en educación*. Universidad de Pamplona, Navarra.
- FRASER, B.J. y FISHER, D.L. (1983). Development and validation of short forms of some instruments measuring student perceptions of actual and preferred classroom learning environment. *Science Education*, 67 (1): 115-131.
- FRAZER, M.J. (1982). Solving chemical problems. *Chemical Society Review*, 11 (2), pp. 171-190.
- FURIÓ, C. y GIL, D. (1978). *El programa-guía: una propuesta para la renovación de la didáctica de la Física y Química en el Bachillerato*. ICE, Universidad de Valencia.
- FURIÓ, C.; ITURBE, J. y REYES, J.V. (1994). Contribución de la resolución de problemas como investigación al paradigma constructivista de aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 24, pp. 89-99.
- FURIÓ, C; VILCHES, A.; GUIASOLA, J. y ROMO, V. (2001). Finalidades de la enseñanza de las ciencias en la secundaria obligatoria. ¿alfabetización científica o preparación propedéutica? *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (3), pp. 365-376.
- GABEL, D. (ed.) (1994). *Handbook of Reseach on Science Teaching an Learning. Parte III. Problem Solving*. MacMillan Publishing Company, New York.
- GAGLIARDI, R. (1988). Cómo utilizar la historia de la ciencia en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), pp. 291-296.
- GARCÍA CRUZ, C.M. (1990). Algunos errores conceptuales sobre genética derivados de los libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (2), pp. 197-198.
- GARCÍA, J.J. (2000). La solución de situaciones problemáticas: una estrategia didáctica para la enseñanza de la Química. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (1), pp. 113-129.

- GARCÍA RAMOS, J.M. (1989). *Los estilos cognitivos y su medida: estudios sobre la dimensión Dependencia-Independencia de campo*. Centro de publicaciones del MEC, Madrid.
- GARDNER, P.C. y TAMIR, P. (1989). Interest in biology I: A multidimensional construct. *Journal of Research in Science Teaching*, 25 (5), pp. 409-423.
- GARRET, R.M. (1986). Problem-solving and creativity in Science Education. *Studies in Science Education*, 13, pp. 70-95.
- GARRET, R.M. (1987). Issues in science education: problem-solving, creativity and originality. *International Journal of Science Education*, 9 (2), pp. 125-137.
- GARRET, R.M. (1988). Resolución de problemas y creatividad: implicaciones para el curriculum de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), pp. 224-230.
- GARRET, R. M. (1989). Problem-solving and Cognitive Style. *Research in Science Technological Education*, 7 (1), pp. 27-44.
- GARRET, R.M.; SATTERLY, D.; GIL PEREZ, D. y MARTINEZ-TORREGROSA, J. (1990). Turning exercises into problems: an experimental study with teachers in training. *International Journal of Science Education*, 12 (1), pp. 1-12.
- GAYFORD, C.G. (1989). Biology and human biology courses: pupils' experiences and attitudes to different types of teaching and learning activities. *International Journal of Science Education*, 10 (1), pp. 71-80.
- GEELAN, D.R. (1997). Epistemological anarchy and the many forms of constructivism. *Science and Education*, 6 (1-2), pp. 15-28.
- GERGEN, K.J. (1995). From construction in context to reconstruction in education. En: L.P. Steffe y J. Gale (eds.), *Constructivism in Education*. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, N.J.
- GIL, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (1), pp. 26-34.
- GIL, D. (1987). Los programas-guía de actividades: una concreción del modelo constructivista del aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la escuela*, 3, pp. 3-12.
- GIL, D. (1991). ¿Qué han de saber y saber hacer los profesores de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), pp. 69-77.
- GIL, D. (1993a). Contribución de la historia y filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), pp. 197-212.

- GIL, D. (1993b). Psicología Educativa y Didáctica de las ciencias: los procesos de enseñanza/aprendizaje de las ciencias como lugar de encuentro. *Infancia y aprendizaje*, 62-63, pp. 171-185.
- GIL, D. (1994a). Relaciones entre conocimiento escolar y conocimiento científico. *Investigación en la escuela*, 23, pp. 17-32.
- GIL, D. (1994b). Diez años de investigación en didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), pp. 154-164.
- GIL, D. y CARRASCOSA, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7 (3), pp. 231-236.
- GIL, D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1983). A model for problem solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5 (4), pp. 447-455.
- GIL, D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1984). Problem-solving in physics: an critical analysis. *Research on Physics Education*. CNRS. París.
- GIL, D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1986). La resolución de problemas como instrumento de cambio metodológico. *Educación Abierta*, nº 66, pp. 31-59.
- GIL, D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1987). *La resolución de problemas de Física: una didáctica alternativa*. M.E.C. Vicens Vives, Madrid.
- GIL, D.; DUMAS-CARRÉ ,A.; CAILLOT, M.; MARTINEZ-TORREGROSA, J. y RAMIREZ CASTRO, L. (1988a). La resolución de problemas de lápiz y papel como actividad de investigación. *Investigación en la Escuela* nº 6 pp. 3-19.
- GIL, D.; MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. y SENENT PÉREZ, F. (1988b). El fracaso en la resolución de problemas de física: una investigación orientada por nuevos supuestos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), pp. 131-146.
- GIL, D.; FURIÓ, C. y GAVIDIA, V. (1988). El profesorado y la reforma educativa en España. *Investigación en la Escuela*, 36, pp. 49-64.
- GIL, D.; CARRASCOSA, J.; FURIÓ, C. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. ICE, Universidad Autónoma de Barcelona.
- GIL, D.; CARRASCOSA, J. y MARTÍNEZ TERRADES, F. (2000). Una disciplina emergente y un campo específico de investigación. En: F.J.Perales y P. Cañal (eds.) *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, Marfil, Madrid, pp. 13-34.
- GILBERT, J.L. (1980). How do I get the answer? Problem solving in Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 57 (1), pp. 79-81.

- GILBERT, J.L.; OSBORNE, R. y FENSHAM, P. (1982). Children's science and its consequences for teaching. *Science Education*, 66 (4), pp. 623-633.
- GIORDAN, A. (1982). *Liberación. Prioridad de la actitud científica. La enseñanza de las ciencias*. Siglo XXI, Madrid.
- GIORDAN, A. (1985). *La enseñanza de las ciencias*. Siglo XXI. Madrid.
- GIORDAN, A. (1987). Los conceptos de biología adquiridos en el proceso de aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (2), pp. 105-110.
- GONZÁLEZ LÓPEZ-VALCÁRCEL, B. (1991). *Análisis multivariante y aplicación al ámbito sanitario*. SG Editores, Madrid.
- GONZÁLEZ, M.P.; CABALLERO, M.; OLIVARES, E.; SANTIESTEBAN, A. y SERRANO, M.P. (1998). Una propuesta curricular para superar los obstáculos que presenta la comprensión de la genética mendeliana. En: *Investigación en didáctica de las Ciencias Experimentales*. II Simposium de la Docencia de las Ciencia Experimentales en la Enseñanza Secundaria. COB, Madrid.
- GOOD, R. (1993). The many forms of constructivism. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (9), pp. 1015.
- GRAU, R. (1993). Revisión de concepciones en el área de la evolución. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (1), pp. 87-89.
- GRUPO SALTERS (1999). Proyecto Química Salters. *Cuadernos de Pedagogía*, 281, p. 68.
- GUTIÉRREZ, R.; MARCO, B.; OLIVARES, E. y SERRANO, T. (1990). *La enseñanza de las ciencias en la educación intermedia*. Rialp, Madrid.
- HACKLING, M. y TREAGUST, D. (1982). What low secondary students should understand about the mechanisms of inheritance. *Research in Science Education*, 12, pp. 78-88.
- HACKLING, M. y TREAGUST, D. (1984). Research data necessary for meaningful review of grade ten high school genetics curricula. *Journal or Research in Science Teaching*, 21 (2), pp. 197-209.
- HADDOW, P.K.; EUNPU, D.L.; SINGER, N.; BRANT, D.L. Y LEDWITH, M.B. (1988). Introducing high school students to human genetics. *The American Biology Teacher*, 50 (8), pp. 496-500.
- HAFNER, R.S. (1992). *Constructing explanatory models for anomalous genetic phenomena: problem solving in the "Context of Discovery"*, NARST.
- HARMS, N. y KAHL, S. (1981). Project Synthesis: purpose, organization and procedures. En: N. Harms y R. Yager (eds.) *What research says to the science teacher?*. Vol 3. Washington D.C. NSTA.

- HASHWEH, M.Z. (1986). Toward an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8 (3), pp. 229-249.
- HAUSLEIN, P.L. y otros (1992). Biology content cognitive structure: from sciences student to science teacher. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (9), pp. 939-964.
- HEWSON, P. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, 34, pp. 383-396.
- HEWSON, P. (1992). "El cambio conceptual en la enseñanza de las ciencias y la formación de profesores". Ponencia presentada en el encuentro sobre "Investigación y Desarrollo del currículo en la enseñanza de las ciencias", CIDE, MEC, Madrid, Junio.
- HEWSON, P. y THORLEY, N.R. (1989). The conditions of conceptual change. *International Journal of Science Education*, 11, pp. 541-553.
- HEWSON, P. y HEWSON, M. (1992). The status of student conceptions. En Duit, R.; Golberg, F y Niedderer, H. (eds), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies*. Institute of Science Education, Kiel.
- HIERREZUELO, J. y YUS, R. (1994). Proyecto Axarquía. *Alambique*, 1, pp. 51-62.
- HLEBOWITSH, P.S. y HUDSON, S. (1991). Science education and the reawakening of the general education ideal. *Science Education*, 75 (5), pp. 563-576.
- HODSON, D. (1988). Towards a philosophical more valid science curriculum. *Science Education*, 72 (1), pp. 19-40.
- HODSON, D. (1993). Philosophy stance of secondary school science teachers, curriculum experiences, and children's understanding of science: some preliminary findings. *Interchange*, 24 (1-2), pp. 41-52.
- HOFSTEIN, A. y LAZAROWITZ, R. (1986). A comparison of the actual and preferred classroom environment in Biology and Chemistry as perceived by high school students. *Journal of Research in Science Teaching*, 23 (3), pp. 189-200.
- HURD, P. (1958). Science literacy: its meaning for American schools. *Educational Leadership*, 16, pp. 13-16.
- HURD, P.D. (1993). New minds for a new age: prologue to modernizing the science curriculum. *Science Education*, 78 (1), pp. 103-116.
- HURD, P. (1997). *Inventing Science Education for the new millennium*. Teachers College Press, Columbia University, Nueva York y Londres.
- IBÁÑEZ, M^aT. (1994). *Incidencia de los enfoques Ciencia-Tecnología-Sociedad (C-T-S) en la enseñanza de las ciencias*. Tesis de Maestría. IEPS-Universidad Carlos III, Madrid.

- IBÁÑEZ, M^aT. (1997). ¿Podremos tocar nuestros genes? Introducción de temas frontera de la Biología en la E.S.O. En: *Biotecnología y Enseñanza*, Publicaciones del Colegio Oficial de Biólogos, Madrid, pp. 65-90.
- IBÁÑEZ, M^aT. (1999). Tratamiento en el aula de temas biológicos de gran incidencia social. *Bio*, nº 17, pp. 12-14.
- IZQUIERDO, M. (1994). ¿Cómo contribuye la historia de las ciencias en las actitudes del alumnado hacia el aprendizaje de las ciencias? *Aula de Innovación Educativa*, 27, pp. 37-42.
- IZQUIERDO, M.; SOLSONA, N. y CABELLO, M. (1994). Proyecto Ciències 12-16. *Alambique*, 1, pp. 63-74.
- JAMES, R.K. y SMITH, S. (1985). Alienation of students from science in grades 4-12. *Science Education*, 69, pp. 39-45.
- JIMÉNEZ, M.P. (1994). Teaching evolution and natural selection: a look at textbooks and teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 31 (5), pp. 519-535.
- JIMÉNEZ, M.P. y FERNÁNDEZ, J. (1987). El “desconocido” artículo de Mendel y su empleo en el aula. *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (3), pp. 239-246.
- JOHNSTONE, A.H. y MAHMOUD, N.A. (1980). Isolating topics of high perceived difficulty in school biology. *Journal of Biological Education*, 14 (2), pp. 163-166.
- JONES, (1989). *The historiography of science. Retrospect and future challenge*. En: Shortland, M. y Warwick, A.
- JORBA, J. y SANMARTÍ, N. (1994). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de evaluación continua. Propuesta didáctica para las áreas de Ciencias de la Naturaleza y Matemáticas*, MEC, Madrid.
- KARGBO, D., HOOBS, E. y ERICKSON, G. (1980). Children's beliefs about inherited characteristics. *Journal of Biological Education*, 14 (2), pp. 137-146.
- KEEVES, J. (1998). Methods and processes in research in science education. En: Fraser y Tobin (eds), *International Handbook of Science Education*, Kluwer Academic Publishers, London.
- KELLY, G.A. (1955). *The psychology of personal constructs*. Norton, New York.
- KELLY, G.A. (1986). The development of girls' and boys' attitudes to science: a longitudinal study. *European Journal of Science Education*, 8 (4), pp. 399-412.
- KEMPA, R.F. (1986). Resolución de problemas de Química y estructura cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (2), pp. 99-110.
- KINFIELD, A. (1991). Confusing chromosome number and structure: a common student error. *Journal of Biological Education*, 25 (3), pp. 193-200.

- KINNEAR, J.F. (1983). Identification of misconception in genetics and the use of computer simulations in their correction. En: H. Helm y J. Novak (eds.), *Proceedings of the international seminar on Misconceptions in Science and Mathematics*, Cornell University Press, pp. 84-92.
- KINNEAR, J.F. (1991). Using a historical perspective to enrich the teaching of linkage in Genetics. *Science Education*, 75 (1), pp. 69-85.
- KRAGH, H. (1987). *An introduction to the historiography of science*. Cambridge University Press, Cambridge.
- KRAMERS-PAL, H. y PILOT, A. (1988). Solving quantitative problems: guidelines for teaching derived from research. *International Journal of Science Education*, 10 (5), pp. 511-521.
- KOULAUDIS, V. y OGBORN, J. (1989). Philosophy of science: an empirical study of teachers' views. *International Journal of Science Education*, 11 (2), pp. 173-184.
- LAKATOS, I. (1974). Falsación y la metodología de los programas de investigación. Científica. En: Lakatos y Musgrave (comps.), *La crítica y el desarrollo del conocimiento científico*, Grijalbo, Barcelona.
- LAKIN, S. y WELLINGTON, J. (1994). Who will teach the 'nature of science'?: teachers' views of science and their implications for science education. *International Journal of Science Education*, 16 (2), pp. 175-190.
- LARKIN, J.H. (1980). Teaching problem solving in physics: The psychological laboratory and the practical classroom. En D.T.Tuma y F. Reif (comp.): *Problem solving and education: issues in teaching and research*. Hillsdale, New York, pp. 111-125.
- LARKIN, J.H. y REIF, F. (1979). Understanding and teaching problem-solving in physics. *European Journal of Science Education*, 1 (2), pp. 191-203.
- LARKIN, J.H. y RAINARD, B. (1984). A research methodology for studying how people think. *Journal of Research in Science Teaching*, 21 (3), pp. 235-254.
- LAWRENZ, F. (1976). The prediction of student attitude toward science from student perception of the classroom learning environment. *Journal or Research of Science Teaching*, 13 (6), pp. 509-515.
- LAWSON, A. (1976). Formal operation an Field Independence in a heterogeneous sample. *Perceptual and Motor Skills*, 42, pp. 981-982.
- LAWSON, A. (1983). Predicting science achievement: the role of developmental level, disembedding ability, mental capacity, prior knowledge, and beliefs. *Jornal of Research of Science Teaching*, 20 (2), pp. 117-129.

- LAWSON, A. (1988). The acquisition of biological knowledge during childhood: cognitive conflict or tabula rasa?. *Journal of Research in Science Teaching*, 25 (3), pp. 185-199.
- LAWSON, A. y THOMPSON, L. (1988). Formal reasoning ability and misconceptions concerning genetics and natural selection. *Journal of Research in Science Teaching*, 25 (9), pp. 733-746.
- LAZAROWITZ, R. y LAZAROWITZ-HERTZ, R. (1979). Choices and preferences of science subjects by junior high school students in Israel. *Journal of Research in Science Teaching*, 16 (4), pp. 317-323.
- LAZAROWITZ, R.; HUG, J. y ALLMAN, V. (1985). Reasons why elementary and secondary students in Utah do and do not like science. *School Science and Mathematics*, 85 (8), pp. 663-672.
- LEDERMAN, N.G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, pp. 331-359.
- LEWIS, J.; LEACH, J. y WOOD-ROBINSON, C. (2000a). All in the genes? – young people's understanding of the nature of genes. *Journal of Biological Education*, 34 (2), pp. 74-79.
- LEWIS, J.; LEACH, J. y WOOD-ROBINSON, C. (2000b). What's in a cell? – young people's understanding of the genetic relationship between cells, within an individual. *Journal of Biological Education*, 34 (3), pp. 129-132.
- LINN, M.C. y LEVINE, D.I. (1978). Adolescent reasoning: influence of question format and type of variables on ability to control variables. *Science Education*, 62 (3), pp. 377-388.
- LLORENS, J.A. (1991). *Comenzando a aprender química. Ideas para el diseño curricular*. Visor, Madrid.
- LONGDEN, B. (1982). Genetics: are there inheritance learning difficulties? *Journal of Biological Education*, 16, pp. 137-146.
- LOCK, R. y MILES, C. (1993). Biotechnology and genetic engineering: students knowledge and attitudes. *Journal of Biological Education*, 27 (4), pp. 267-272.
- LÓPEZ RUPEREZ, F. (1986). *Estilo cognitivo y pensamiento formal. Análisis de la influencia de la dimensión dependencia-independencia de campo en el razonamiento formal a través del formato de la prueba*. Memoria final CIDE, Madrid.
- LÓPEZ RUPEREZ, F. (1991). *Organización del conocimiento y resolución de problemas en Física*. Centro de Publicaciones del MEC, Madrid.

- LUFFIEGO, M. (2001). Reconstruyendo el constructivismo: hacia un modelo evolucionista del aprendizaje de conceptos. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (1), pp. 377-392.
- MARCO, B. (1987). Las ciencias en el currículo escolar. En: Marco, B y otros, *La enseñanza de las ciencias experimentales*. Proyecto 12/16. Narcea, Madrid.
- MARCO, B. (1990). Tendencias en los nuevos currícula científicos. En: Gutiérrez y otros, *La enseñanza de las ciencias en la Educación Intermedia*. Rialp, Madrid.
- MARCO, B. (1997). La alfabetización científica en la frontera del año 2000. *Kikiriki*, 44-45, pp. 35-42.
- MARCO, B. (2000). La alfabetización científica. En F.J. Perales y P. Cañal eds., *Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Márfil, Alicante, pp. 141-164.
- MARCO, B. (2002). Alfabetización científica y enseñanza de las ciencias. Estado de la cuestión. En: P. Membiela (ed.) *Enseñanza de las Ciencias desde la perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad: formación para la ciudadanía*. Narcea. Madrid, pp. 33-46
- MARCO, B.; MARTÍN-MONTALVO, J. y PARAMIO, M.L. (1990). *La actualidad científica en el diseño curricular de las ciencias experimentales*. Apuntes IEPS, nº 52, Narcea, Madrid.
- MARCO, B.; IBÁÑEZ, M^aT. y ALBERO, A. (2000). *Diseño de actividades para la alfabetización científica. aplicaciones a la Educación Secundaria*. Apuntes IEPS, nº 66. Narcea, Madrid.
- MARTÍN-DÍAZ, M.J. y BACAS, P. (1996). El currículo actual de ciencias y la incorporación de nuevos temas. *Alambique*, 10, pp. 11-28.
- MARTÍNEZ, J. y BUIZA, C. (1994). Proyecto Ciencia 12-16. *Alambique*, 1, pp. 85-94
- MARTÍNEZ ARIAS, R. (1995). *Psicometría: Teoría de los test psicológicos y educativos*. Síntesis, Madrid.
- MARTÍNEZ AZNAR, M^a M. y VARELA, M^a P. (1996). De la resolución de problemas al cambio conceptual. *Investigación en la escuela*, 28:59-68.
- MARTÍNEZ AZNAR, M^a M. y OVEJERO P. (1997). Resolver el problema abierto: teñir lanas a partir de productos colorantes naturales. Una actividad investigativa para la enseñanza secundaria obligatoria. *Enseñanza de las Ciencias*, 15 (3): 401-422.
- MARTÍNEZ AZNAR, M^aM.; VARELA, M^aP.; IBÁÑEZ, M^aT. y BÁRCENA, A.I. (2001). *Estudio de la influencia en el aprendizaje de los alumnos de educación secundaria de una metodología de investigación para la resolución de problemas aplicados para la enseñanza de la Química y la Biología*. Memoria final CIDE.

- MARTÍNEZ AZNAR, M^aM.; BÁRCENA, A.I.; IBÁÑEZ, M^aT. y VARELA, M^aP.(2001). *Herencia, Biomasa y energía. Tres campos para investigar resolviendo problemas*. VI Congreso Internacional sobre investigaciones en la Didáctica de las Ciencias, pp. 133-134.
- MARTÍNEZ AZNAR, M^aM.; FERNÁNDEZ, M^aP; GUERRERO, A.; MARTÍN, R.; RODRIGO, M y VARELA, M^aP. (2001). ¿Qué pensamiento profesional y curricular tienen los futuros profesores de ciencias de secundaria? *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (1), pp. 67-87.
- MARTÍNEZ AZNAR, M^aM.; MARTÍN, R.; RODRIGO, M.; VARELA, M^aP.; FERNÁNDEZ, M^aP. y GUERRERO, A. (2002). Un estudio comparativo sobre el pensamiento profesional y la “acción docente” de los profesores de ciencias de educación secundaria. Parte II. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (2), pp. 243-260.
- MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1987). *La resolución de problemas como investigación: un instrumento de cambio metodológico*. Tesis Doctoral, Universidad de Valencia.
- MARTÍNEZ TORREGROSA, J.; CLIMENT, D. y VERDÚ, R. (1994). Investigando/comprendiendo la naturaleza 12/16. *Alambique*, 1, pp. 105-112.
- MARTINS, I. y OGBORN, J. (1997). Metaphorical reasoning about genetics. *International Journal of Science Education*, 19, pp. 47-63.
- MATTHEWS, R. (1991). Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11-12, pp. 141-145.
- MATTHEWS, R. (1993). Constructivism and science education: some epistemological problems. *Journal of Science Education and Technology*, 2 (1), pp. 359-370.
- MATTHEWS, R. (1994). *Science teaching: the role of history and philosophy of science*. Routledge, New York.
- MATTHEWS, R. (1997). Introductory comments on philosophy and constructivism in science education. *Science and Education*, 6 (1-2), pp. 5-14.
- MAYO, E.S. y BERTINO, A.J. (1991). DNA investigations: simulating modern lab techniques. *The Science Teachers*, Diciembre, pp. 40-47.
- McFADDEN, C. P. (1991). Towards an S-T-S school curriculum. *Science Education*, 75 (4), pp. 457-469.
- M.E.C. (1989). *Diseño curricular base de Educación Secundaria Obligatoria*. MEC Madrid. En: Diseño y Desarrollo Curricular. V Jornadas Pedagógicas. Adaptación Curricular. CDL, Septiembre, 1990.
- M.E.C. (1992). *Ciencias de la Naturaleza. Educación Obligatoria*. MEC, Madrid.

- MEDIR, M. (1995) El proyecto APQUA. *Alambique*, 3, pp.53-60.
- MELLADO, V. (1997). Preservice Teachers' classroom practice and their conceptions of the nature of science. *Science and Education*, 6 (3), pp. 1- 21.
- MEMBIELA, P. (1995). Ciencia-tecnología-sociedad en la enseñanza aprendizaje de las Ciencias Experimentales. *Alambique*, 1, pp. 7-11.
- MEMBIELA, P. (1997). Una revisión del movimiento educativo ciencia-tecnología-sociedad. *Enseñanza de las Ciencias*, 15 (1), pp. 51-57.
- MEMBIELA, P. (ed.) (2002). *Enseñanza de las Ciencias desde la perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad: formación para la ciudadanía*. Narcea, Madrid.
- MERTENS, T.R. (1990). Using human pedigrees to teach Mendelian genetics. *The American Biology Teacher*, 52 (5), pp. 288-290.
- MERTON, R. (1990). *La sociología de la ciencia*. Tomos I y II. Alianza Editorial. Madrid.
- METTES, C.; PILOT, A.; ROOSINK, J.H. y KRAMERS-PALS, H. (1980). Teaching y learning problem solving in science. Pat. I: A general strategy. *Journal of Chemical Education*, 57, pp. 882-885.
- MILLAR, R. (1989). Constructive criticisms. *International Journal of Science Education*, 11 (5), pp. 587-596.
- MILLAR, R. (1991). A means to an end: the role of processes in science education. En: Woolnough, B. (ed.), *Practical science. The role and reality of practical work in school science*, Open University Press.
- MINTZES, J.J. y ARNAUDIN, M.N. (1984). *Children's Biology: a review of research on conceptual development in the life sciences*. North Carolina, University. Wilmington.
- MITCHELL, A, y LAWSON, A.E. (1988). Predicting genetics achievement in nonmajors college biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 25 (1), pp.551-553.
- MOLL, M.B. y ALLEN, R.D. (1987). Student difficulties with Mendelian Genetics problems. *The American Biology Teacher*, 49 (4), pp. 229-233.
- MOREIRA, M.A. (2000). *Aprendizaje significativo: teoría y práctica*. Visor, Madrid.
- MORRIS, L.J. (1994). Bioethical dilemmas. Decision-making and the Human Genome project. *The Science Teacher*, 61 (2), pp. 39-41.
- NIAZ, M. (1989). The role of cognitive style and its influence on proportional reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 26 (3), pp. 221-235.

- NIAZ, M. y LAWSON, A. (1985). Balancing chemical equations: the role of developmental level and mental capacity. *Journal of Research in Science Teaching*, 22 (1), pp. 45-52.
- NICKERSON, R.S., PERKINS, D.N. y SMITH, E.E. (1990). *Enseñar a pensar. Aspectos de la actitud intelectual*. MEC, Paidós, Barcelona.
- NOVAK, J.D. (1982). *Teoría y práctica de la educación*. Alianza Editorial, Madrid.
- NUSSBAUM, J. (1989). Classroom conceptual change: Philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*, 11, pp. 530-540.
- NUSSBAUM, J. y NOVICK, S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accomodation: toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 11 (3), pp. 183-200.
- OBACH, D. (1995). El proyecto SATIS. *Alambique*, 3, pp. 39-44.
- OECD (2000). PISA (Programme for Intenational Student Assessment). www.pisa.oecd.org
- OLIVA, J. (1999a). Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (1), pp. 97-107.
- OLIVA, J. (1999b). Concepciones de los alumnos en Física y diferencias individuales. *Infancia y Aprendizaje*, 88, pp. 3-24.
- OÑORBE, A.M. (1990). Sólo ante el problema. *Cuadernos de Pedagogía*, 175, pp. 12-15.
- OÑORBE, A.M. (1993). *Análisis de las dificultades en la enseñanza-aprendizaje de la resolución de problemas de Física y Química*. Tesis Doctoral, Universidad de Alcalá de Henares.
- OÑORBE, A. y SÁNCHEZ JIMENEZ, J.M. (1996). Dificultades en la enseñanza aprendizaje de los problemas de física y química. I. Opiniones de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), pp. 165-170.
- OÑORBE, A. y SÁNCHEZ JIMENEZ, J.M. (1996). Dificultades en la enseñanza aprendizaje de los problemas de física y química II. Opiniones del profesor. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), pp. 251-260.
- ORDEN HOZ, A. y otros. (1997). *Los resultados escolares. Diagnóstico del sistema educativo*. INCE (Instituto Nacional de Calidad y Evaluación) MEC, Madrid.
- ORTEGA, P.; SAURA, J.P.; MÍNGUEZ, R.; GARCÍA DE LAS BAYONAS, A. y MARTÍNEZ, D. (1992). Diseño y aplicación de una escala de actitudes hacia el estudio de las ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (3), pp. 295-303.

- OSBORNE, R.J. (1996). Beyond constructivism. *Science Education*, 80 (1), pp. 53-82.
- OSBORNE, R.J.; BELL, B. y GILBERT, J.K. (1983). Science teaching and children's views of the world. *European Journal of Science Education*, 5 (1), pp. 1-14.
- OSBORNE, R.J., BLACK, P., SMITH, M. y MEADOWS, J. (1990). Light. *Primary Space Project, Science Processes and Concept Exploration. Research Report*, Liverpool University Press.
- OSBORNE, R.J. y COLLINS, S. (2001). Pupils' views of the role and value of the science curriculum: a focus-group study. *International Journal of Science Education*, 23 (5), pp. 441-467.
- OSBORNE, R.J. y WITTROCK, M. (1985). The generative learning model and its implications for science education. *Studies in Science Education*, 12, pp. 59-87.
- OTERO, L. (1994). Proyecto ACES. *Alambique*, 1, pp. 75-84.
- PALACIOS, C.; LÓPEZ RUPÉREZ, F.; GARROTE, R. y MONTES, P. (1989). Procesos de la ciencia y desarrollo cognitivo en Bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (2), pp. 132-140.
- PALACIOS, C. y LÓPEZ RUPÉREZ, F. (1992). Resolución de problemas de Química, mapas conceptuales y estilo cognitivo. *Revista de Educación*, 297, pp. 293-314.
- PALACIOS, C.; ANSOLEAGA, D. y AJO, A. (1993). *Diez años de investigación e innovación en enseñanza de las ciencias*. CIDE 1983-1993. MEC.
- PAREJO, C. (1995). El proyecto Ciencia a través de Europa. *Alambique*, 3, pp. 45-52.
- PASHLEY, M. (1994). A-level students: Their problems with gene and allele. *Journal of Biological Education*, 28, pp. 120-126.
- PEARSON, J.T. y HUGHES, W.J. (1988). Problems with the use of terminology in genetics education: 1. A literature review and classification scheme. *Journal of Biological Education*, 22 (3), pp. 178-182.
- PEDRINACI, E. (Ed.) (2001). Las ciencias en la ESO. (Monográfico) *Alambique*, 27.
- PENICK, J.E. y YAGER, R.E. (1986). Trends in science education; some observations of exemplary programme in the United States. *European Journal of Science Education*, 8 (1), pp. 1-8.
- PERALES, J. (1993). La resolución de problemas: una revisión estructurada. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), pp. 170-178.
- PERRET-CLERMONT, A.N. (1981). *La construcción de la inteligencia en la interacción social*. Visor, Madrid.

- PHILLIPS, D.C. (1995). The good, the bad and the ugly: the many faces of constructivism. *Educational Researcher*, 24 (7), pp. 5-12.
- PIAGET, J. (1975). *L'équilibration des structures cognitives. Problème central du développement*, PUF, París. (Traduccido al castellano: La equilibración de las estructuras cognitivas, 1978, Siglo XXI, Madrid.)
- PINES, A.L. y WEST, L.H. (1986). Conceptual understanding and science learning: an interpretation of research within a sources of knowledge framework. *Science Education*, 70 (5), pp. 583-604.
- POLYA, R. (1945). *How to solve it. A new aspect of mathematical method*. Princenton University Press. (Traducido al castellano: Cómo plantear y resolver problemas, Trillas, Méjico, 1972).
- POMEROY, D. (1993). Implications of teachers' beliefs about the nature of science: comparison of the beliefs of scientists, secondary science teachers, and elementary teachers. *Science Education*, 77 (3), pp. 261-278.
- POPPER, K.R. (1967). *La lógica de la investigación científica*. Tecnos, Madrid.
- POPPER, K.R. (1974). *Conocimiento objetivo*. Tecnos, Madrid.
- PORLÁN, R. (1993). *Constructivismo y escuela. Hacia un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en la investigación*. Diada, Sevilla.
- PORLÁN, R. (1998). Pasado, presente y futuro de la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (1), pp. 175-185.
- POSNER, G.J., STRIKE, K.A., HEWSON, P.W. y GERTZOG, W.A. (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66 (2), pp. 221-227. (Trad. Cast. Acomodación de un concepto científico: hacia una teoría del cambio conceptual. En: R. Porlán, J.E.García y P. Cañal, *Constructivismo y enseñanza de las ciencias*. Díada. Sevilla).
- POZO, J.I. (1987). *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento casual*. Visor, Madrid.
- POZO, J.I. (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Morata, Madrid.
- POZO, J.I. (1993). Psicología y didáctica de las ciencias de la naturaleza: concepciones alternativas? *Infancia y Aprendizaje*, 62-63, pp. 187-204.
- POZO, J.I. (1994). *La solución de problemas*. Aula XXI, Santillana, Madrid.
- POZO, J.I. (1999). Más allá del cambio conceptual: el aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (3), pp. 513-520.
- POZO, J.I. y RODRIGO, M.J. (2001). Del cambio de contenido al cambio representacional en el conocimiento conceptual. *Infancia y Aprendizaje*, 24 (4), pp. 407-423.

- POZO, J.I.; SANZ, A.; GÓMEZ, M.A. y LIMÓN, M. (1991). Las ideas de los alumnos sobre las ciencias: una interpretación desde la psicología cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), pp.83-94.
- PRATS, F.; de la MADRIS, I.; MARTÍN, J.; y OÑORBE, A. (1994). Proyecto Ceres. *Alambique*, 1, pp. 95-112.
- PRO BUENO, A. (1998). ¿Se pueden enseñar contenidos procedimentales en las clases de ciencias?. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (1), pp. 21-41.
- RAAT, J.H. y DeVRIES, M. (1987). Technology in education: research and development in the project: 'Physics and Technology'. *International Journal of Science Education*, 9 (2), pp. 159-168.
- RADFORD, A. y BIRD-STEWART, J.A. (1982). Teaching genetics in schools. *Journal of Biological Education*, 16 (3), pp. 177-180.
- RAMAGORO, G. y WOOD-ROBINSON, C. (1995). Batswana children's understanding of biological inheritance. *Journal of Biological Education*, 29 (1), pp. 60-70.
- RAMÍREZ, J.L. (1990). *La resolución de problemas de Física y de Química como investigación en la Enseñanza Media: un instrumento de cambio metodológico*. Tesis Dostoral, Universidad de Valencia.
- RAMSEY, J. (1993). The science education reform movement: implications for social responsibility. *Science Education*, 77 (2), pp. 235-258.
- REID, J. y HODSON, D. (1993). *Ciencia para todos en Secundaria*. Narcea, Madrid.
- REIF, F. y LARKIN, J.H. (1991). Cognition in Scientific an Everyday Domains: Comaparison and learning implications. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (9), pp. 733-760.
- REIGOSA, C.E. y JIMÉNEZ, M.P. (2000). La cultura científica en la resolución de problemas en el laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (2), pp. 275-284.
- REISS, M. J. (1993). Science. En: King, A.J. y Reiss, M.J., *The multicultural dimension of the National Curriculum*. Farmer. London.
- RENNIE, L.J. y JARVIS, T. (1995). Three approaches to measuring children's perceptions about technology. *International Journal of Science Education*, 17 (6), pp. 755-774.
- REYES, J.V. (1991). *La resolución de problemas de Química como investigación: una propuesta didáctica basada en el cambio metodológico*. Tesis Doctoral, Universidad del País Vasco.
- RODRIGO, M.J. y CORREA, N. (2001). Representación y procesos cognitivos: esquemas y modelos mentales. En C. Coll, J. Palacios y A. Marchesi (eds.)

- Desarrollo Psicológico y Educación 2. Psicología de la educación escolar*, pp. 117-135.
- ROEGIERS, X. (2000). *Compétences et intégrations des acquis dans l'enseignement*. Bruselas, De Boeck.
- ROSENTHAL, D.B. (1989). Tow approaches to Science-Technology-Society (S-T-S) education. *Science Education*, 73 (5), pp. 581-589.
- RUBBA, P.A. y HARKNESS, W.J. (1993). Examination of preservice and in-service secondary science teachers' beliefs about Science-Technology-Society interactions. *Science Education*, 77(4), pp. 407-431.
- RYAN, A.G. (1987). High-school graduates' beliefs about Science-Technology-Society, IV. The characteristics of scientists. *Science Education*, 71 (4), pp. 489-510.
- RYAN, A.G. y AIKENHEAD, G.S. (1992). Students' preconceptions about the epistemology of science education. *Science Education*, 76 (6), pp. 559-580.
- SAHUQUILLO, E.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P.; DOMINGO, F. y ÁLVAREZ, M. (1993). Un currículo de ciencias equilibrado desde la perspectiva de género. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (1), pp. 51-58.
- SÁNCHEZ, G. (1999). *Diseño, desarrollo y evaluación de un programa de formación sobre la planificación de unidades didácticas, para el profesorado de ciencias en ejercicio, de Educación Secundaria*. Tesis Doctoral, Universidad de Murcia.
- SÁNCHEZ, G. y VALCÁRCEL, M.V. (1993). Diseño de unidades didácticas en el área de las Ciencias Experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (1): 33-44.
- SÁNCHEZ RON, J.M. (2000). *El siglo de la ciencia*. Taurus, Madrid
- SANMARTÍ, N. y PUJOL, R.M. (1997) (coords.). *Guía Praxis para el profesorado. Ciencias de la Naturaleza: Contenidos, Actitudes y Recursos*. Praxis.
- SANTOS, M.E. (2002). Relaciones entre Ciencia, Tecnología y Sociedad. En: P. Membiela (ed.) *Enseñanza de las Ciencias desde la perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad: formación para la ciudadanía*. Narcea, Madrid, pp. 61-75.
- SCHIBECI, R.A. (1984). Attitudes to science: an update. *Studies in Science Education*, 12, pp. 25-57.
- SELVERATNAM, M. (1983). Students mistakes in problem solving. *Education in Chemistry*, 20 (4), pp. 125-132.
- SELVERATNAM, M. (1990). Problem-solving a model approach. *Education in Chemistry*, 27 (6), pp. 163-165.

- SERRANO, T (1986). *La imagen de los científicos en los alumnos al finalizar el ciclo medio*. Documentos IEPS. Monografías, 1. Madrid, IEPS.
- SERRANO, T (1987a). Representaciones de los alumnos en biología: estado de la cuestión y problemas para la investigación en el aula. *Enseñanza de las Ciencias*, 5, pp. 181-188.
- SERRANO, T (1987b). Actitudes y aprendizaje de las ciencias. En: *Elementos didácticos para el aprendizaje de las Ciencias*. ICE Universidad de Zaragoza, Educación Abierta, nº 17, pp. 46-73.
- SERRANO, T. (1988a). *Las ideas de los alumnos en el aprendizaje de las ciencias*. Apuntes IEPS, nº 47, Narcea, Madrid.
- SERRANO, T. (1988b). Condicionantes del aprendizaje de las ciencias: las ideas de los alumnos. En Marco y otros: *La enseñanza de las ciencias experimentales*, Narcea, pp. 106-128.
- SERRANO, T (1988c). Actitudes de los alumnos y aprendizaje de las ciencias. Un estudio longitudinal. *Investigación en la Escuela*, 5, pp. 29-38.
- SERRANO, T. (1989). Las actitudes en el aprendizaje de la Biología. En. T. Serrano y otros, *Aspectos didácticos de las Ciencias Naturales (Biología) 4*. ICE, Universidad de Zaragoza.
- SERRANO, T. (1992). *Desarrollo conceptual del sistema nervioso en niños de 5 a 14 años. Modelos mentales*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
- SERRANO, T. (1993). *El cambio conceptual y sus implicaciones*. Ponencia presentada en el I Master de Enseñanza Secundaria, IEPS, Carlos III.
- SHAYER, M. y ADEY, P. (1984). *La Ciencia de enseñar Ciencias. Desarrollo cognoscitivo y exigencias del currículo*. Narcea, Madrid.
- SHULMAN, L.S. (1987). Knowledge and teaching: foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57 (1), pp. 1-22.
- SIGÜENZA, A. (2000). Formación de modelos mentales en la resolución de problemas de Genética. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (3), pp. 439-450.
- SIGÜENZA, A. y SÁEZ, M.J. (1990). Análisis de la resolución de problemas como estrategia de enseñanza de la biología. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (3), pp. 223-230.
- SIMON, H.A. (1978). La teoría del procesamiento de la información sobre la solución de problemas. En: M. Carretero y A. García Madruga, *Lecturas de Psicología del pensamiento*, Alianza, Madrid, pp. 197-220.

- SIMPSON, R.D. y OLIVER, J.E. (1990). A summary of major influences on attitude toward and achievement in science among adolescent students. *Science Education*, 74 (1), pp. 14-20.
- SIMPSON, R.D. y otros (1994). Research on the affective dimension of science learning. En Gabel, D. (ed.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. MacMillan Publishing Company, New York.
- SLACK, S.J. y STEWART, J. (1990). High school students' problem-solving performance on realistic genetics problems. *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (1), pp. 55-67.
- SMITH, M.U. (1988a). Toward an unified theory of problem-solving: a view from biology. *Annual Meeting of American Educational Research Association*, New Orleans, USA.
- SMITH, M.U. (1988b). Successful and unsuccessful problem solving in classical genetic pedigrees. *Journal of Research in Science Teaching*, 25 (6), pp. 411-433.
- SMITH, M.U. (1991). *Toward and unified theory of problem solving: views from the content domains*. Erlbaum, Hillsdale.
- SMITH, M.U. y SUTHERN, O. (1992). Cognitive development, genetics problem solving, and genetics instruction: A critical review. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (7), pp.701-713.
- SNYDER, J. (2000). An investigation of the knowledge structures of experts intermediates and novices in physics. *International Journal of Science Education*, 22 (9), p.p. 979-992.
- SOLBES, J. y VILCHES, A. (1989). Interacciones Ciencia/Técnica/Sociedad: un instrumento de cambio actitudinal. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (1), pp. 14-20.
- SOLBES, J. y VILCHES, A. (1992). El modelo constructivista y las relaciones ciencia /tecnología/sociedad (C/T/S). *Enseñanza de las Ciencias*, 10(2): 181-186.
- SOLBES, J. y VILCHES, A. (1995). El profesorado y las actividades Ciencia, Tecnología y Sociedad. *Alambique*, 3, pp. 30-38.
- SOLBES, J. y VILCHES, A. (1997). STS interactions and the teaching of physics and chemistry. *Science Education*, 81 (4), pp. 377-386.
- SOLBES, J. y VILCHES, A. (2001). La introducción de las relaciones ciencia-tecnología-sociedad en la enseñanza de las ciencias y su evolución. *Educación Química*, 11 (4), 387.
- SOLBES, J.; VILCHES, A. y GIL, D. (2002). Papel de las interacciones Ciencia, Tecnología y Sociedad en el futuro de la enseñanza de las ciencias. En: P. Membiela (ed.) *Enseñanza de las Ciencias desde la perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad: formación para la ciudadanía*. Narcea, Madrid.

- SOLOMON, J. (1988). The dilemma of Science, Technology and Society education. En: P. Fensham (ed.) *Development and dilemmas in science education*. The Falmer Press, Londres, pp. 266-281.
- SOLOMON, J. (1993). *Teaching Science, Technology and Society*. Open University Press. Buckingham, Philadelphia.
- SOLOMON, J. (1994a). The rise and the fall of constructivism. *Studies in Science Education*, 23, pp. 1-19.
- SOLOMON, J. (1994b). Pupils' images of scientific epistemology. *International Journal of Science Education*, 16 (3), pp. 361-373.
- SOLOMON, J. (1999). Meta-scientific criticisms, curriculum innovations and the propagation of scientific culture. *Journal of Curriculum Studies*, 31 (1), pp. 8-9.
- SOLOMON, J.; DUVEEN, J. y SCOTT, L. (1994). Pupils' images of scientific epistemology. *International Journal of Science Education*, 16, pp. 361-373.
- SOLOMON, J., SCOTT, L. y DUVEEN, J. (1996). Large-scale exploration of pupils' understanding of the nature of science. *Science Education*, 80(5), pp. 493-508.
- SPEAR, M.G. (1984). Sex bias in science teacher' ratings of work and pupils characteristics. *European Journal of Science Education*, 6, pp. 369-377.
- SPIEGEL-ROSING, I. (1977). The study of science, technology and society (SSTS): recent trends and future challenges. En: I. Spiegel-Rosing y D. De Solla Price (eds). *Science, technology and society, a cross-disciplinary perspective*. Sage Publications.
- STEWART, J.H. (1982). Difficulties experienced by high school students when learning basic Mendelian genetics. *The American Biology Teacher*, 44 (2), pp. 80-84.
- STEWART, J.H. (1983). Student problem solving in high school genetics. *Science Education*, 67, pp. 523-540.
- STEWART, J.H. (1988). Potential learning outcomes from solving genetics problems: a typology of problems. *Science Education*, 72 (2), pp. 237-254.
- STEWART, J.H. y DALE, M. (1989). High schools students' understanding of chromosome-gene behavior during meiosis. *Science Education*, 72 (4), pp. 501-521.
- STEWART, J.H. y HAFNER R. (1991). Extending the conception of "problem" in problem-solving research. *Science Education*, 75, pp. 105-120.
- STRIKE, K.A. y POSNER, G. (1993). A revisionist theory of conceptual change. En: R. Duschl y R. Hamilton (eds.), *Philosophy of science, cognitive psychology and educational theory and practice*, State University Press of New York, Albany, N.Y.

- SUCHTING, W.A. (1992). Constructivism deconstructed. *Science and Education*, 1 (3), pp. 223-254.
- TACONIS, R.; FERGUSON-HESSLER, M. y BROEKKAMP, H. (2001). Teaching science problem solving: an overview of experimental work. *Journal of Research in Science Teaching*, 38 (4), pp. 442-468.
- THOMAS, J. (2000). Learning about genes and evolution through formal and informal education. *Studies in Science Education*, 35, pp. 59-92.
- THOMPSON, N. y STEWART, J. (1985). Secondary school genetics instruction: making problem solving explicit and meaningful. *Journal of Biological Education*, 19 (1), pp. 53-62.
- TOBIN, K. (1990). Social constructivist perspectives on the reform of science education. *Australian Science Teachers Journal*, 36 (4), pp. 29-35.
- TOLMAN, R. (1982). Difficulties in genetic problem solving. *The American Biology Teacher*, 44 (9), pp. 525-527.
- VARELA, M^ªP. (1994). *La resolución de problemas en la enseñanza de las ciencias. Aspectos didácticos y cognitivos*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense, Madrid (editada en C.D.).
- VARELA, M^ªP. y MARTÍNEZ AZNAR, M^ªM. (1997). Investigar y aprender resolviendo problemas abiertos de Física. *Revista Española de Física*, 11, pp. 32-37.
- VARELA, M^ªP. y MARTÍNEZ AZNAR, M^ªM. (1998). Una estrategia de cambio conceptual en la enseñanza de la Física. La resolución de problemas como actividad de investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 15, pp. 173-188.
- VÁZQUEZ, A. Y MANASSERO, M.A. (1997). Una evaluación de las actitudes relacionadas con la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 15 (2), pp. 199-213.
- VÁZQUEZ, A. y MANASSERO, M.A. (1998). Dibuja a un científico: imagen de los científicos en estudiantes de secundaria. *Infancia y Aprendizaje*, 81, pp. 3-26.
- VIGOTSKY, L.S. (1978). Mind in society. The development of higher psychological process. Trad. cast. *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores* (1979). Crítica, Barcelona.
- VILCHES, A. (1993). *Las interacciones Científica, Técnica y Sociedad y la enseñanza de las ciencias físico químicas*. Tesis Doctoral, Universidad de Valencia.
- VILCHES, A. (1994). La introducción de las interacciones ciencia, técnica y sociedad (CTS). Una propuesta necesaria en la enseñanza de las ciencias. *Aula de Innovación Educativa*, 27, pp. 32-36.

- VILCHES, A. (1999). El contexto ciencia-tecnología-sociedad. *Cuadernos de Pedagogía*, 281, pp. 64-67.
- WAKS, L.J. y BARCHI, B.A. (1992). STS in U.S. school science: perceptions of selected leaders and their implications for STS education. *Science Education*, 76 (1), pp. 79-90.
- WALKER, R.; HENDRIX, J. y MERTENS, T. (1980). Sequenced instruction in genetics and Piagetian cognitive development. *The American Biology Teacher*, 42 (2), pp. 104-108.
- WARWICK SCIENCE PROJECT (1986). Southampton Ashford Press Publishing.
- WATSON, J. (1994). Students' engagement in practical problem solving: a case study. *International Journal of Science Education*, 16 (1), pp. 27-43.
- WATTS, M. (1994). Describing problem solving: a core skill in the curriculum. En: M. Watts (ed.). *Problem solving in science and technology* David Fulton Publishers, London, pp. 3-22.
- WELCH, W. (1985). Research in science education: review and recommendations. *Science Education*, 69, pp. 421-448.
- WEST, L. y PINES, A. (1983). How "rational" is rationality? *Science Education*, 67 (1), pp. 37-39.
- WEST, L. y PINES, A. (Eds.) (1985). Cognitive structure and conceptual change. Academic Press, Inc., Londres.
- WHEATLEY, G.M. (1991). Constructivism perspectives on Science and Mathematics learning. *Science Education*, 78 (1), pp. 9-21.
- WHITE, R. y GUNSTONE, R. (1989). Metalearning and conceptual change. *International Journal of Science Education*, 11, pp. 577-586.
- WITKIN, H.A., OLTMAN, P.K., RASKIN, E. y KARP, S.A. (1987). *Tests de Figuras Enmascaradas*. Tea Ediciones, S.A., Madrid.
- WOODS-ROBINSON, C. (1994). Young people's ideas about inheritance and evolution. *Studies in Science Education*, 24, pp. 29-47.
- WOODS-ROBINSON, C.; LEWIS, J.; LEACH, J. y DRIVER, R. (1998). Genética y formación científica: resultados de un proyecto de investigación científica y sus implicaciones sobre los programas escolares y la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (1), pp. 43-61.
- WOOLNOUGH, B. (1989). Towards a holistic view of processes in science education. En: J. Wellington (ed.), *Skills and process in science education. A critical analysis*. Routledge.

- WOOLNOUGH, B. (1991). Practical science as a holistic activity. En: B. Woolnough, (ed.), *Practical science. The role and reality of practical work in school science*, Open University Press.
- YAGER, R.E. (1981). Analysis of current accomplishments and needs in education. *NSTA And the ERIC Clearing House for Science, Mathematics and Environmental Education*. Columbus, OH.
- YAGER, R.E. (1984). Towards a new meaning for school science. *Educational Leadership*, pp. 12-18.
- YAGER, R.E. (1993). Science/Technology/Society: a new effort for providing appropriate science for all. En: R.E. Yager (ed.), *The Sciences, Technology, Society movement: What research say to the science teacher*, vol. 7, Washington, NSTA, pp. 3-21.
- YAGER, R.E. y PENICK, J.E. (1983). Analysis of the current problems with school science in the USA. *European Journal of Science Education*, 5, pp.463-469.
- YAGER, R.E. y PENICK, J.E. (1986). Perception of four groups toward science classes, teachers and the value of science. *Science Education*, 70 (4), pp. 335-363.
- ZIMAN, J. (1980). *Teaching and learning about science and society*. Cambridge University Press.
- ZIMAN, J. (1984). *An introduction to science studies: the philosophical and social aspect of science and technology*. Cambridge University Press.

ANEXO I

UNIDAD DIDÁCTICA

“¿SOY ASÍ POR PURO AZAR”

INTRODUCCIÓN

En este documento anexo a la memoria de investigación, recogemos la secuencia de actividades de la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?”. La fundamentación teórica de la misma y, su concreción en unos determinados contenidos, objetivos y actividades, se encuentran en el Capítulo 5. A modo de recordatorio:

- La unidad didáctica se enmarca dentro de un modelo didáctico constructivista, en el que el itinerario de aprendizaje va a ser el conjunto de actividades recogidas en este anexo. (Apartado 5.1)
- Se introduce un enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad (C-T-S) utilizando la Metodología de Resolución de Problemas como una investigación (MRPI).
- El nivel educativo en el que se va a desarrollar es el último curso de la Enseñanza Secundaria Obligatoria (4º de E.S.O.).
- Los aspectos científicos y didácticos sobre la Genética, que hay que considerar en el proceso de enseñanza-aprendizaje, se recogen en los Apartados 5.2 y 5.3.
- Los contenidos que se van a trabajar, conceptos, procedimientos y actitudes; así como el por qué de su selección y cómo se introducen en el proceso de enseñanza-aprendizaje, se encuentran en el Apartado 5.2.4.
- Los objetivos de la unidad didáctica referidos al cambio conceptual, de procedimientos y actitudes en los estudiantes, se especifican en el Apartado 5.4.
- La metodología de trabajo en el aula, tanto de los estudiantes (grupos de investigación) como del profesor (guía en el proceso de aprendizaje), se comenta en el Apartado 5.5.1.
- La selección y secuencia de actividades se recoge en el Apartado 5.5.2. Éstas se organizan en actividades de inicio, de desarrollo y de síntesis o evaluación. Los problemas, con su resolución y valoración, se encuentran en el Anexo II.
- La selección de estrategias de evaluación se encuentra en el Apartado 5.6.

Recogemos el cuadro 5.19 donde se presenta la secuencia global de actividades y, el tiempo estimado que lleva la realización de cada una de ellas. A continuación se presentan las distintas actividades siguiendo un mismo esquema. Primero, unas **orientaciones para el profesorado**, que recogen los objetivos específicos de cada actividad, el material necesario, la organización del trabajo en el aula y el desarrollo de la misma; después, el **material de trabajo** empleado con los estudiantes.

ACTIVIDADES	TIEMPO
Actividad de inicio	
A ₁ - (Lecturas) La actualidad científica en temas de ingeniería genética	2 sesiones
Actividades de desarrollo	
A ₂ - (Lectura) Los inicios de la Genética: Mendel	1 sesión
A ₃ - (P₀) ¿Cómo se hereda un carácter relacionado con el pelo?	2 sesiones ✍
A ₄ - (Vídeo) La teoría cromosómica de la herencia	1 sesión
A ₅ - (P₁) ¿Cómo se hereda un carácter relacionado con el pelo?	1 sesión
A ₆ - (Juego de simulación) Cariotipos y herencia de cromosomas	2 sesiones ✍
A ₇ - (P₂) ¿Qué ocurriría si un carácter no fuese dominante ni recesivo?	1 sesión ✍
A ₈ - (P₃) ¿La herencia de los grupos sanguíneos A, B, AB, y O, era utilizada como prueba para determinar la posible paternidad de los padres de un bebé. ¿Podrías conocer el grupo sanguíneo de un hijo tuyo?	✍
A ₉ - (P₄) ¿Qué ocurriría si el gen para un carácter se localizase en los cromosomas sexuales?	2 sesiones ✍
A ₁₀ - (P₅) ¿Qué pasaría si un carácter estuviera determinado por más de un gen?	✍
A ₁₁ - (Vídeo) El descubrimiento de la estructura del ADN, duplicación y mutación	1 sesión
A ₁₂ - (P₆) ¿Podría aparecer un nuevo carácter en una familia?	1 sesión
A ₁₃ - (P₇) La calvicie es un asunto que preocupa más a hombres que a mujeres. ¿Por qué crees que este carácter aparece principalmente en varones?	✍
A ₁₄ - (P₈) Un grupo de personas de piel blanca colonizó una región de África. Una vez establecida su comunidad, realizaron matrimonios entre ellos. ¿Cómo crees que será la piel de los bebés que nazcan después de muchas generaciones?	1 sesión
A ₁₅ - (P₉) Una persona expuesta al sol desarrolla cáncer de piel, ¿sus hijos tendrán cáncer de piel?	—
A ₁₆ - (Juego de simulación) Las nuevas tecnologías: ¿quién es el padre del bebé?	1 sesión
A ₁₇ - (Estudio de casos) Los diagnósticos genéticos.	1 sesión
A ₁₈ - (P₁₀) ¿Cómo saber si padeceré Alzheimer?	1 sesión
A ₁₉ - (Juego de simulación) Las nuevas tecnologías: crear un ratón humano	1 sesión
A ₂₀ - (P₁₁) Los viticultores de Arganda buscan que sus vides produzcan uvas con mayor cantidad de azúcar. ¿Cómo conseguiríamos este tipo de vides?	1 sesión
Actividades de evaluación.	
A ₂₁ - (P₁₂) Un matrimonio tiene un hijo que se parece más al padre que a la madre. ¿Cómo puede ser esto posible?	2 sesiones
A ₂₂ - (Situación problemática personalizada de toma de decisiones) Tu familia presenta varios casos de cáncer de colon, ¿te harías un test genético?	

Secuencia global de la unidad didáctica “¿Soy así por puro azar?” El símbolo ✍ significa que parte del trabajo se desarrolla fuera del aula

A₁ - LA ACTUALIDAD CIENTÍFICA EN TEMAS DE INGENIERÍA GENÉTICA

ORIENTACIONES PARA EL PROFESORADO

La actividad de inicio consiste en la lectura, por parte de los estudiantes, de artículos referentes a los temas de mayor actualidad en el campo de la Genética. Uno de los **objetivos** que se pretende, con esta unidad didáctica, es alcanzar las metas educativas que persiguen los *enfoques Ciencia-Tecnología-Sociedad* en la enseñanza de las ciencias; por ello, desde el principio, se aborda el tema de la gran incidencia que las investigaciones en el campo de la Ingeniería Genética tienen en nuestro mundo actual y en el futuro más cercano. También, se comienza con esta actividad, porque va ser una *f fuente de motivación y generación de interrogantes* que ayudará al desarrollo de los contenidos. Además, permite que los estudiantes generen un *primer mapa conceptual* sobre el tema de la Genética y la herencia humana a partir de los conceptos que aparezcan en las lecturas sobre la actualidad científica.

El **material** utilizado es un dossier que recoge noticias de prensa, y textos creados para trabajar en el aula, relacionados con los temas más actuales de la Ingeniería Genética. Las noticias, seleccionadas de diversas fuentes escritas, son las más recientes y significativas en temas referentes a: el Proyecto Genoma Humano y el potencial que supone conocer el genoma humano y de otras especies; terapias génicas; alimentos transgénicos; otros seres vivos transgénicos y sus posible usos; clonación, control de las investigaciones genéticas; etc. Las noticias han sido recogidas, principalmente, de *El Mundo* y *El País*, en sus secciones de Salud y Sociedad. Los textos seleccionados son unas lecturas claras y motivadoras, sobre estos mismos temas (Ibáñez, 1997; Marco, Ibáñez y Albero, 2000), que proponen algunas cuestiones que evidencian las controversias que generan estos nuevos avances científico-tecnológicos. En las mismas aparecen los principales conceptos de Genética (mapa conceptual en el Cuadro 5.7) con los que se va a trabajar a lo largo de la unidad didáctica.

La **organización del trabajo** en el aula consiste en formar grupos de estudiantes que trabajarán con el dossier de noticias.

El papel del profesor es el de organizar el desarrollo del trabajo. Tiene que explicar cómo se desarrollará la actividad y cuál es su objetivo. Los, al final de la actividad, deben elaborar un mapa con los conceptos que aparecen en las lecturas y, detectar algunas de las implicaciones de los nuevos conocimientos científicos sobre el genoma humano en nuestra Sociedad y, de la Sociedad en estas investigaciones. A lo largo de la actividad, el profesor debe actuar como moderador externo, y resolver dudas de comprensión de las lecturas, generando nuevas perspectivas en el trabajo que cada grupo esté realizando.

El **desarrollo de la actividad** se puede realizar a lo largo de dos sesiones. En la primera sesión, los componente de cada grupo, se reparten las lecturas y las comentan entre ellos, entresacando los contenidos científicos que aparecen en las mismas; anotando dudas o nuevos interrogantes que vayan surgiendo; y detectando cuales son las interrelaciones de la Ciencia y la Tecnología con la Sociedad. En la segunda sesión, usando una hoja de DIN A3, y con letras visibles, elaboran el mapa conceptual de las lecturas junto con el conjunto de relaciones C-T-S que identifiquen en ámbitos como el social, el económico, el político, el ético, etc. Estos esquemas se ponen en las paredes de la clase para que la sesión finalice con una discusión abierta sobre aquellos temas que más les hayan llamado la atención.

MATERIAL DE TRABAJO

LECTURA 1:

LAS PRIMERAS NIÑAS CON NUEVOS GENES¹

Las dos protagonistas de esta historia estaban condenadas a morir, pero ahora Ashanthi y Cynthia ocupan un lugar importante en la historia de la medicina por ser las primeras personas a las que se les ha aplicado la terapia génica. Las dos tenían una grave enfermedad inmunodeficitaria (SCID), sus glóbulos blancos, células encargadas de la defensa frente a infecciones, no eran correctas. La enfermedad se debía a la existencia de un gen erróneo.

Ashanthi tuvo problemas desde su nacimiento. La cicatriz de su ombligo se infectó y continuamente estaba enferma. Sus hermanas también tenían problemas con sus defensas: su hermana mayor se vio afectada por el virus de la encefalitis, perdiendo la capacidad del habla y del movimiento; y su hermana menor sufrió otra enfermedad encefálica que le provocó un retraso mental. Cynthia en principio parecía un bebé sano; pero, ya en preescolar, empezó a tener una infección tras otra. A los cuatro años una sinusitis casi le hace perder el habla.

Hace tan sólo veinte años, para poder sobrevivir, ellas hubiesen debido vivir en una burbuja de plástico que las aislase del mundo y de sus gérmenes. Así tuvo que vivir David, "el niño de la burbuja", muy conocido en los años 70 debido a una película protagonizada por John Travolta y por una canción de Paul Simon, ambas basadas en su vida. Desde la muerte de David se han intentado numerosos tratamientos como los trasplantes de médula ósea, tejido donde se forman las células defensivas, o la utilización de drogas. La última droga utilizada fue Adagen y permitió que Ashanthi y Cynthia aguantasen un poco más: pero otros niños enfermos de SCID murieron. La droga no era la cura definitiva y presentaba complicaciones médicas.

Gracias a un experimento realizado en 1990 en el Instituto Nacional de la Salud de EEUU (NIH), Ashanthi y Cynthia pueden seguir viviendo. Hasta 1990 los investigadores no recibieron el permiso de usar la terapia génica en humanos. ¿En qué consistía este nuevo tratamiento?. Los científicos, una vez aislado e identificado el gen causante de la enfermedad, introducirían el gen correcto en un virus que serviría de "vector" o de "medio de transporte". Este virus sería introducido en las células sanguíneas madre de las enfermas, que previamente habrían sido extraídas del torrente sanguíneo. Estas células modificadas ya contenían el gen correcto y por lo tanto podían formar glóbulos blancos funcionales. Ahora estas células con un nuevo gen debían ser devueltas a sus dueñas gracias a una transfusión de sangre.

El primer experimento se realizó con Ashanthi en Septiembre de 1990: la niña sobrevivió y en Enero de 1991 Cynthia se convirtió en la segunda persona en recibir terapia génica humana. Actualmente las niñas progresan, aunque siguen estando bajo control médico y ayudan a su sistema inmunitario con drogas como Adagen, hasta que su cuerpo pueda reaccionar por sí solo ante cualquier infección. Habrá que esperar para determinar si el resultado es definitivo.

Por el momento, cientos de personas, que sufren diversas enfermedades genéticas, esperan que la terapia génica sea su tabla de salvación.

¹ Gen: una parte de la cadena de ADN que contiene información hereditaria.

CUESTIONES SOBRE EL TEXTO

1. Intenta imaginar cómo era la vida de estas niñas. Si estuvieses en su caso ¿te someterías a cualquier tipo de experimento que pudiese curarte, por muy costoso o doloroso que fuese, o bien preferirías asumir tu enfermedad como algo inevitable?
2. Imagina que el experimento de la terapia génica hubiese tenido algún error y alguna de estas niñas hubiese muerto, entonces ¿la terapia génica ya no sería un buen tratamiento para las enfermedades genéticas? ¿Serían culpables los médicos de este error en una técnica que se empleaba por primera vez en humanos? Si se hubiesen abandonado los experimentos después de este hipotético error ¿se hubiera perdido una gran oportunidad en el avance científico y tecnológico de la medicina actual?
3. ¿Crees que los avances científicos en medicina salvan vidas?, ¿es importante que los científicos trabajen sobre nuevas formas de curar?
4. Estas niñas sólo tenían un gen erróneo y, sin embargo, sus posibilidades de sobrevivir eran escasas. ¿Sabes cuántos genes tiene el ser humano? Infórmate. ¿Crees que hay muchas enfermedades relacionadas con genes erróneos, ¿conoces alguna?

LECTURA 2:

IDENTICOS Y EN MASA

En Octubre de 1993 los medios de comunicación propagaron la noticia de que dos investigadores norteamericanos (J. Hall y R. Stillman) de la Universidad George Washington, habían logrado dividir embriones humanos en copias idénticas, es decir, habían obtenido embriones clónicos.

El experimento se realizó con 17 embriones humanos que se encontraban en los primeros estadios de desarrollo, formados sólo por 2 a 8 células. Estos embriones procedían de mujeres sometidas a tratamiento de fecundación in vitro (FIV), y eran inviables, jamás hubiesen producido un ser humano porque los óvulos estaban fecundados por más de un espermatozoide. A partir de estos embriones, separando sus células, se obtuvieron numerosos embriones iguales al original y con capacidad de división. Los investigadores indicaron que en ningún momento se pretendió transferir los embriones clonados al útero de una mujer.

Lo más llamativo es la fría acogida que estos experimentos han tenido en la comunidad científica, que no los considera ningún avance científico ni nada novedoso, y la apasionada respuesta de la prensa y del público. La polémica sobre la clonación de embriones está basada más en aspectos morales que científicos. El experimento no supone avances técnicos fundamentales, pues la clonación es una práctica habitual en la reproducción artificial de ganado, pero; en cambio, sí ha supuesto un grave reto ético. Era la primera vez que se utilizaba en embriones humanos y para E. Hernández, investigador del CSIC (Centro Superior de Investigaciones Científicas), se ha violado un pacto científico no escrito, pero sí respetado desde hace años en todo el mundo, por el cual ningún investigador llegaría a este tipo de experimentos. Y menos aún bajo la justificación que han dado los investigadores americanos "el experimento se hubiese hecho en cualquier momento y queríamos ser los primeros".

Este experimento se ha podido realizar en EEUU porque su legislación es muy permisiva frente a estos temas, pues desde 1989 no existe una comisión bioética por discrepancias políticas. En España existe la Ley sobre Técnicas de Reproducción Asistida de 1988, que es una de las más restrictivas de Europa. Hall y Stillman apoyan su experimento aduciendo que la clonación traería ventajas para la FIV. Creen que la clonación de embriones permitiría disponer de dos o tres embriones iguales en vez de uno. Uno de los embriones podría usarse para determinar la presencia de alteraciones genéticas, pero esto supone la destrucción de un embrión humano, y eso es inadmisibles científica y moralmente.

Desde los medios informativos también se ha especulado con la posibilidad de disponer "en reserva" de un "embrión de repuesto" para un posible trasplante de órganos, o también que esta técnica perfeccionada y en manos de científicos sin escrúpulos, podría dar lugar a la creación de seres humanos morfológicamente idénticos que, por qué no, serían la base de una nueva raza de soldados esclavos.

Por el momento estas escalofriantes expectativas sólo son ciencia-ficción, pero ¿los conocimientos científicos y los avances tecnológicos podrían transformarlas en realidad?.

CUESTIONES SOBRE EL TEXTO

1. ¿Te gusta ser diferente, único? o, ¿prefieres ser a igual a todos tus compañeros/as, con los mismos gustos, ideas, problemas, etc.? ¿Te gustaría que existieran numerosos gemelos iguales a ti?
2. ¿Crees que sería "útil" la existencia de seres humanos todos iguales: igual de inteligentes, de la misma estatura y con las mismas habilidades?.
3. ¿Te gustaría vivir en una sociedad donde cada individuo pudiese tener un gemelo idéntico congelado en el caso de necesitar un transplante? ¿y si fueses tú uno de esos gemelos congelados?.
4. ¿Crees que este tipo de experimentos atentan contra la dignidad humana?
5. ¿Crees que la ciencia debe tener un límite y que no debe seguir investigando sobre algunos aspectos relacionados con el hombre?

LECTURA 3:

LOS ALIMENTOS TRANSGÉNICOS A JUICIO

El 2 de Diciembre de 1996 un barco descargaba en el puerto de Barcelona un cargamento de soja. Inmediatamente, diversas asociaciones como Green Peace dieron la voz de alarma. ¡Esa soja no era un producto natural sino transgénico! Para muchos fue la primera vez que oían hablar de ello. Los seres vivos transgénicos son aquellos que, de forma artificial, llevan genes que pertenecen a otras especies. Esa soja, en especial, llevaba el gen de una bacteria que le permitía resistir a herbicidas utilizados para acabar con las malas hierbas.

Desde los años 70 y 80 se vienen utilizando bacterias transgénicas que llevan genes extraños gracias a lo cual obtenemos hormonas como insulina, anticuerpos y otras sustancias que necesitamos. Esas bacterias se han convertido en microscópicas fábricas al servicio de la humanidad. Ahora se están creando animales y plantas transgénicos y la razón de que ciertos grupos estén preocupados se debe a que esos animales y plantas van a ser nuestro alimento.

En la actualidad hay muchos productos transgénicos, la mayoría ya están siendo comercializados, y muchos otros están en proyecto: manzanas, maíz, soja, patatas, tomates y lechugas resistentes a plagas; soja resistente a herbicidas; tomates y melones más duraderos; café con menos cafeína... En cuanto a animales, hay ovejas cuya leche libera α -antitripsina, proteína que necesitan algunos enfermos; vacas cuya leche es más parecida a la materna por contener α -lactoalbúmina; salmones gigantes... También se están creando ratones con genes humanos para utilizarlos en estudios de enfermedades humanas (por ejemplo, el SIDA), y cerdos cuyos órganos puedan ser utilizados en trasplantes.

A simple vista todo son ventajas. Pero no todos lo tienen claro. Los riesgos de consumir alimentos transgénicos son hipotéticos y difíciles de evaluar, pero se están comercializando alimentos que nunca antes han existido y que no sabemos cómo pueden actuar en nuestro organismo. ¿Qué peligros potenciales pueden suponer estos seres vivos transgénicos? :

- Nuevas enfermedades: muchas plantas transgénicas llevan genes bacterianos que tienen la capacidad de intercambiar información con otras bacterias, ¿y si intercambiasen información con las bacterias de nuestro intestino?, ¿y si esa información transformase nuestras bacterias simbiotas en patógenas?
- Reacciones alérgicas e intoxicaciones: un gen de la nuez del Brasil que llevaba una planta de soja ha provocado reacciones en personas alérgicas a ese fruto.
- Nuevas plagas: las plantas transgénicas resistentes a herbicidas y a insectos podrían hibridar (unirse) con plantas silvestres, que pueden ser malas hierbas, convirtiéndose en verdaderas plagas.
- Desastres ecológicos: además de las nuevas plagas, las plantas transgénicas pueden desplazar a las plantas del lugar rompiendo el equilibrio del ecosistema. Entre otros seres vivos del ecosistema, las abejas polinizadoras podrían verse afectadas por las toxinas de algunas plantas transgénicas.

Nosotros, los consumidores, debemos sopesar si el peligro es hipotético o real y actuar de forma responsable.

CUESTIONES SOBRE EL TEXTO

1. ¿Un ser vivo transgénico, por ejemplo maíz con un gen bacteriano, es una nueva especie de maíz?
2. En el supermercado, ¿comprarías tomates transgénicos más duraderos y lustrosos o tomates normales?, ¿Por qué?
3. ¿Los alimentos transgénicos deberían llevar etiquetas que lo indicasen? ¿Tienen distinto valor nutritivo que los productos normales o se diferencian en alguna característica importante que deba conocer el consumidor?
4. ¿Qué ventajas e inconvenientes encontrarías en consumir carne de una variedad de vaca resistente a ciertas enfermedades por tener incorporado el gen de un antibiótico?
5. En una tienda de Valencia se vendía una mascota muy peculiar llamada Misly, era en parte perro, zorro y mapache. Su apariencia era extraña, su precio escandaloso y sólo había un ejemplar. ¿Crees que es ético crear mascotas mezclando especies?, ¿qué tipo de problemas podría plantear este tipo de mascotas? ¿Comprarías esta mascota?
6. Los productos transgénicos son caros porque las patentes de su producción pertenecen a empresas privadas. Si las plantas transgénicas van a permitir un aumento considerable de las cosechas, ¿No deberían ser los países en vías de desarrollo y con problemas de hambre los primeros beneficiados?, ¿Podrían pagar los altos precios de las semillas transgénicas?.

LECTURA 4:

LOS DUEÑOS DEL GENOMA HUMANO: EL NEGOCIO DEL SIGLO

Las patentes son títulos de propiedad que identifican a la persona o compañía que descubre o inventa algo novedoso y útil. Si otra persona quiere utilizar su invención deberá pagar por ello. La mayoría de los objetos que utilizamos o consumimos tienen su patente, desde la fregona hasta el microchip de última generación, o la receta de una bebida refrescante. Desde 1992 hay un nuevo producto que puede ser patentado, los genes humanos y también los seres transgénicos.

¿Se pueden patentar genes humanos? Una minoría de grupos y compañías que trabajan en el descubrimiento de nuevos genes humanos están en contra de las patentes. Argumentan que patentar genes es inmoral y que no se puede patentar algo que no es novedoso porque existe desde siempre, igual que no se puede patentar el Sol o la Luna. La Oficina Europea de Patentes sí acepta patentar genes porque aunque un gen sea una sustancia natural, ésta debe ser aislada y se desarrolla una técnica para ello. Es algo parecido al caso de la aspirina, se patenta el producto que es ácido acetilsalicílico obtenido de la corteza de sauce. Pero, ¿debe tener la misma consideración el genoma y la aspirina?

¿Cuál puede ser el interés en patentar genes? Las compañías farmacéuticas han invertido grandes sumas de dinero en secuenciar genes humanos implicados en un gran número de enfermedades humanas, dinero que esperan recuperar con creces. La explotación de la información genética es una verdadera mina de oro; las empresas, al patentar esos genes, obtendrían multimillonarios beneficios por la venta de fármacos y pruebas de diagnóstico, así como por las patentes de futuras terapias. Se calcula que tener la patente de un sólo gen, que exprese una proteína útil como fármaco o droga, puede representar unos beneficios anuales de 500 millones de dólares. Tan cuantioso es el negocio que ya hay pleitos entre compañías farmacéuticas por la paternidad de un ratón transgénico que genera anticuerpos humanos. Incluso, algunas de estas compañías cotizan en la bolsa.

En el siguiente cuadro aparecen las empresas y países a los que pertenecen la mayoría de los genes humanos con interés económico.

LOS DUEÑOS DEL GENOMA HUMANO			
Compañías privadas	Nº de patentes	Instituciones públicas	Nº de patentes
Takeda (Japón)	63	Ministerio de Sanidad (EE.UU.)	28
Genentech (EE.UU.)	41	Universidad de California (EE.UU.)	13
Immunex (EE.UU.)	23	Institutos Nacionales de la Salud (EE.UU.)	11
Teijin (Japón)	23	Universidad de Washington (EE.UU.)	11
Hoffmann-La Roche (Suiza)	18	Universidad de Tejas (EEUU)	7
Giba-Geigy (Suiza)	16	Fundación para la Investigación del Cáncer (Japón)	6
Suntory (Japón)	18	Universidad de Nueva York (EE.UU.)	6
Sumitono (Japón)	16	Agencia de Industria, Ciencia y Tecnología	5
Cetus (EE.UU.)	16	Instituto Salk (EE.UU.)	5
Eli Lilly (EE.UU.)	15	Instituto Pasteur (Francia)	5
Shionogi (Japón)	15	De 1981 a 1995 se han otorgado 1.175 patentes a 300 organizaciones públicas y privadas de todo el mundo. En este cuadro quedan reflejadas las más importantes.	
Ashai (Japón)	15		
Green Cross (Japón)	15		

Fuente: Nature

EL PAÍS (12/4/96)

CUESTIONES SOBRE EL TEXTO:

1. ¿Qué objetos de los que usas habitualmente tienen patentes?, ¿Por qué están patentados?, ¿Crees que, igual que existen esas patentes, deben existir patentes de genes?, ¿Crees que hay diferencias entre patentar genes o cualquier otro objeto?
2. Usando la tabla de patentes, ¿Qué países presentan más patentes? Las patentes, ¿pertenecen a organismos públicos o privados?
3. ¿Qué beneficios o perjuicios plantea que los genes tengan dueños?
4. ¿Cómo puede afectar, a países como España, el que las patentes de genes pertenezcan a otros países? ¿Y en el caso de países en vías de desarrollo, con grandes problemas económicos y mayores carencias biosanitarias?

LECTURA 5:

VIVIR CON UN CORAZÓN DE CERDO

A Manuel se le paró el corazón sin ningún tipo de aviso, fue una muerte súbita. Afortunadamente, estaba en un centro médico y consiguieron reanimarle. Juan vive gracias a un trasplante de corazón, corazón que procedía de otra persona que acababa de perder la vida. Angel era el primer español con un corazón artificial; ya se había acostumbrado a llevar la batería del corazón en una bolsa al hombro cuando una embolia acabó con él.

La primera causa de muerte en Occidente, por encima del cáncer, los accidentes de automóviles y el SIDA, son los problemas cardiovasculares. Cada día mueren 400 españoles y, al año, 150.000 por esta razón. Un tercio de estas muertes es por infarto de miocardio.

Muchas de estas personas se salvarían con un trasplante de corazón; pero no hay muchos corazones disponibles y que estén en buen estado, puede producirse rechazo, y siempre está la posibilidad de que se transmitan enfermedades humanas como el SIDA, la hepatitis C, etc.

La utilización de primates como los babuinos o chimpancés no es muy viable porque son especies protegidas, sus corazones son pequeños, pueden transmitirnos enfermedades como el SIDA o el virus Ébola, tienen unos periodos de crecimiento y reproducción largos y la sociedad no aceptaría el sacrificio de especies emparentadas con la especie humana.

La solución en el futuro va a estar en cerdos transgénicos, cerdos con genes humanos que impidan que el organismo humano los rechace. Las ventajas de utilizar como animal al cerdo son muchas:

- su estructura anatómica y funcional se asemeja a la de los seres humanos, y podría ser donante de corazón, hígado, pulmón y riñón.
- se pueden criar cerdos libres de enfermedades que puedan transmitirse a la especie humana
- la reproducción del cerdo es fácil y rápida
- la sociedad no rechazaría el sacrificio de cerdos, cosa que sí ocurrió cuando se utilizaron primates

La creación de estos cerdos transgénicos se basa en el hecho de que todos los mamíferos presentamos anticuerpos¹ naturales que reconocen antígenos² presentes en las células de especies diferentes. Estos anticuerpos pasan a través de la placenta materna. Los antígenos (en este caso del cerdo) se pueden destruir con una enzima (α -galactosidasa). Los cerdos transgénicos llevan el gen de esta enzima y, por lo tanto, no presentan antígenos que puedan ser reconocidos por el receptor humano.

Se desconoce si los órganos del cerdo funcionarán correctamente en los seres humanos. Aunque no se produjese ningún rechazo inmunológico, no se puede precisar si otras reacciones fisiológicas y bioquímicas del órgano implantado (enzimas, hormonas, niveles de glucosa, sal...) podrían afectar al proceso. No obstante, sí podemos aventurar que el primer xenotrasplante³ con órganos de animales transgénicos será una realidad dentro de poco y que se irán solventando todas las dificultades que vayan surgiendo.

¹ Anticuerpo: molécula de naturaleza proteica capaz de reconocer cualquier sustancia extraña e iniciar la defensa inmunológica de nuestro organismo.

² Antígeno: cualquier sustancia que un organismo reconoce como extraña.

³ Xenotrasplante: trasplante de órganos entre individuos de distintas especies.

CUESTIONES SOBRE EL TEXTO

1. Si tuvieses necesidad de un trasplante de corazón y las opciones fuesen: un corazón de cerdo disponible al día siguiente o un corazón humano en el momento que hubiese uno adecuado y disponible, ¿Cuál sería tu opción?, ¿Por qué?
2. ¿Crees que la creación de cerdos transgénicos supone un gran avance médico en la realización de trasplantes? ¿En qué otros campos médicos podría ser útil contar con animales transgénicos?
3. ¿Qué limitaciones pondrías a los xenotrasplantes? ¿Por qué?
4. Una persona con un corazón de cerdo ¿Tendría sentimientos de persona o de cerdo? ¿Dónde crees que residen sentimientos como el amor, la alegría, la compasión...?
5. ¿Crees que en culturas donde la carne de cerdo es considerada impura se podría aplicar este tipo de trasplante? y, ¿en culturas que creen en la reencarnación de los cuerpos?
6. En las culturas orientales no es posible el trasplante a partir de un donante muerto porque no se permite la extracción de órganos hasta pasados dos días de la defunción, debido a sus creencias sobre la permanencia del espíritu de la persona en el cuerpo. En estos países donde en la actualidad sólo es posible el trasplante a partir de donantes vivos, ¿Qué implicaciones tendrían los xenotrasplantes? ¿Cuál sería tu postura?

ORIENTACIONES PARA EL PROFESORADO

Esta es la primera del conjunto de actividades de desarrollo. Su **objetivo** es transmitir a los estudiantes una imagen del proceso de evolución de las ideas sobre la herencia y, cómo algunas de las mismas coinciden con concepciones que aún se escuchan en expresiones populares. Esta introducción histórica se detiene en los trabajos de Mendel. El estudio de la Genética desde sus orígenes, siguiendo la evolución histórica de estos conocimientos, se fundamenta en los objetivos de cambio conceptual que sobre la Naturaleza de la Ciencia se pretenden en este trabajo, y en los estudios que se han realizado sobre la didáctica de la Genética (Jiménez y Fernández, 1987; Johnson y Stewart, 1990). En esta actividad se introducen los **conceptos**: carácter, factor hereditario, dominante, recesivo, híbrido, y los cuadros de Punnett como forma de crear todas las combinaciones posibles entre factores.

El **material** que se utiliza en el desarrollo de la actividad es, principalmente, la pizarra y el artículo que Mendel envía a la revista de la Sociedad de Historia Natural de Brno en 1866. El texto se ha tomado de una traducción realizada por Jiménez y Fernández (1987).

La **organización del trabajo** de aula se basa en una exposición teórica por parte del profesor a todo el grupo de estudiantes. La participación de los alumnos consiste en preguntar dudas, aportar ideas, y generar interrogantes.

El **desarrollo de la actividad** requiere de una sesión de clase. La exposición teórica comienza con las ideas que en siglos pasados se tenían sobre los procesos de la herencia, y se continua con los trabajos de Mendel. El artículo utilizado permite incidir en la MRPI, con la que se pretende trabajar en esta unidad didáctica, siguiendo la forma de trabajo del autor: tiene un problema, revisa todos los conocimientos de la época, emite una hipótesis...

A continuación se recoge el contenido de esta exposición. Esta sinopsis está redactada como material de apoyo al profesor. Por ello, al ser referida a los estudiantes, no debe ser tan académica, ni incluir tantos datos de investigadores o fechas.

Los conocimientos que forman parte de lo que llamamos Ciencia han ido variando a lo largo del tiempo por cambios en la forma de observar e interpretar nuestro mundo, por la aparición de nuevas tecnologías, por el descubrimiento de nuevos conocimientos, etc.

Así ha ocurrido también con los conocimientos relativos a la Genética. Los *campesinos y agricultores* desde hace siglos seleccionan las mejores variedades de plantas y animales para obtener nuevas cosechas o rebaños. El cruce de especies para crear **híbridos** es y era algo habitual. Estos conocimientos procedían de su propia experiencia.

Las ideas científicas relativas a la herencia estaban más influidas por concepciones teleológicas y filosóficas y se referían de forma casi exclusiva a la generación de nuevos seres humanos. Los *preformistas* consideraban que todo el material que va a constituir el nuevo ser existe de antemano. Nada nuevo podía existir y toda la humanidad ya estaba contenida en Adán y Eva (Eva contenía 200.000 millones de huevos). Una de las ideas era que en el útero ya estaba toda la información del nuevo ser y que sólo se tenía que desarrollar, crecer como un plano en la cabeza de un arquitecto, y el esperma era un catalizador cuyos vapores permitían el desarrollo del huevo. Estas ideas aún se manifiestan cuando los niños dibujan una niña con una muñeca que a su vez lleva otra muñeca que será su bebé. O las ideas sobre los antojos de las madres que pueden modificar el diseño del nuevo ser. Otros consideraban que el espermatozoide contenía el nuevo ser en miniatura (animaculistas) y necesitaba del calor del útero que actuaba de receptáculo. Estas ideas aún se manifiestan cuando los niños pequeños dibujan espermatozoides con cara o cuando se explica el proceso de fecundación con expresiones como: 'papá pone una semillita en mamá y ...'

A lo largo del siglo XIX diversos científicos intentan entender el mecanismo de la herencia estudiando híbridos vegetales. Pero no había consenso en cuanto al problema, los métodos ni la forma de recoger datos. **Gregor Mendel** (1822-1884) presenta en 1866 un artículo que recoge los resultados de sus investigaciones sobre híbridos vegetales a lo largo de años. Este agustino austríaco es considerado el padre de la Genética porque, gracias a su forma de abordar el problema y al haber interpretado los resultados utilizando métodos cuantitativos, llegó a descubrir las leyes de la herencia que rigen los caracteres que presentan dominancia simple.

El relato de sus investigaciones se encuentran en el artículo que se va a leer en la clase. La forma en que se inician estos trabajos es el interés de Mendel por obtener nuevos colores en las flores de plantas ornamentales (*su problema*). Sorprendido por los resultados que obtiene revisa toda la bibliografía existente sobre el tema de hibridación de plantas (*análisis cualitativo del problema*). Intuyó que debía existir una ley natural que explicase la herencia de los caracteres. Para corroborar esta *hipótesis* eligió como material de estudio una planta como el guisante que era fácil de cultivar, crecía rápidamente y tenía numerosas variedades con características fácilmente identificables. Eligió para su estudio siete parejas de caracteres fácilmente identificables: color de la semilla (amarillo, verde); forma de las mismas (redonda o rugosa) etc. El procedimiento experimental de Mendel fue muy riguroso (*diseño de estrategia de resolución y resolución*). Plantó en el jardín parcelas con las diferentes variedades de guisantes a los que autofecundaba artificialmente para estar seguro de la pureza de las mismas. En el invernadero

tenía una siembra de guisantes que actuaba como grupo control. Continuó sus experimentos cruzando variedades puras para un carácter y así obtener híbridos que volvía a cruzar. Hay que tener presente que cuando polinizaba una planta de guisante obtenía las semillas que estudiaba y que debía volver a plantar para poder determinar qué otros caracteres manifestaba la nueva planta de guisante. Sus conclusiones (*análisis de los resultados*) fueron las siguientes:

1ª Ley: Principio de la Uniformidad

Al cruzar dos razas puras para un carácter (color de la semilla: amarillo o verde) toda la descendencia presentaba el mismo carácter que coincidía con una de las razas puras (semilla amarilla x semilla verde = 100% descendencia semilla amarilla). Mendel llamó al carácter que se manifestaba dominante (A) y, al que desaparecía recesivo (a). La formulación de la ley sería "*Todos los descendientes del cruce entre dos razas puras son iguales entre sí*".

2ª Ley: Principio de la Segregación

Mendel quería saber qué había pasado con el carácter recesivo que se había perdido en esta primera generación. Realizó numerosos cruces entre las plantas de la 1ª generación (amarillos, híbridos) y obtuvo como resultado que en la 2ª generación aparecían semillas amarillas y verdes en una relación 3:1, o sea el 75% de los nuevos híbridos eran amarillos y el 25% verde. Mendel percibió que todas las plantas con semillas amarillas no podían ser iguales y por cruces entre ellas demostró que 1/3 eran razas puras y 2/3 híbridos iguales a los de la primera generación. De esta forma llegó al convencimiento de que los caracteres estaban determinados por factores hereditarios, uno dominante y otro recesivo, y que la proporción 3 amarilla (A): 1 verde (a), realmente se correspondía con la proporción 1 amarilla (A): 2 amarilla (Aa): 1 verde (a). Esta ley se repetía en los cruces de los siete caracteres estudiados. La formulación de la ley sería: "*Los dos factores hereditarios que actúan en un mismo carácter son independientes y se separan y reparten entre los descendientes, aparejándose al azar*". Mendel, por supuesto no sabía en qué consistían esos factores hereditarios, ni dónde se localizaban, ni cómo se repartían entre los descendientes.

3ª Ley: Principio de la Combinación Independiente

Cuando Mendel estudiaba el comportamiento de dos caracteres (color de la semilla: A amarillo y a verde; y forma: L lisa y l rugosa) en una misma planta llegó a la conclusión de que: "*Los factores hereditarios de dos caracteres distintos se heredan de forma independiente a través de las generaciones, combinándose al azar en los descendientes*". Cuando cruzaba plantas dihíbridas para los caracteres color y forma de la semilla (LIAa x LIAa) obtenía en la siguiente generación las cuatro posibles combinaciones de plantas con las semillas: lisa y amarilla, lisa y verde, rugosa y amarilla, rugosa y verde, en una proporción 9 LA: 3 La: 3 lA: 1 la. Estos resultados son iguales que si se hubieran cruzado al azar los dos caracteres.

LIAa x LIAa	LA	La	lA	la
LA	LLAA ●	LLAa ●	LIAA ●	LIAa ●
La	LLAa ●	LLaa ●	LIAa ●	Llaa ●
lA	LIAA ●	LIAa ●	llAA ■	llAa ■
la	LIAa ●	Llaa ●	llAa ■	llaa ■

MATERIAL DE TRABAJO

LECTURA:

"EXPERIMENTOS SOBRE HÍBRIDOS VEGETALES" (GREGOR MENDEL, Revista de la Sociedad de Historia Natural de Brno, 1866)

Entre los numerosos experimentos realizados ninguno se ha llevado a cabo en extensión y de tal modo que haga posible determinar el número de formas distintas en que aparecen los descendientes de los híbridos, y que permita ordenar con seguridad esas formas por generaciones y poder comprobar sus mutuas relaciones numéricas. (...)

La validez y la importancia de un experimento dependen de la idoneidad del material (...) las plantas experimentales deben necesariamente:

1. Poseer caracteres diferenciales constantes.
2. Los híbridos deben de estar (...) protegidos por la acción de polen extraño (...) si esto ocurriese conduciría a opciones totalmente erradas. (...)

Los caracteres que se escogieron en el experimento se refieren a:

1. Diferencia en la forma de la semilla: redondeada o angulosa (...)
2. Diferencia en el color del albumen: (...) amarillo o verde.
3. Diferencia en el color del tegumento: blanco o gris (...)
4. Diferencia en la forma de la vaina: (...) lisa o estrangulada.
5. Diferencia en el color de la vaina inmadura: verde o amarilla. (...)
6. Diferencia en la posición de las flores: axiales o terminales. (...)
7. Diferencia en la longitud del tallo: largo, 6-7 pies o corto $\frac{3}{4}$ - $1 \frac{1}{2}$

Además en todos los experimentos se hicieron cruces recíprocos: la variedad que en una serie sirvió como planta de semilla, sirvió en la siguiente como planta de polen. (...) Para cada experimento se colocaron varias macetas en un invernadero, para servir de control al experimento principal del jardín. (...)

La forma de los híbridos (...) en algunos caracteres se presentan formas intermedias, como en forma y tamaño de las hojas. En otros casos uno de los dos caracteres de los progenitores predomina tanto que es imposible detectar el otro.

Así ocurre en los híbridos de *Pisum*. Cada uno de los 7 caracteres híbridos se parece a uno de los progenitores (...) en la siguiente discusión estos caracteres son llamados dominantes y los que quedan latentes recesivos (...) porque se retiran o desaparecen en los híbridos, pero reaparecen sin cambiar en su descendencia.

Se probó, además, en todos los experimentos, que es totalmente igual si el carácter dominante pertenece a la planta de la semilla o a la planta de polen; la forma de los híbridos es la misma. (...)

Son dominantes los siguientes (caracteres):

1. Forma redondeada de la semilla.
2. Color amarillo del albumen.
3. Color gris del tegumento de la semilla. (...)

Primera generación (procedente del cruce) de los híbridos

En esta generación aparecen, junto a los caracteres dominantes, también los recesivos (...) en una relación media de 3 a 1 (...) 3 el dominante y 1 el recesivo. Esto vale sin excepción para todos los caracteres escogidos (...) En ningún experimento se observaron formas de transición.

La relación numérica obtenida para cada par de caracteres es:

1. Forma de la semilla. De 253 híbridos se obtuvieron 7.324 semillas (...) 5.474 redondas y 1.850 angulosas. Esto da la relación 2,96:1
2. Color del albumen. 258 plantas dieron 8.023 semillas. 6.022 amarillas y 2001 verde; su relación por tanto es 3,01:1 (...)

Como extremos en la distribución de los dos caracteres en una misma planta, se observaron en un caso 43 redondas y sólo 2 angulosas, y en otro 14 redondas y 15 angulosas. (...) Si se reúnen los resultados de todos los experimentos la relación promedio entre formas con caracteres dominantes y recesivos es 2,98:1, o sea 3:1.

El carácter dominante puede tener doble significado: de carácter paterno o híbrido, cuál de los dos, sólo se puede resolver en la siguiente generación. Un carácter paterno debe pasar sin cambio a toda la descendencia; uno híbrido debe comportarse como esta 1ª generación.

Las formas que presentan carácter recesivo no varían: su descendencia permanece constante (...) de las dominantes dos partes producen descendencia con carácter dominante y recesivo en relación 3:1 (...) sólo una parte continúa con el carácter dominante constante. (...) Así se demuestra que de las formas que en la 1ª generación muestran el carácter dominante, dos partes son portadoras del carácter híbrido, y una parte permanece constante con el dominante.

La relación 3:1 en que se distribuyen dominantes y recesivos, se convierte por tanto en 2:1:1 (...) resulta claro que los híbridos dan lugar a semillas que tienen cada uno de los dos caracteres diferentes, y de éstas, la mitad vuelven a dar híbridos y la otra mitad (...) reciben el carácter dominante o recesivo a partes iguales. (...)

Si A representa a uno de los dos caracteres, por ej. el dominante, a el recesivo y Aa la forma híbrida, la expresión

$$A + 2 Aa + a$$

presenta los descendientes de los híbridos.

<p style="text-align: center;">A₃ – P₀ - ¿CÓMO SE HEREDA UN CARÁCTER RELACIONADO CON EL PELO?</p>
--

ORIENTACIONES PARA EL PROFESORADO

El **objetivo** de esta actividad es la *resolución del primer problema abierto* sobre Genética. Se propone una investigación sobre la herencia de un carácter dentro de una familia que requiere de los estudiantes que trabajen desde los efectos (fenotipo) a las causas, tal y como hacen los especialistas en Genética; mientras que los problemas cerrados son mayoritariamente del tipo causa-efecto. Además, se inicia el desarrollo de los contenidos relativos a la naturaleza de la ciencia porque se permite que *los estudiantes se enfrenten a una investigación propia de la genética clásica*.

El **material** que se requiere para esta actividad es el artículo de Mendel, que va a servir de pauta en el proceso de investigación, papel, bolígrafo, lapiceros de colores.

La **organización del trabajo** en el aula consiste en trabajar en grupos de investigación tal y como se hizo en la actividad 1. Los componentes de cada grupo deben intervenir en todos los procesos de resolución de los problemas, y cada uno de ellos debe aportar el árbol genealógico de su familia para el carácter que hayan decidido estudiar. El grupo sirve apoyo en el proceso de resolución, sin embargo, el resultado final puede diferir entre los componentes del mismo.

El papel del profesor es, de nuevo, el de moderador externo y, en algunos casos, puede orientar la actuación de algunos grupos que estén indecisos sobre el carácter a estudiar. Una de las decisiones, que se puede tomar, es elegir caracteres morfológicos visibles y estudiarlos definiendo sólo dos variaciones del mismo (Ejemplo: color de pelo, oscuro y claro), porque es el primer problema de Genética que resuelven los alumnos y, por ello, lo concretamos en el tipo de herencia mendeliana. Pero, aún eligiendo caracteres que se ajusten a este modelo de herencia, dependiendo de la muestra de estudio, y del análisis de los estudiantes, el resultado de la investigación puede ser muy variado.

El **desarrollo de la actividad** puede tener lugar a lo largo de dos sesiones. En este caso, la primera sesión permite recordar el proceso de resolución que siguió Mendel en sus estudios, identificando las fases de análisis del problema, emisión de hipótesis, diseño de una estrategia de resolución, resolución e interpretación de datos; y **explicar la MRPI que se va a utilizar en la resolución de todos los problemas**. A lo largo de esta sesión los alumnos realizan los tres primeros pasos recogidos en la metodología de resolución de problemas abiertos como una investigación. Cada componente del grupo se tiene que hacer cargo del proceso de investigación del carácter elegido dentro del ámbito de su familia. Esta investigación, por supuesto, se realiza fuera del aula.

En la segunda sesión, los componentes de cada grupo de investigación explican cómo han realizado sus investigaciones particulares y ponen en común sus resultados. A partir de esta información, deben llegar a conclusiones sobre, qué manifestación del carácter es dominante, cuál es recesivo, qué individuos son razas puras para el carácter y cuáles híbridas, etc., basándose en el análisis de los resultados en los cruces de distintos tipos de individuos.

Al final de la clase cada grupo resume sus conclusiones al resto de compañeros. Los grupos de trabajo que hayan trabajado sobre la herencia de un mismo carácter cotejan sus resultados. Los estudiantes, también, exponen qué dificultades han tenido en el proceso de resolución y qué visión de los trabajos de Mendel les ha quedado. El resultado final se recoge en una tabla de datos (como la que aparece a continuación) que se dibuja en la pizarra.

GRUPO	CARÁCTER	FACTORES	CONCLUSIONES

El profesor debe resaltar, de nuevo, cuáles han sido los pasos seguidos en la resolución del problema, y qué fallos se han ido detectando en la misma.

A₄ - LA TEORÍA CROMOSÓMICA DE LA HERENCIA

ORIENTACIONES PARA EL PROFESORADO

El **objetivo** de esta actividad es *continuar el desarrollo histórico de la evolución de los conocimientos científicos en el campo de la Genética*. Este desarrollo histórico recoge los avances, en la elaboración de una teoría sobre la herencia, hasta la mitad del siglo XX, sin entrar en los descubrimientos de la estructura del ADN. Los **conceptos** que se introducen en esta actividad son: ácido nucleico, nucleótido cromosoma, ADN, bases químicas (A, G, C, T) núcleo celular, gen, genes ligados, cromosomas homólogos, diploide, alelo, mitosis y meiosis.

El **material** utilizado tiene que ser básicamente de tipo visual. Por ejemplo, se pueden utilizar las imágenes de cromosomas y de la molécula de ADN, que aparecen en el libro de texto, e imágenes de vídeo donde se observen los cromosomas y los procesos de reparto de cromosomas en la división celular, e, incluso, la forma en que se obtiene el cariotipo humano. Se recomienda que, del vídeo elegido, sólo se usen unos pocos minutos sobre los procesos que nos interesa que los estudiantes visualicen, sin incluir información extra.

La **organización del trabajo** de aula consiste en una exposición teórica por parte del profesor a todos los alumnos. La participación de los alumnos se centra en preguntar dudas, y generar interrogantes.

El **desarrollo de la actividad** se realiza a lo largo de una sesión de clase. La exposición teórica comienza retomando los trabajos de Mendel para pasar a desarrollar los conocimientos que se generan en las primeras décadas del siglo XX.

A continuación, se recoge el contenido de la exposición. La sinopsis está redactada de manera muy formal porque es un material de trabajo para el profesor. Sin embargo, el lenguaje en el aula tiene que ser más ameno. La mayoría de los nombres de los investigadores, se nombran como curiosidad y, no con la intención de que los

estudiantes los memoricen, sino de que comprendan que la construcción del conocimiento científico es tarea de muchos.

La labor experimental de Mendel, y sus conclusiones teóricas, no fueron entendidas por sus contemporáneos y permanecieron olvidadas hasta que 30 años después, en 1900, tres investigadores que trabajaban independientemente las 'redescubrieron' de forma simultánea. Estos autores, **de Vries** en Holanda, **Correns** en Alemania y **von Tschermak** en Austria, pudieron apreciar el valor de estas investigaciones porque se habían producido nuevos descubrimientos científicos relacionados con la Genética. El suizo **Friedrich Miescher**, mientras Mendel realizaba sus descubrimientos, descubrió el **ácido nucleico**. En 1868, usando pepsina para romper las células, aisló una sustancia diferente de los demás componentes de la célula. Llamó a esta sustancia *nucleína* y demostró que era insoluble en ácido, soluble en álcali, contenía fósforo y se encontraba en otras células, especialmente esperma de salmón.

A finales del siglo XIX y principios del XX se realizan nuevos hallazgos, asociados a los estudios citológicos. **Kossel y Levene** (alemán y norteamericano) establecieron que esta molécula gigante estaba formada por series de unidades más simples que formaban una larga cadena. Cada unidad, o **nucleótido**, incluía un azúcar, un ácido fosfórico y una base nitrogenada (adenina, guanina, citosina y timina). Las bases se unían a los ácidos fosfóricos a través del azúcar de cinco carbonos. Los alemanes **Strasburger** y **Flemming**, botánico y zoólogo respectivamente, estudiaron la división celular y descubrieron los **chromosomas**. Van Beneden, un citólogo belga advierte que el número cromosómico era constante en las diferentes células del organismo y constituía una característica de las especies. También advirtió que óvulos y espermatozoides tenían la mitad del número de cromosomas propio de la especie.

Todos estos conocimientos arrojaron el redescubrimiento de las leyes de Mendel. En 1902 **Sutton** lanzó la idea de que los cromosomas podrían ser los portadores materiales de los caracteres hereditarios de Mendel, y que cada cromosoma debía contener una gran cantidad de caracteres. **Johannsen** definió el concepto **gen** y Bateson en 1909 el de Genética. Una de las mayores aportaciones a la Genética la realizó **Thomas Morgan** y su equipo con el estudio de la mosca del vinagre, la *Drosophila melanogaster*. Los estudios genéticos de los cuatro pares de cromosomas de esta mosca permitieron afianzar lo que hoy se conoce como *Teoría cromosómica de la herencia*. Esta teoría postula que los genes se encuentran en los cromosomas, dispuestos linealmente, uno a continuación de otros. Los genes dispuestos en un mismo cromosoma se heredan juntos y se llaman **genes ligados**. Los seres vivos **diploides** presentan dos copias de cada cromosoma o **cromosomas homólogos** y por lo tanto dos copias de cada gen. Las distintas variaciones de un mismo gen se denominan **alelos**.

Se podrían resumir todos estos nuevos conocimientos y conceptos de la siguiente forma: "las células contienen en su núcleo cromosomas; formados por unidades de información o genes; que, a su vez, están formados por **ADN**; una molécula en la que cuatro bases químicas (A, G, C, T) se disponen linealmente creando el código cifrado en el que consiste nuestra información genética". En el caso de la especie humana, las células contienen 46 cromosomas o 23 pares de cromosomas homólogos (23 de cada uno de nuestros padres).

También, podemos ahora entender el por qué de las leyes de Mendel. Los caracteres de Mendel son los genes, y tenía que haber dos factores o alelos porque de cada gen tenemos dos copias, uno en cada cromosoma homólogo.

Esta explicación del desarrollo histórico de la Genética se debe completar con la explicación de los procesos de mitosis y meiosis. De estos procesos de división celular sólo se tiene que incidir en el punto de partida (número de cromosomas de la célula madre) y el punto final (número de cromosomas de las células hijas) sin entrar en ninguna de sus fases. Lo importante es comprender que, en la división mitótica, se obtienen dos células idénticas con el mismo número de cromosomas que la célula madre y se produce en todos los procesos de división celular. Y que, en la división meiótica, se obtienen cuatro células con la mitad de cromosomas que la célula madre (un ejemplar de cada par de cromosomas homólogos) y se produce en la formación de los gametos.

También, se debe acompañar de dibujos en la pizarra, o en papel, donde cada par de cromosomas homólogos se pintará de un color y se les nombrará con números y letras (1a y 1b; 2a y 2b; etc.) para diferenciarlos y ver cómo se distribuyen en las células hijas. Se puede simplificar el proceso de la división celular en humanos trabajando sólo con dos o tres pares de cromosomas.

<p style="text-align: center;">A₅ - P₁ - ¿ CÓMO SE HEREDA UN CARÁCTER RELACIONADO CON EL PELO?</p>

ORIENTACIONES PARA EL PROFESORADO

El **objetivo** de esta actividad es, volver sobre el primer problema, para que los estudiantes lo resuelvan desde la *perspectiva de la teoría cromosómica de la herencia*. Esta actividad permite a los estudiantes, además de resolver el mismo problema utilizando un bagaje de conceptos más amplio (cromosomas, cromátidas, gen, alelo, meiosis, genotipo, fenotipo, dominante, recesivo), *valorar la creatividad y capacidad de análisis que tuvo Mendel para llegar a sus leyes, sin poseer estos conocimientos*.

El **material** necesario, para la realización de esta actividad, es lápiz, papel y los mapas genealógicos realizados para el problema inicial.

La **organización del trabajo** en el aula, tanto para los estudiantes como para el profesor, sigue las mismas pautas indicadas en la resolución de problemas abiertos.

El **desarrollo de la actividad** se realiza en una sesión. Los datos que se necesitan en la resolución de este problema ya se tienen del trabajo en la actividad 3. En el caso de que, algunos grupos, realizasen de forma incorrecta o insuficiente la investigación del carácter en su familia, en días previos a esta nueva resolución del problema, deben haber recogido toda la información que necesitan. Cada grupo de investigación resuelve de nuevo el problema a partir de su conocimientos, que se encuentran dentro de una teoría sobre el proceso de la herencia. De forma que, ahora, interpretan los mapas genealógicos como mapas de fenotipos, y determinan los genotipos de cada uno de sus familiares, identificando cuál es el alelo dominante y cuál el recesivo. Al final del trabajo, los estudiantes deben contrastar sus resultados con los de la primera resolución; y, cada grupo resumir sus conclusiones al resto de la clase.

ORIENTACIONES PARA EL PROFESORADO

El **objetivo** de esta actividad es *reforzar los contenidos* hasta ahora introducidos. Los estudiantes van a realizar un *juego de simulación* donde, a partir de la creación de su propio cariotipo, pueden estudiar la transmisión de unos determinados caracteres a lo largo de tres generaciones. Los **conceptos**, que utilizan de una forma muy funcional y significativa, son: cromosoma, cromosoma homólogo, gen, alelo, genotipo, fenotipo, dominancia, recesividad, duplicación del material genético, cromátidas hermanas, reparto de cromosomas en el proceso de meiosis, nuevas agrupaciones de cromosomas y genotipos por combinaciones obtenidas por azar. En la actividad se incluye información sobre algunos genes humanos que no siguen una herencia mendeliana. Algunos de estos caracteres siguen herencias de tipo intermedia, codominancia, multialélica y multigénica. Estos nuevos datos no se van a utilizar ahora; aunque, es posible que los estudiantes planteen interrogantes que se deban responder dentro de esta actividad. En principio, estos datos sirven de base a futuras resoluciones de problemas de herencia no mendeliana.

Por otra parte, con esta actividad *se demuestra, de forma visual, que el porcentaje de cromosomas heredados de los padres es la mitad, y el porcentaje de cromosomas heredados de los abuelos puede variar*. Una idea que suelen tener los estudiantes es, que si el 50% de los cromosomas es de cada uno de nuestros padres, el 25% es de cada uno de nuestros abuelos, etc.

El **material** que se utiliza es una traducción de una actividad de Sharon Zupo “*Karyotypes and inheritance of chromosomes*” (1992) recogida en la página de Internet, www.woodrow.org que edita The Woodrow Wilson National Leadership Program in Biology. La actividad sólo ha sido modificada en la eliminación de algunos objetivos y preguntas finales que no se corresponden con los objetivos de nuestra actividad; y en la creación de un cariotipo, donde los cromosomas aparecen con sólo una cromátida, para evitar la creencia de los estudiantes de que cada cromátida hermana es un cromosoma homólogo. Los alumnos, para la correcta realización de la actividad, reciben el guión de

la misma que contiene los pasos a seguir; una hoja con los caracteres del genoma humano con los que se va trabajar, una hoja con preguntas; una hoja por alumno con los cromosomas del óvulo y espermatozoide de sus padres (su cariotipo). Por su parte, los estudiantes deben tener lapiceros de colores, tijeras, pegamento, y una moneda.

La **organización del trabajo** en el aula es por parejas. Se debe procurar que la mayoría sean mixtas puesto que van a tener que crear un cariotipo masculino y otro femenino para tener descendencia. Los estudiantes tienen que ir siguiendo las instrucciones del guión y, el profesor debe ayudar a subsanar las dudas que surjan.

El **desarrollo de la actividad** necesita dos sesiones. En la primera sesión, se forman las parejas, se reparten las hojas de cromosomas, el guión y la hoja con el genoma humano. El profesor explica los objetivos de la actividad, los conceptos que se van a manejar (como recordatorio de la Actividad 4) y la forma en que se va a llevar a cabo el trabajo dentro y fuera del aula. Con la moneda cada alumno elige qué alelo debe llevar cada uno de los genes de los cromosomas que hereda por vía paterna y materna (cara dominante y cruz recesivo). Junta los cromosomas homólogos, identificando por colores los que proceden de su padre y de su madre. De esta forma, cada estudiante obtiene su cariotipo. Los componentes de cada pareja tienen que crear sus gametos, óvulos o espermatozoides. Tirando la moneda determinan si el gameto contiene el cromosoma de la abuela (cara) o del abuelo (cruz). La unión de los cromosomas del óvulo y del espermatozoide de cada pareja forma el cariotipo del futuro bebé. La terminación de alguno de estos pasos puede realizarse fuera del aula.

En la segunda sesión, a partir del cariotipo del bebé, se determina el genotipo y fenotipo del mismo para cada uno de los genes recogidos en la hoja del genoma. Por supuesto, también se determina el sexo del bebé. Cada pareja hace un recuento del número de cromosomas que “su hijo” ha heredado de la abuela materna, del abuelo materno, de la abuela paterna y del abuelo paterno.

Esta información se pasa a una tabla, como la que se recoge a continuación, dibujada en la pizarra para que todas las parejas puedan ver como varían estos valores.

bebés	% abuela materna	% abuelo materno	% abuela paterna	% abuelo paterno	Sexo	Otros caracteres
1						
2						
3						
...						

Al final de la sesión, cada pareja contesta a las cuestiones, relativas a la distribución de la información hereditaria de generación en generación, que tienen recogidas en una de las hojas que se les ha entregado. Las dudas que sean generales se resuelven entre todos.

MATERIAL DE TRABAJO

CARIOTIPOS Y HERENCIA DE CROMOSOMAS

Objetivos:

- Demostrar, visualmente, el concepto de que se heredan cromosomas y no genes individuales.
- Familiarizarse con el proceso de localizar genes.
- Comprender el concepto de cromosomas homólogos.
- Aumentar la comprensión del uso de cariotipos y su análisis.
- Introducción de los siguientes conceptos genéticos: dominancia, recesividad, homocigótico, heterocigótico, genotipo, fenotipo, herencia poligénica, herencia ligada al sexo, probabilidad, loci, cariotipo, y las leyes de Mendel de la segregación y de la combinación independiente.
- Comprender la relación entre genes y cromosomas y los fenotipos resultantes.

Temporalización: 2 periodos de clase. Algunas actividades pueden ser completadas en casa.

Materiales: hojas con los cromosomas de óvulo y espermatozoide, hoja del genoma humano, papel para el cariotipo, tijeras, pegamento, lapiceros de colores, bolígrafos, 1 moneda.

Guión de trabajo:

1. Tienes una hoja que corresponde a los cromosomas del óvulo de tu madre y del espermatozoide de tu padre, que constituyen tu cariotipo. Usa un lapicero de color diferente para diferenciar los cromosomas maternos y paternos. Recuerda, que los varones presentan un cromosoma X de su madre y uno Y de su padre; y las mujeres dos cromosomas X, uno de cada padre.
2. Tira una moneda (cara es rasgo dominante, cruz recesivo), para determinar el gen que porta cada uno de los cromosomas paternos. Usa la hoja del Genoma Humano para determinar los rasgos o caracteres obtenidos. Después de cada lanzamiento de moneda, escribe el alelo encima de cada uno de los cromosomas paternos. Cuando completes los de ambos padres, tu genotipo será la combinación de cada par de cromosomas, y tu fenotipo el carácter que manifiestes según la relación de dominancia-recesividad.
3. Encuentra una pareja para tener un hijo. Asegúrate que esta persona ha usado diferentes colores para sus padres. La nueva generación será una mezcla de vuestros cromosomas. Cada uno de vosotros debe tirar una moneda para determinar cuál de los cromosomas paternos pasará a su gameto (óvulo o espermatozoide). Por ejemplo, cara será el cromosoma de tu madre y cruz el de tu padre. De cada pareja de cromosomas sólo puede pasar uno al gameto, el del padre o el de la madre. Tira la moneda 23 veces haciendo una marca en el cromosoma indicado por la moneda (tu pareja hará lo mismo). Recorta estos cromosomas, conservando el color abajo y el genotipo arriba. Pega los pares de cromosomas juntos en una hoja, empezando por el primer cromosoma y terminando con los cromosomas sexuales (X X si es niña o XY si es niño).
4. Determina el genotipo entero de vuestro hijo usando la hoja del Genoma Humano. Haz una lista empezando con el primer juego de cromosomas.
5. Determina el fenotipo entero de vuestro hijo, describiendo todos los rasgos desde el primer juego de cromosomas.
6. Cuenta el número de cromosomas que vuestro hijo ha heredado de la abuela materna, el abuelo materno, la abuela paterna, y el abuelo paterno. Calcula el porcentaje total de cromosomas heredados por cada abuelo.

GENOMA HUMANO

CROMOSOMA	GEN	LOCALIZACIÓN	COMENTARIO
1	<u>Factor Rh</u> Rh+, Rh-	1p36 Rh- Recesivo	85% de los fenotipos son Rh+
2	<u>Ehler-Danlos</u> E = afectado e = no afectado	2q31 Dominante	Piel frágil, y muy flexible 1/150000
3* (con el 6)	<u>Acné (2 locus)</u> N = acné activo n = inactivo	En cualquier lugar Herencia intermedia	NNNN = severo NNNn = moderado NNnn = leve Nnnn = muy leve nnnn = nada
4	<u>Enf. de Huntington</u> H = Huntington h = inactivo	4p16 Dominante	Degeneración neurológica a partir de los 40 años 1/20000
6* (con el 3)	<u>Acné (2 locus)</u> N = acné activo n = inactivo <u>Diabetes melitus</u> D = normal d = afectado	En cualquier lugar Herencia intermedia 6p21 Recesiva	 Enf. hormonal Insulino dependiente
7	<u>Fibrosis cística</u> C = normal c = fibrosis cística	7q31 Recesiva	Mucosidad en diversos órganos. 1/20 blancos portadores
9	<u>Grupos sanguíneos ABO</u> IA, IB, i <u>Galactosemia</u> G = normal g = galactosemia	9q34 Herencia dominante y codominante 9p13 Recesiva	IA IA ó IA i = A IB IB ó IB i = B IA IB = AB i i = O Falta de una enzima
10*	<u>Tamaño dedo índice</u> P = pequeño P' = largo	En cualquier lugar Herencia influida por el sexo	Dominante en machos: PP y PP' = pequeño P'P' = largo Recesiva en mujeres: PP = pequeño PP' y P'P' = largo
11	<u>Anemia falciforme (Glóbulos rojos en forma de hoz)</u> HbA = normal HbS = falciforme	11p15 Recesiva	Molécula de Hemoglobina modificada. HbA HbS = mitad de los g. rojos falciformes HbS HbS = anemia
12	<u>Fenilcetonuria</u> F = normal f = afectado	12p24 Recesiva	Pruebas en el recién nacido
13* (Ver 14,16 y 18)	<u>Altura</u> A = activo a = inactivo		
14*	<u>Altura</u> B = activo b = inactivo		
15	<u>Tay Sachs</u> T = normal t = afectado	15q23 Recesiva	Fallos en el metabolismo de grasas, muerte en los 2 primeros años.

16*	<u>Altura</u> C = activo c = inactivo		
17	<u>Marfans</u> M = Marfans m = normal <u>Neurofibromatosis</u> N = normal n = afectado	17q21 Dominante 17q11 Recesiva	20000 afectados en USA, 15% nueva mutación Hombre elefante
18*	<u>Altura</u> D = activo d = inactivo <u>Síndrome de Tourette</u> T = normal t = afectado	18q22 Recesiva	
19	<u>Hipercolesterolemia familiar</u> H = afectado h = normal	19p16 Dominante	Niveles de colesterol de 300-500
X	<u>Daltonismo</u> XN = normal Xd = daltonismo <u>Hemofilia</u> XN = normal Xh = hemofilia <u>Síndrome Frágil X</u> XN = normal Xf = retraso <u>Factor determinante de sexo</u>	Xq28 Recesiva, ligada al sexo Xq28 Recesiva, ligada al sexo Xq Recesiva, ligada al sexo	Ceguera del color 8% de varones caucásicos Los varones padecen la enfermedad, las mujeres portadoras. Retraso mental, 80% en varones Desarrollo de aparato reproductor femenino
Y	<u>Ictiosis</u> <u>Factor determinante de sexo</u>		Pilosidad dura y escamas en la piel Desarrollo de aparato reproductor masculino

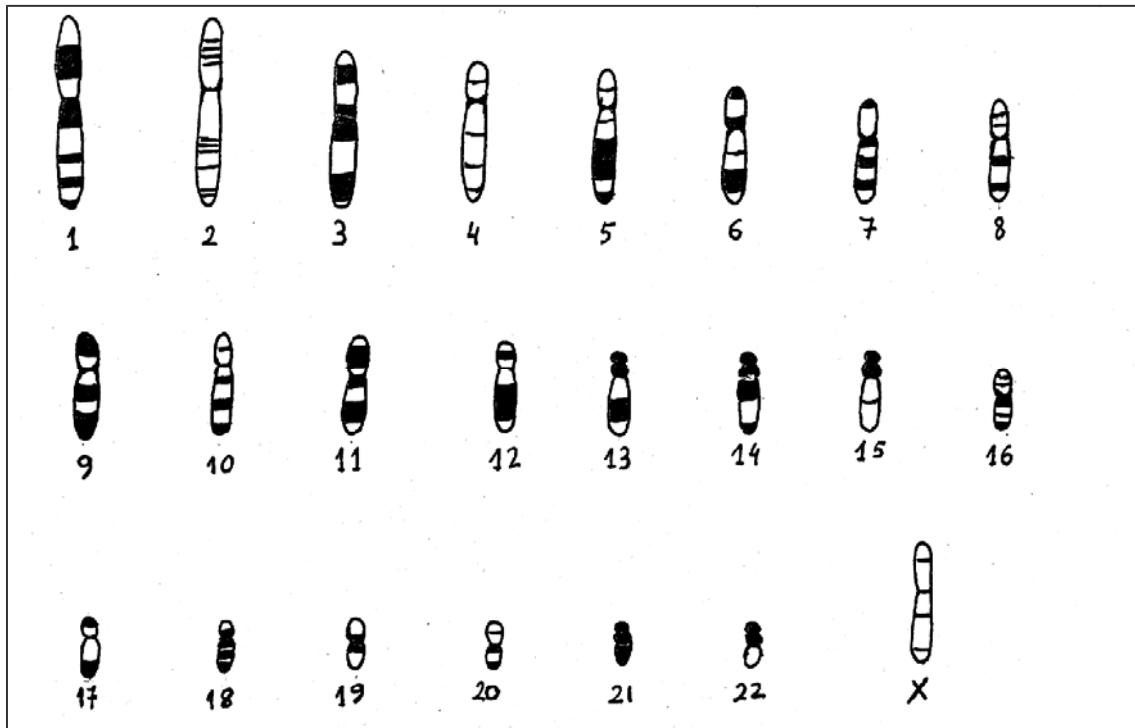
* Hipotético

CUESTIONARIO

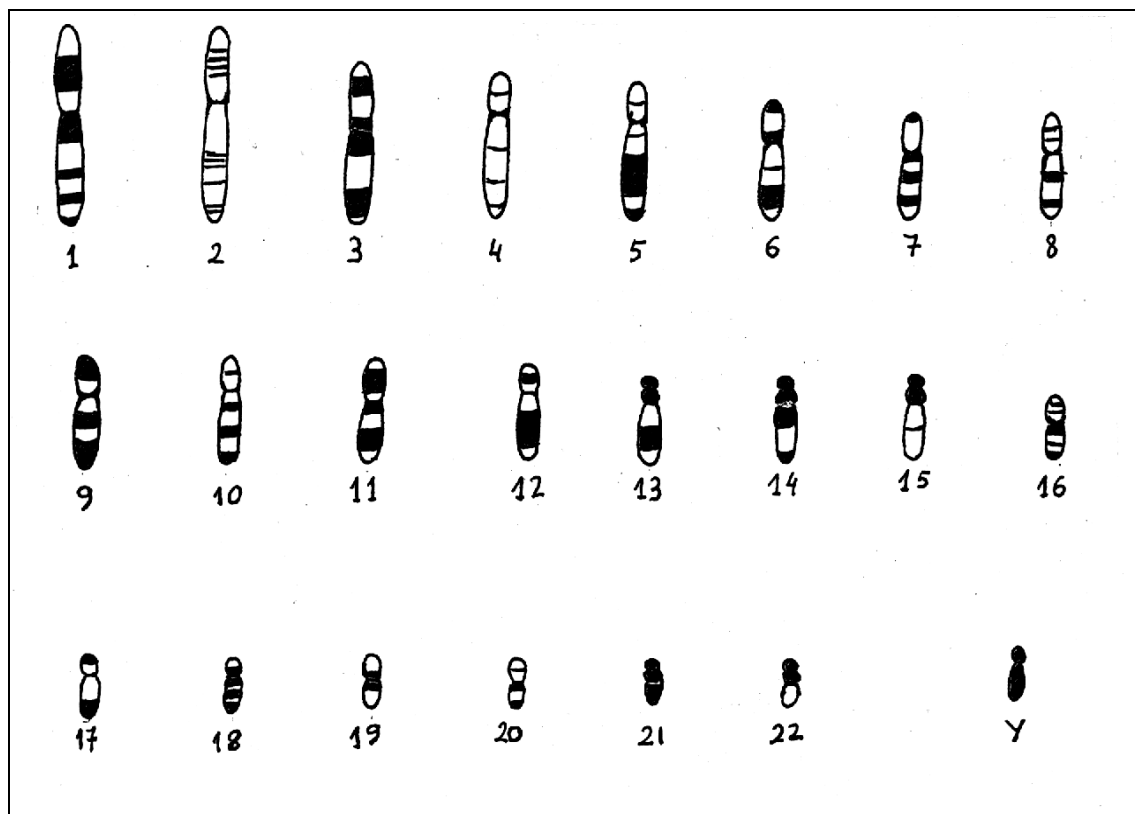
1. ¿Cuál es el significado de usar una moneda en este ejercicio?
2. Pon un ejemplo que ilustre la diferencia entre genotipo y fenotipo. ¿Qué otro factor o factores pueden afectar a la expresión fenotípica?
3. Pon un ejemplo que ilustre la diferencia en el fenotipo entre dominancia completa o incompleta.
4. ¿Cuál es la diferencia en la herencia cuando dos genes están en diferentes cromosomas, frente a cuando se encuentran en el mismo?.
5. Explica como es posible que una persona pueda estar genéticamente no relacionada con uno de sus abuelos biológicos.
6. ¿Cuáles son vuestras ideas sobre la probabilidad de herencia entre dos genes para la ceguera del color (daltonismo) y la hemofilia, frente a la probabilidad de herencia de los genes para neurofibromatosis e hipercolesterolemia familiar?
7. ¿Qué ejemplos ilustran la herencia poligénica?

VARÓN

ÓVULO

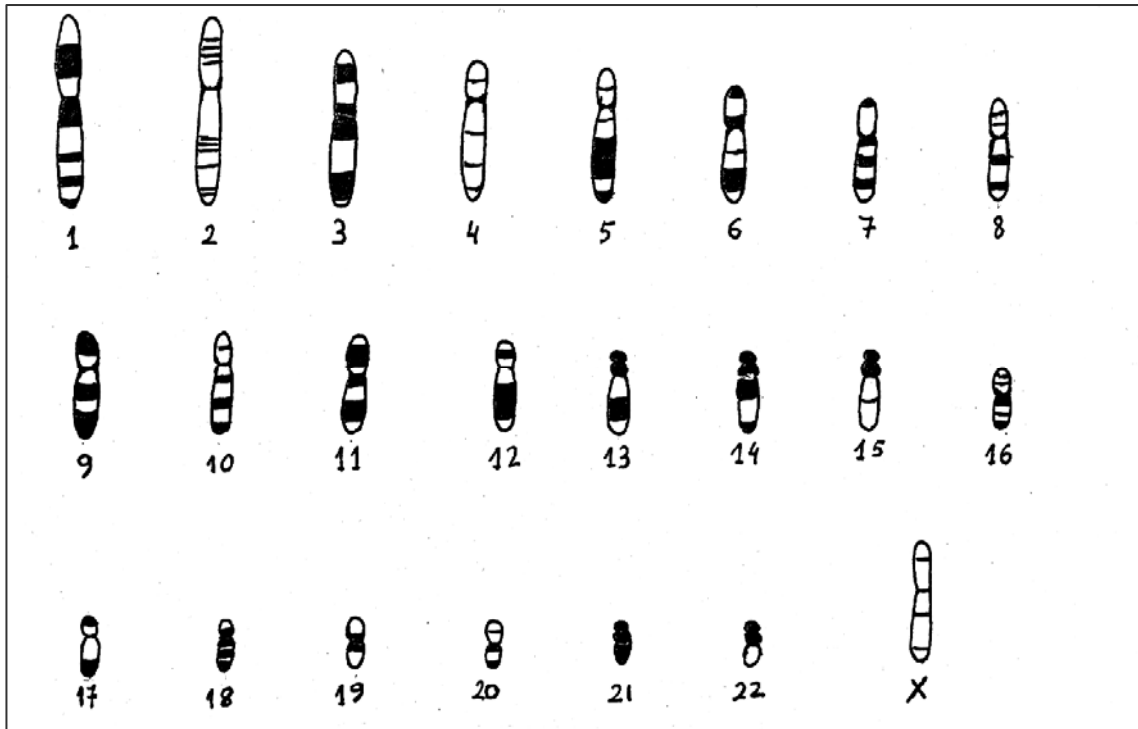


ESPERMATOZOIDE

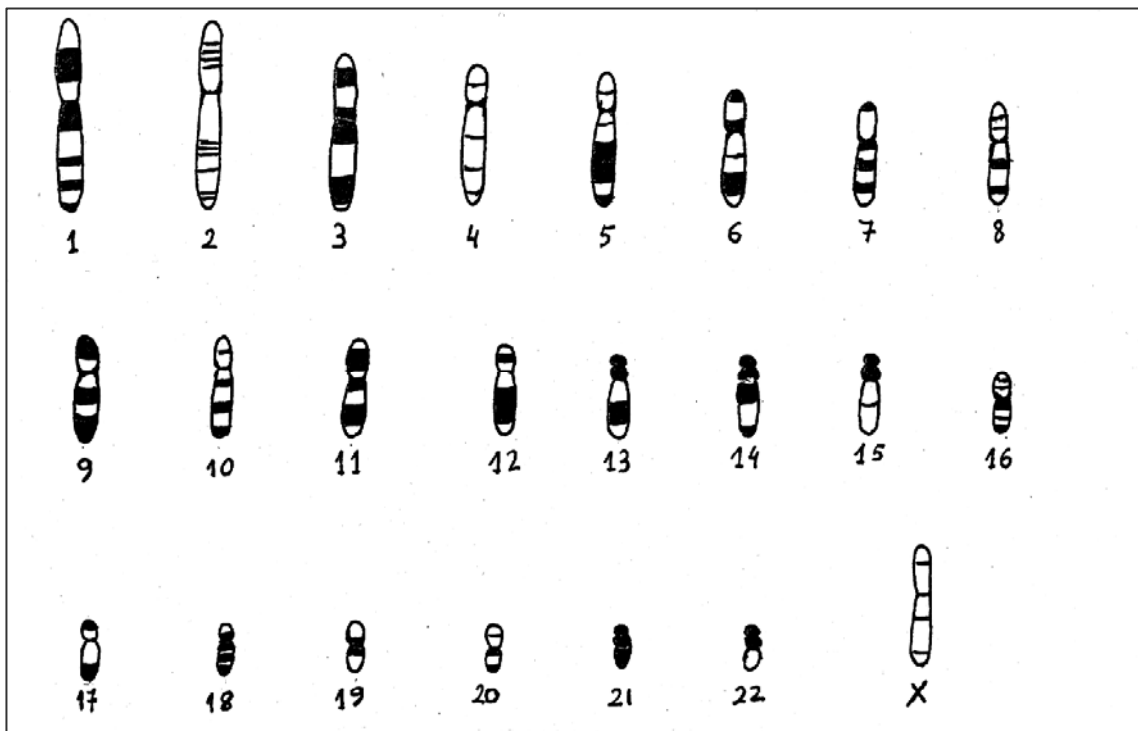


MUJER

ÓVULO



ESPERMATOZOIDE



**A₇ - P₂ - ¿QUÉ OCURRIRÍA SI UN CARÁCTER NO FUESE NI DOMINANTE
NI RECESIVO?**

ORIENTACIONES PARA EL PROFESORADO

El **objetivo** de este segundo problema es el de saltar de un modelo de herencia mendeliana a un *modelo de herencia que no siga las leyes de Mendel*. En la actividad anterior aparecen caracteres que presentan otros tipos de herencia como el acné, los grupos sanguíneos ABO y la estatura. E, incluso, es posible que en la resolución del primer problema algún grupo encontrase dificultades a la hora de explicar la herencia del carácter que estudiaban porque no seguía las leyes de Mendel. Dentro de la herencia no mendeliana, éste es el caso más sencillo de resolver. A partir de este problema se pueden plantear otros que aborden distintos tipos de herencia no mendeliana.

El **material** que se necesita para realizar esta actividad es lápiz y papel, y la hoja del genoma humano.

La **organización del trabajo** en el aula es la misma que se ha seguido en la resolución de problemas anteriores; incluido el papel que van a tener los alumnos y el profesor.

El **desarrollo de la actividad** precisa de una sesión. Al inicio de la misma, es conveniente realizar una pequeña introducción teórica:

Las condiciones que cumplían los caracteres que estudió Mendel en la planta del guisante fueron las siguientes: genes no ligados, con dominancia simple, cada carácter determinado por un solo gen. Cualquier carácter que no cumpla esas condiciones presentará una herencia diferente: herencia intermedia, codominancia, genes con más de dos alelos posibles, caracteres determinados por más de un gen, genes ligados, genes localizados en los cromosomas sexuales, genes que controlan la expresión de otros genes. En los siguientes problemas, sólo vamos a estudiar los casos más sencillos.

Tras esta pequeña aclaración los estudiantes pueden iniciar la resolución del problema. Al final de la resolución se ponen en común las diversas hipótesis de trabajo (codominancia, herencia intermedia) y las resoluciones llevadas a cabo.

**A₈ – P₃ – LA HERENCIA DE LOS GRUPOS SANGUÍNEOS A, B, AB Y O, ERA
UTILIZADA COMO PRUEBA PARA DETERMINAR LA POSIBLE
PATERNIDAD DE LOS PADRES DE UN BEBÉ.
¿PODRÍAS CONOCER EL GRUPO SANGUÍNEO DE UN HIJO TUYO?**

ORIENTACIONES PARA EL PROFESORADO

El **objetivo** de este problema es plantear un *caso concreto de codominancia* o herencia no mendeliana. El problema se complica porque, en vez de trabajar con una pareja de alelos por cada gen, se debe trabajar con tres alelos. Los **conceptos** que se trabajan son, por lo tanto, codominancia y multialelismo. Este problema requiere que los alumnos vuelvan a realizar otro estudio genealógico en su familia para conocer su grupo sanguíneo.

Por otra parte, éste va a ser el primer problema que resuelvan fuera del aula. De esta forma empiezan a ser más independientes a la hora de realizar cada una de las fases de la resolución de problemas.

El **material** que se necesita para realizar esta actividad es lápiz y papel, la hoja del genoma humano, y los grupos sanguíneos de cada familia.

La **organización del trabajo** es responsabilidad de cada alumno, pudiendo pedir ayuda a compañeros, o buscar información en libros.

El **desarrollo de la actividad** se realiza fuera del aula, exceptuando la puesta en común de los resultados obtenidos, las dificultades encontradas, y las distintas formas de resolverlo.

<p style="text-align: center;">A₉ - P₄ ¿QUÉ OCURRIRÍA SI EL GEN PARA UN CARÁCTER SE LOCALIZASE EN LOS CROMOSOMAS SEXUALES?</p>

ORIENTACIONES PARA EL PROFESORADO

El **objetivo** de este problema es plantear una nueva situación en la que las leyes Mendel no se cumplen. La importancia del estudio *de la herencia de los caracteres ligados al sexo* radica en que, a diferencia de los caracteres localizados en los otros 22 pares de cromosomas, no se transmiten con la misma probabilidad a varones y mujeres. Caracteres como la hemofilia, el daltonismo, el síndrome frágil X, etc., se localizan en el cromosoma X y, al ser recesivos, afectan en mayor porcentaje a varones. Caracteres como la ictiosis, se localiza en el cromosoma Y, y sólo afectan a varones.

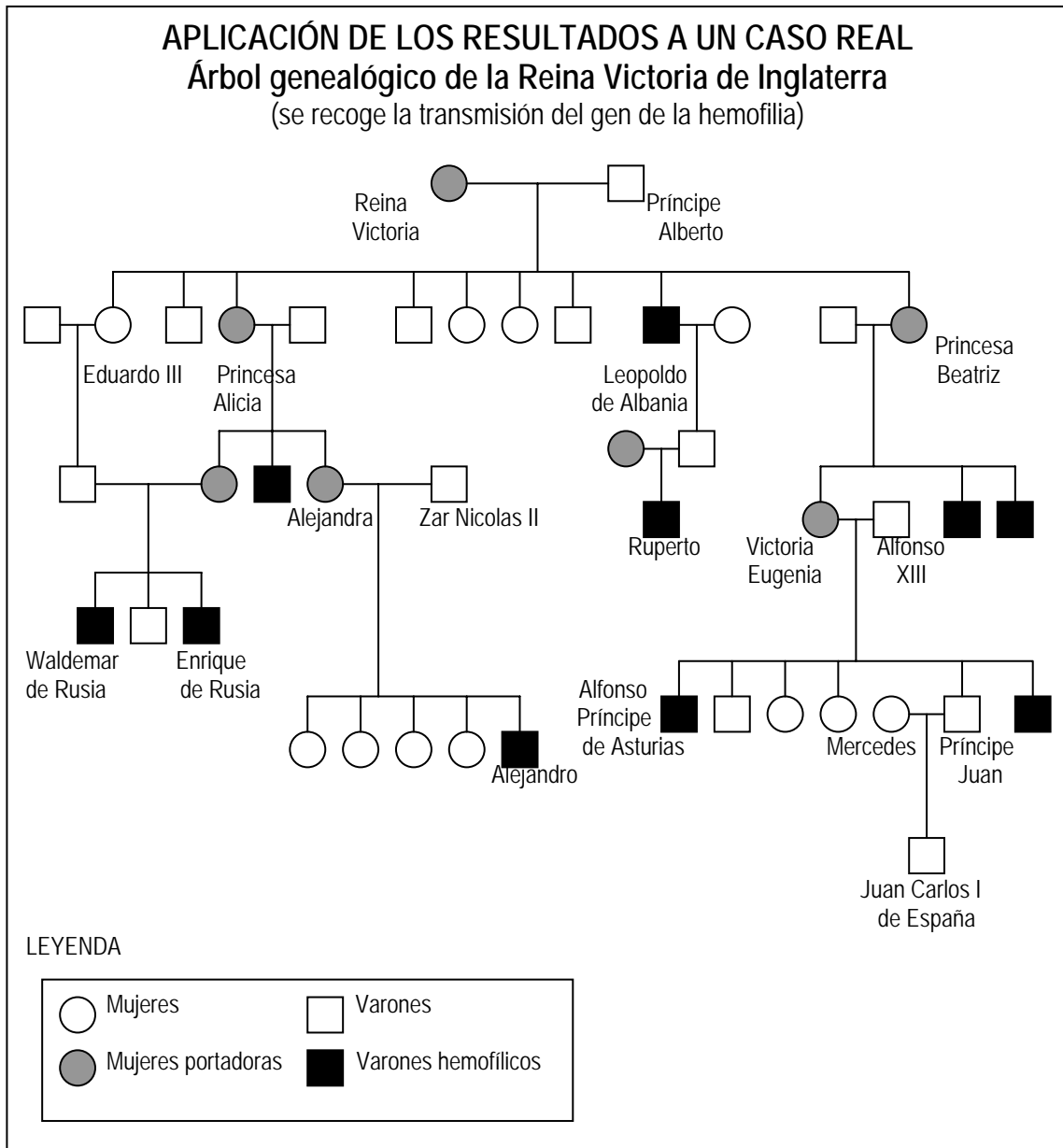
El **material** necesario para la realización de esta actividad es lápiz y papel, y la hoja del genoma humano. Al final de la resolución, se entrega el árbol genealógico de las familias reales europeas para el carácter de la hemofilia, para aplicar la resolución a un caso concreto. Este árbol genealógico aparece en diversos libros de Secundaria (Santillana 3º ESO 1995; Oxford 4º ESO, 1998; Edelvives 4º ESO, 1999).

La **organización del trabajo** en el aula no varía respecto a la seguida en la resolución de otros problemas.

El **desarrollo de esta actividad** se puede llevar a cabo en dos sesiones de clase. En la primera sesión, los alumnos se enfrentan a un problema más complejo que los anteriores porque, además de controlar la variable gen, deben localizar los alelos en unos cromosomas determinados. Los distintos grupos deben llegar a una solución, que sea una generalización de la herencia de cualquier carácter que aparezca en los cromosomas sexuales. El problema puede terminarse en casa si durante la sesión de clase no se ha podido completar su resolución. En la segunda sesión, los estudiantes ponen en común sus resultados, resaltando la diferencia entre la resolución del problema si el gen se localizase en el cromosoma X o Y. Una vez realizada esta exposición, el profesor aporta información sobre algunos caracteres que están ligados al sexo como la hemofilia y el daltonismo, ambos recesivos y localizados en el cromosoma X, o la

ictiosis localizado en el cromosoma Y. Al final de la segunda sesión, los estudiantes reciben el árbol genealógico, de la hemofilia en las casas reales europeas, para que identifiquen los genotipos de cada persona.

MATERIAL DE TRABAJO



<p>A₁₀ - P₅ - ¿QUÉ PASARÍA SI UN CARÁCTER ESTUVIERA DETERMINADO POR MÁS DE UN GEN?</p>

ORIENTACIONES PARA EL PROFESORADO

El principal **objetivo** de este problema es el *cálculo de combinaciones al azar* de los alelos de varios genes que controlan un mismo carácter. La dificultad de este problema está en el trabajo con las combinaciones de un mayor número de alelos pertenecientes a distintos genes. Otra finalidad del problema es hacer *ver la dificultad de interpretar un fenotipo y la herencia de un carácter cuando están involucrados más de un gen*.

El **material** necesario es lápiz y papel, y la hoja del genoma humano.

La **organización del trabajo** es responsabilidad de cada alumno, y como ya se ha indicado pueden pedir ayuda a compañeros, o buscar información en libros.

El **desarrollo de la actividad** se realiza fuera del aula, exceptuando la puesta en común de los resultados obtenidos, las dificultades encontradas, y las distintas formas de resolverlo. Una de las cuestiones que se puede plantear, tras la resolución del problema, es si los resultados hubieran sido los mismos si los genes están en el mismo o en distinto cromosoma. En este nivel, sólo nos interesan los casos de genes ligados en relación con los cromosomas sexuales. Los estudiantes pueden retomar el problema P₄ donde, todos los genes de los cromosomas sexuales, van ligados al sexo del individuo.

A₁₁ - EL DESCUBRIMIENTO DE LA ESTRUCTURA DEL ADN, DUPLICACIÓN, MUTACIÓN Y EL INICIO DE LA INGENIERÍA GENÉTICA

ORIENTACIONES PARA EL PROFESORADO

El objetivo de esta actividad es *terminar el desarrollo histórico de la evolución de los conocimientos científicos de la Genética*. Los **conceptos** que se van a introducir son: ADN, bases nitrogenadas, duplicación, transcripción, ARN, proteínas, mutación, ingeniería genética, enzima de restricción, terapia génica, seres vivos transgénicos.

El **material** necesario para la realización de la actividad es la pizarra, e imágenes de vídeo que permitan visualizar la estructura tridimensional del ADN y el proceso de duplicación. Se recomienda seguir las pautas de utilización del vídeo indicadas para la Actividad 4.

La **organización del trabajo** en el aula consiste en una exposición teórica a toda la clase por parte del profesor. Los estudiantes recogen información, que no siempre aparece en sus libros de texto, y plantean sus dudas.

El **desarrollo de la actividad** requiere de una sesión de clase. Una sinopsis de la exposición aparece recogida en el siguiente cuadro. Igual que en ocasiones anteriores este resumen está escrito como material de apoyo al profesorado. Los estudiantes sólo deben percibir que el conocimiento científico se genera a lo largo del tiempo y gracias a un gran número de aportaciones de índole muy variada.

A lo largo de la primera mitad del siglo XX los conocimientos sobre la Genética han ido avanzando en diversos frentes. Sin embargo se desconoce qué sustancia subyace en la transmisión de los caracteres hereditarios. La nucleína o cromatina presentaba en su composición proteínas y ácidos nucleicos. La casi totalidad de los biólogos de los años 30 y 40 pensaban que las proteínas eran las encargadas de llevar la información genética, porque presentaba numerosos aminoácidos que podían formar un número infinito de combinaciones diferentes. Sin embargo, ya en 1928 Griffith, un bacteriólogo inglés, demostró que ciertas características de bacterias virulentas muertas pasaban a otras cepas bacterianas inocuas. Este problema no se solucionó hasta que en 1944 Avery, un bioquímico norteamericano, asiló el principio transformador que no era una molécula proteica. La sustancia era el ácido desoxirribonucleico o ADN. A partir de esta fecha los esfuerzos para descubrir la estructura molecular del ADN fueron continuos. Chase y Hershey en 1952 con virus marcados radiactivamente demostraron que éstos sólo inyectaban su ADN en la célula que iban a parasitar. Se demuestra que la cantidad de ADN se mantiene constante dentro de una especie y que los gametos contienen la mitad de ADN. Los cromosomas por lo tanto estaban formados por proteínas y por ADN, siendo el ADN la molécula que formaba los genes. Se sabía que el

ADN estaba formado por unidades o nucleótidos que a su vez tenían un grupo ortofosfato, una **base nitrogenada**, y un azúcar. Las bases podían ser púricas (A-adenina y G-guanina) o pirimidínicas (C-citosina y T-timina). **Chargaff** y sus colaboradores entre 1949 y 1953 llegaron a establecer las siguientes leyes: la composición de bases del ADN varía de unas especies a otras; muestras de ADN de tejidos de una misma especie tienen la misma composición de bases; la composición de bases de una especie no cambia con la edad; en una muestra de ADN la cantidad de cada base cumple la relación $A \sqrt{T}$ y $G \sqrt{C}$; y el ADN de especies emparentadas presentaba semejanzas. Con todos estos datos, en 1953 **Watson** y **Crick** usando modelos tridimensionales, y gracias a las fotografías de difracción de rayos X del ADN realizadas por **Rosalind Franklin**, identificaron la estructura molecular del ADN. El ADN estaba formado por dos cadenas de nucleótidos que se enrollan en forma de doble hélice alrededor de un mismo eje, constituyendo una doble hélice. Las bases se localizan en el interior como los peldaños de una escalera, y las barras de la misma, exteriores, estaban constituidas por el grupo ortofosfato y el azúcar. El grupo ortofosfato es el nexo de unión entre los nucleótidos, y el azúcar (desoxirribosa) sujeta la base nitrogenada. Ambas cadenas son complementarias porque las bases del interior se unen con puentes de hidrógeno apareándose siempre A-T y G-C. Se complementan siempre una base púrica de gran tamaño con una pirimidínica de tamaño menor, consiguiendo una doble hélice de un grosor constante. En el descubrimiento de la estructura del ADN es importante resaltar la importancia del uso de modelos, la creatividad a la hora de imaginar una estructura tridimensional, y el papel de la mujer en la ciencia, aunque R. Franklin no recibió el premio Nobel junto a Watson y Crick debido a su temprana muerte.

A partir de la estructura del ADN es fácil entender cómo se almacena la información genética; es un **código cifrado de cuatro letras** (A, G, C, T) capaz de crear infinitos mensajes en sus posibles combinaciones de miles y miles de bases que contiene un gen. También, es fácil entender el mecanismo de **duplicación** del material genético porque cada cadena de ADN crea una cadena complementaria como molde de sí misma. Es algo parecido al positivo y negativo en el proceso de revelado de una foto.

La forma en que el ADN pasa su información a la célula es a través del **ARN**, una molécula similar pero de sólo una cadena que es una copia de una de las dos cadenas del ADN y se forma por un proceso llamado transcripción. El ARN pasa del núcleo al citoplasma y, permite que la secuencia de bases sea descodificada. Cada combinación posible de tres bases codifica para un aminoácido; y la unión de una determinada secuencia de aminoácidos forma una **proteína** con una función específica. Toda esta actividad es el fenotipo de una persona, tanto en sus características morfológicas como fisiológicas.

La información genética de una persona puede sufrir cambios de forma natural cuando se producen errores en el proceso de duplicación del ADN. Si estos cambios se producen en los gametos se pueden heredar. Estos cambios en el material genético se llaman **mutaciones** y, ya se conocía su existencia desde 1901 por de Vries. Las mutaciones, generalmente, no provocan ningún cambio importante, a veces son letales y otras pueden ser el origen de la aparición de nuevos caracteres que permitan la adaptación de los seres vivos al medio. Las mutaciones aumentan ante la presencia de agentes mutágenos como ciertas sustancias químicas (gas mostaza, pesticidas, etc.) y radiaciones (UV, rayos X, gamma, etc.).

Las mutaciones pueden afectar a un gen y se denominan **mutaciones génicas**. Numerosas enfermedades genéticas se deben a cambios en el ADN de un gen: hemofilia, fibrosis quística, anemia falciforme, corea de Huntington, Alzheimer. Las **mutaciones cromosómicas** afectan a la estructura o número de los cromosomas: el síndrome de Down es una trisomía del cromosoma 21; el síndrome de Klinefelter o XXY; el síndrome de Turner o XO; el síndrome del duplo Y o XYY.

A partir de los años 70, con el descubrimiento de las **enzimas de restricción**, moléculas o tijeras bioquímicas capaces de cortar el ADN en determinados lugares, se inicia la **Ingeniería Genética**. En las últimas décadas se han desarrollado técnicas que permiten cortar genes procedentes de una especie e, insertarlos en el material genético de otros individuos de la misma especie o no. Estas técnicas se están intentando aplicar en **terapia génica**, que consiste en sustituir genes erróneos por genes correctos. Cuando se introducen en un ser vivo genes procedentes de otras especies, entonces se habla de **seres vivos transgénicos**. Existen bacterias capaces de crear insulina humana, ovejas que producen antibióticos, plantas con genes, que producen sustancias tóxicas, que impiden sean parasitadas, y cerdos con genes humanos que se podrían utilizar para el trasplante de órganos. El trasplante de órganos entre especies distintas se denomina xenotrasplante.

ORIENTACIONES PARA EL PROFESORADO

El **objetivo** de este problema es que los alumnos empiecen a utilizar toda la información de la que ya disponen para poder explicar por qué surgen, en algún individuo de una familia, caracteres que antes no existían o no eran evidentes. Se plantea una cuestión que incide en una de las concepciones previas de los estudiantes: los nuevos caracteres surgen por necesidades del organismo, o por la influencia del medio ambiente. *La resolución del problema necesita explicaciones basadas en los conocimientos científicos y, sus ideas alternativas no son lo suficientemente coherentes como para que puedan ser utilizadas con éxito.*

El **material** necesario para la realización de la actividad es lápiz y papel. Se puede utilizar también el libro de texto o la hoja del genoma humano para recabar más información.

La **organización del trabajo** en el aula sigue la pauta utilizada en la resolución de otros problemas.

El **desarrollo de la actividad** necesita de una sesión de clase. Los distintos grupos de trabajo pueden trabajar con distintas hipótesis en la resolución del problema: caracteres recesivos, mutaciones, caracteres que se manifiestan de distinta forma según diversos factores. Una vez terminada la resolución se discuten, una a una, las hipótesis de partida y, en caso, de que alguna no hubiese sido tomada en cuenta, el profesor debe ser quien la haga presente.

A₁₃ - P₇ - LA CALVICIE ES UN ASUNTO QUE PREOCUPA MÁS A HOMBRES QUE A MUJERES. ¿POR QUÉ CREES QUE ESTE CARÁCTER APARECE PRINCIPALMENTE EN VARONES?

ORIENTACIONES PARA EL PROFESORADO

El **objetivo** de este problema es seguir trabajando caracteres humanos que no siguen un modelo de herencia mendeliana, en este caso, la calvicie, que es recesivo en mujeres y dominante en varones por las diferencias hormonales en ambos sexos. Es un problema que va a permitir a los estudiantes reforzar lo trabajado en el problema P₆, porque es un carácter que podría surgir de forma inesperada en una familia, sobre todo en la línea femenina; y el problema P₄, porque los alumnos pueden relacionar la calvicie con la herencia ligada al sexo. La discusión de estos supuestos puede resultar muy enriquecedora.

El **material** necesario es lápiz y papel, y, para los alumnos que opten por resolver el problema de la calvicie dentro de su familia, un árbol genealógico de la misma para el carácter calvicie.

La **organización del trabajo** sigue las mismas pautas que se han indicado en los problemas que se resuelven de forma individual.

El **desarrollo de la actividad** se realiza fuera del aula, exceptuando la puesta en común de los resultados obtenidos, las dificultades encontradas, y las distintas formas de resolverlo. Como es de esperar, la falta de conocimientos de los alumnos, sobre la influencia de factores ambientales, como las hormonas, en la manifestación de los genes, hace que el problema se resuelva a partir de hipótesis diversas. Por ejemplo si consideran que la calvicie femenina no existe, el problema pueden resolverlo como un gen ligado al cromosoma Y. O bien, si se localiza en el cromosoma X, y se define como recesivo, pueden comprobar que afecta más a hombres. Cualquiera de estas resoluciones que responden a sus hipótesis, aunque no se ajusten a la realidad, permiten introducir en la discusión de este problema cómo diversos equipos de investigación pueden llegar a resultados diferentes y, con dificultades de discernir entre ellos cuál es el más válido, mientras no se dispongan de más evidencias.

A₁₄ - P₈ - UN GRUPO DE PERSONAS DE PIEL BLANCA COLONIZÓ UNA REGIÓN DE ÁFRICA. UNA VEZ ESTABLECIDA SU COMUNIDAD, REALIZARON MATRIMONIOS ENTRE ELLOS. ¿CÓMO CREES QUE SERÁ LA PIEL DE LOS BEBÉS QUE NAZCAN DESPUÉS DE MUCHAS GENERACIONES?

ORIENTACIONES PARA EL PROFESORADO

El **objetivo** del siguiente problema es *provocar un conflicto entre las concepciones previas de los alumnos y las concepciones científicas*. El siguiente problema aborda una de las ideas más arraigadas en las creencias populares: la herencia de los caracteres adquiridos. Esta idea es la que surge cuando se dice que los piojos se acostumbran a los champús antiparasitarios; o que una persona que ejercite sus músculos tendrá hijos más fuertes; o que las personas al ponerse morenas con el Sol tendrán generaciones más morenas.

El **material** necesario para la realización de la actividad es lápiz y papel.

La **organización del trabajo** en el aula, tanto del profesor como de los estudiantes, es igual que en la resolución de otros problemas.

El **desarrollo de la actividad** requiere de una sesión de clase. Durante la primera mitad de la clase, los grupos deben resolver el problema. La segunda mitad, se dedica a la puesta en común de los resultados obtenidos. El profesor tiene que incidir en todo momento, apoyándose en todas las actividades realizadas hasta el momento, que sólo se hereda la información genética contenida en óvulos y espermatozoides, y que sólo las mutaciones que afecten al material genético de los gametos se podrán heredar. Por ejemplo no se hereda el nivel cultural, las aficiones, las arrugas, las heridas y mutilaciones. También, se deben plantear otros interrogantes como: “Si el alelo color de piel blanca es recesivo, ¿por qué la mayoría de los europeos son blancos?”

A₁₅ - P₉ - UNA PERSONA EXPUESTA AL SOL DESARROLLA CÁNCER DE PIEL, ¿SUS HIJOS TENDRÁN CÁNCER DE PIEL?

ORIENTACIONES PARA EL PROFESORADO

El **objetivo** de este problema es volver sobre la idea de *los caracteres adquiridos y su herencia*, ya trabajada, en parte, en el problema P₆ y, de forma específica en el P₈. Este problema se resuelve fuera del aula y se diferencia del anterior en que es evidente que se ha producido una mutación que genera el cáncer. Los estudiantes deben poner en juego sus conocimientos para determinar, si esa mutación se hereda o no, según el tipo de célula afectada.

El **material** necesario es lápiz y papel.

La **organización del trabajo** repite las pautas descritas para el trabajo individual de resolución de problemas.

El **desarrollo de la actividad**, igual que en todos los problemas que se resuelven fuera del aula, consiste en poner en común los resultados obtenidos, las dificultades encontradas, y las distintas formas de resolverlo. Algunos estudiantes pueden argumentar que, aunque el carácter se adquiere por una exposición a los rayos solares, debe haber una base genética de predisposición a padecer cáncer. Otros, que el carácter no existía y se ha generado por una mutación. Cualquier hipótesis de partida, que esté bien fundamentada y que sea diferente a la de otros, es una fuente de discusión sobre las ideas y conceptos que se están manejando en la resolución de este problema. El profesor tiene que utilizar estos resultados para volver a remarcar que sólo se hereda la información que recibimos de los gametos de nuestros padres y, que las mutaciones, para heredarse, tienen que haberse producido en ellos.

ORIENTACIONES PARA EL PROFESORADO

El **objetivo** de esta actividad es *recrear los procesos que se siguen a la hora de realizar un test genético*. Estas técnicas se utilizan para identificar determinados fragmentos del ADN de una persona. La utilización de la misma se realiza en campos como la criminología, la determinación de paternidades o la localización de genes erróneos en el genoma de una persona. En esta actividad se simula el proceso de determinación de paternidades, en un caso donde interviene una madre de alquiler y dos posibles padres. Los **conceptos** relativos a la ingeniería genética (enzima de restricción, marcaje radiactivo, gel de electroforesis) tienen que ser *introducidos de una forma muy funcional y significativa para el alumnado*.

El **material** que se necesita para este juego de simulación es el guión de la actividad; el material genético de cada uno de los protagonistas de la historia (el bebé, la madre de alquiler, el marido de la madre de alquiler, el donante de esperma y un control); tijeras que hacen de enzimas de restricción; rotuladores que simulan un marcaje radiactivo; y una cartulina que es el gel de electroforesis por el que se desplazan los fragmentos de ADN.

La **organización del trabajo** en el aula consiste en la formación de cinco grupos de trabajo, que serán como los tubos de ensayo donde se está manipulando el material genético de los cuatro personajes implicados en la historia y el del control, que sirve para validar la prueba. El profesor debe coordinar el trabajo de cada grupo y hacer que, de forma ordenada, pongan en un gel de electroforesis el resultado del test genético.

El **desarrollo de la actividad** se realiza en un periodo de clase. El profesor debe recordar de forma muy concisa y clara todo lo estudiado respecto a la estructura del ADN, la complementariedad de bases, el hecho de que cada hijo recibe de cada uno de sus padres la mitad de su información genética y, por ello, su secuencia de ADN es única y diferente a la de cualquier otro individuo. Toda la clase lee cuál es el problema que ha provocado la celebración de un juicio para determinar la paternidad de un bebé.

El profesor debe explicar, uno por uno, los pasos que se siguen en la realización de un test genético, al tiempo que los estudiantes lo realizan. Primero, se forman las cadenas de material genético de cada uno de los protagonistas de la historia; segundo, se identifican las secuencias GGCC que son reconocidas por las enzimas de restricción o tijeras que cortan siempre entre GG y CC, y se cortan; tercero, se identifican las secuencias CAT a las que se pega sus complementarias GTA, marcadas radiactivamente con un rotulador fosforescente. El estudiante debe tener claro que todos estos procesos, que se están visualizando, se producen a nivel molecular y, no son visibles. Todo lo que se simula es lo que ocurre en los tubos de ensayo, que tienen su material genético correspondiente y a los que se añade el enzima de restricción y los marcadores radiactivos.

La fase final del test genético es montar el gel de electroforesis. Los alumnos deben saber que las moléculas pueden moverse a lo largo de una sustancia gelatinosa según su peso y carga. Ese gel, por el que se van a mover los fragmentos de ADN, es sustituido por unas cartulinas pegadas en la pared; y, el peso de los fragmentos de ADN, es proporcional al número de bases que contenga cada fragmento. Un componente, de cada uno de los grupos, coloca por orden de tamaño (de mayor a menor) los fragmentos obtenidos en su muestra. La primera columna es para el grupo control porque tiene más fragmentos de ADN, que ayuda a definir las filas de la futura autorradiografía del gel de electroforesis. La última columna debe corresponder a los fragmentos de ADN del bebé para no despejar la incógnita hasta el final.

Una vez finalizado el gel de electroforesis los alumnos deben saber quién es el padre, porque, junto con la madre de alquiler, comparte la mitad de la información genética con el bebé.

Esta actividad es útil para que los alumnos entiendan qué son esas hojas transparentes con un bandeado negro, como si fuese un código de barras, que aparecen continuamente en películas y programas de televisión siempre que se habla de avances genéticos. Además pueden ver que, en esas autorradiografías, las bandas negras sólo corresponden a los fragmentos de ADN con marcaje radiactivo y no a todo el ADN que se corta.

MATERIAL DE TRABAJO

¿QUIÉN ES EL PADRE DEL BEBÉ?

PROBLEMA: Una pareja que no puede tener hijos, por ser estéril la mujer, decide buscar una madre sustituta para tener un hijo. La madre de alquiler es inseminada artificialmente con esperma del hombre. Cuando la madre de alquiler tiene al bebé decide quedárselo. Reclama al bebé diciendo que el verdadero padre es su marido y no el donante de esperma. El caso es llevado al juzgado y se realiza un test genético para decidir quién es el padre biológico del bebé.

¡ESTE TEST GENETICO LO VAIS A REALIZAR VOSOTROS EN CLASE!

Debeis saber:

- Cada individuo tiene una secuencia de ADN única y diferente a la de cualquier otro individuo, como resultado de la combinación de los genes de sus padres, la mitad de la madre y la mitad del padre.
- Para identificar estos genes, que provienen de cada uno de los padres, se utilizan cadenas simples de ADN y marcadores radiactivos unidos a secuencias GTA, que reconocen las secuencias CAT del ADN y las marcan. Además los fragmentos se cortan con unos enzimas especiales, llamados de restricción, que reconocen la secuencia GGCC y la cortan por el centro, dejando dos fragmentos de ADN, uno que termina en GG y otro que empieza por CC. Las secuencias de ADN no son visibles y por eso se utilizan marcadores para identificarlas.
- Los fragmentos de ADN cortados, que tienen diferente tamaño y diferente peso, se separan en un gel, sustancia viscosa y homogénea, por su peso y por fuerzas eléctricas (el ADN tiene carga negativa y se mueve hacia el polo positivo del gel).
- Una vez dispuestos los fragmentos de ADN por su tamaño, se pueden comparar los marcajes radiactivos de los fragmentos de ADN de los supuestos padres, de la madre de alquiler y los del niño para descubrir semejanzas. La mitad de los marcajes del niño coincidirán con los de la madre de alquiler y, la otra mitad, con los del padre biológico.

Material de cada grupo:

- 1 tira de papel con la secuencia de bases del ADN de uno de los personajes de la historia (un grupo trabajará con una secuencia de bases modelo o patrón).
- rotulador fosforescente (marcaje radiactivo) para marcar las secuencias CAT, y secuencias GTA que se entregan a parte.
- tijeras (enzimas de restricción).
- 1 cartulina grande donde se pegarán los fragmentos de ADN según sus tamaños (gel de electroforesis). Habrá cinco columnas de fragmentos de ADN: modelo, madre de alquiler, donante de esperma, marido de la madre y bebé.

Guión de trabajo:

1. Construye la secuencia de ADN completa de tu personaje uniendo los trozos que la forman por los números.
2. Busca en tu fragmento de ADN la secuencia GGCC y corta la tira entre GG y CC. Cuenta el número de bases de cada fragmento y apúntalo en cada fragmento.
3. Busca en tu fragmento de ADN la secuencia CAT y márcala.
4. Pega debajo de estas secuencias sus complementarias GTA, pintadas del mismo color (marcaje radiactivo).
5. Coloca los fragmentos en la cartulina, en la columna que te corresponda, y en orden decreciente de tamaño. Se deben hacer corresponder los mismos tamaños en cada fila. (El profesor/a te dará las instrucciones necesarias).
6. Ahora ya puedes dar tu veredicto ¿quién es el padre del bebé?.

NIÑO

1 CCACATCAGTTAGACCGAGGCCAAGGCCAACCGACG 2

2 GCAAGGCCCGACAGGCCAAAGACGGCCATATAGGGGG

MARIDO DE LA MADRE DE ALQUILER

1 CCGGTACATTACCAGGCCAAGGATACGGCAAGCAGG 2

2 CCTTCATGGCCAAGGCCTTAGCACGGGCCAATGACGG

DONANTE DE ESPERMA

1 CCGAGGCCAGGGTATACCGGTATAGGCCAATTTGGCC 2

2 GGCATGGGCCGATACAGCCGATGGCCATATAGGGGG

MADRE DE ALQUILER

1 CCTAGACGGCCAGGCACAAGCCAGGCCATGGCCACA 2

2 TCAGTTAGACCGAGGCCGAATCAGGCCTTATTGCAGG

MODELO

1 CCAAGACATTATGCAGATGGCCAATAGACATTACGG 2

2 CCATACCAGAGGCCCAACATGGCCAAACACACCC 3

3 ATCAGGCCATGGCAGACGGGCCATACGGCCATGG

MARCAJES RADIATIVOS

GTA	GTA	GTA	GTA	GTA	GTA
-----	-----	-----	-----	-----	-----

GTA	GTA	GTA	GTA	GTA	GTA
-----	-----	-----	-----	-----	-----

GTA	GTA	GTA	GTA	GTA	GTA
-----	-----	-----	-----	-----	-----

ORIENTACIONES PARA EL PROFESORADO

El **objetivo** de esta actividad es plantear otro tipo de utilización de los tests genéticos, los diagnósticos genéticos de enfermedades, en los que se genera una *controversia entre el derecho a saber y el derecho a la intimidad de los datos*.

El **material** que se utiliza, en la realización de esta actividad, son textos referentes a diversos casos: una mujer que está embarazada y puede que su hijo padezca un tipo de deficiencia mental, un padre que ha padecido un cáncer de tipo hereditario y quiere saber si sus hijos lo han heredado, etc. También se puede releer uno de los textos de la primera actividad donde se narra la historia de unas niñas a las que se aplicó la terapia génica. Los casos de estudio 1 y 2 han sido tomados y traducidos de la revista *The Science Teacher* (Morris, L., 1994). El caso de estudio 3 ha sido tomado y traducido de Bennett, C. (1992), y recogido en la página de Internet www.woodrow.org, que edita *The Woodrow Wilson National Leadership Program in Biology*. Por último el caso de estudio 4 ha sido tomado y traducido de Kellman, E. (1992), y recogido en la misma página de Internet.

La **organización del trabajo** en el aula va a consistir en una lectura de los textos por grupos y en una puesta en común de todo el grupo de sus posturas frente al uso de los diagnósticos genéticos.

El **desarrollo de la actividad** requiere de una sesión de clase. Los estudiantes tienen que emplear la mitad de este tiempo en la lectura de los textos y, la otra mitad, en esclarecer sus propias ideas frente a las de sus compañeros. El papel del profesor es ir aportando aspectos positivos o negativos del conocimiento del genoma humano según se vaya perfilando la discusión dentro de cada grupo. Por ejemplo, si los alumnos sólo ven peligros en el hecho de que se conozca nuestra información genética, se les debe recordar que gracias a esa información se pueden llegar a curar enfermedades genéticas; y, si sólo ven los aspectos beneficiosos de este tipo de conocimiento, se les debe poner sobre la mesa la posibilidad de que esa información sea utilizada por una empresa para no contratar o asegurar a una persona.

MATERIAL DE TRABAJO

LOS DIAGNÓSTICOS GENÉTICOS. ESTUDIO DE CASOS 1

HISTORIA

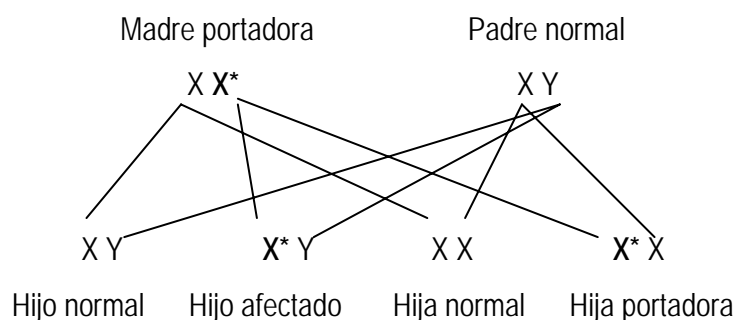
Una mujer de 25 años ha tomado la decisión de no tener más niños porque su historia familiar indica que ella es portadora del "síndrome Frágil X", que implica deficiencias mentales como una de las características del síndrome. (Uno de los hermanos de la mujer es retrasado y su único hijo, un niño, también tiene un ligero retraso). Antes de la esterilización, tuvo que someterse a un test obligatorio de embarazo que determinó que se encontraba embarazada. Un diagnóstico molecular de los genes indicó que el feto era una niña; pero, no pudo predecir, de forma segura, si el feto femenino podría presentar daños o disfunciones mentales.

INFORMACIÓN SOBRE LA ENFERMEDAD

El 'síndrome Frágil X' es una enfermedad genética ligada al cromosoma X (esquema al final de la información), y causante de retraso mental. Se cree que la existencia de este desorden genético es de las enfermedades genéticas más usuales. A pesar de estar localizado el gen defectuoso en el cromosoma X, afecta tanto a varones como a mujeres, de cualquier raza o etnia. Aproximadamente el 80% de los varones que heredan el gen erróneo desarrollan la enfermedad; mientras que, el 30% de las portadoras femeninas muestran un espectro de retraso mental.

La localización del gen defectuoso o frágil es al final de uno de los brazos largos del cromosoma X, en algunas células. Los análisis de ADN de esta zona detectan una repetición de la secuencia de bases CGG. En los varones se ha visto que una relación entre el número de CGG repetidas y el grado de retraso. Sin embargo, el grado de retraso es más difícil de predecir en una mujer portadora porque ella tiene una copia normal del gen afectado en el otro cromosoma X.

Debido a que los varones, sólo tienen un cromosoma X, heredado de la madre, se ven más afectados por este síndrome que las mujeres. En Junio de 1992, en un trabajo, patrocinado por la Fundación Nacional del Frágil X, se estimó que uno de cada 1000 varones de la población general sufría algún tipo de retraso debido al síndrome del Frágil X, y una de cada 600 mujeres eran portadoras de la enfermedad.



LOS DIAGNÓSTICOS GENÉTICOS. ESTUDIO DE CASOS 2

HISTORIA

A un señor de 38 años y, padre de tres hijos de 18, 12 y 2 años, se le diagnosticó el Síndrome Gardner, una predisposición familiar al cáncer de colon transverso. Los individuos con este síntoma tienen numerosos pólipos en el colon, algunos de los cuales pueden transformarse en malignos y desarrollar un cáncer de colon. La historia familiar indicaba que su madre había muerto, hacía 21 años, de cáncer de colon. En el momento del diagnóstico, el padre estaba muy enfermo y fue necesario extraerle todo el colon. El padre había sido informado por el doctor que, la detección temprana de los pólipos y su extirpación, era fundamental para evitar que éstos se transformaran en malignos.

Para prevenir la enfermedad en sus hijos, el padre decidió hacerles un test genético para localizar el Síndrome de Gardner, y así, si ellos lo presentaban, poder atajarlo y controlarlo desde el principio. El hijo mayor fue el único que había heredado la mutación genética que provocaba el Síndrome de Gardner.

Después de su graduación universitaria, este hijo, tuvo una oferta de trabajo. Durante la fase de admisión, en las pruebas físicas, se descubrió el historial médico del mismo. Con esta información, la compañía del seguro médico de la empresa informó al jefe de la misma que la tarifa del seguro se vería incrementada de forma considerable por 'el alto riesgo' de este empleado.

INFORMACIÓN SOBRE LA ENFERMEDAD

El Síndrome de Gardner, es una enfermedad genética dominante localizada en un autosoma, y afecta al colon transverso provocando la formación de pólipos potencialmente cancerosos. Los hijos de afectados por la enfermedad tienen una probabilidad del 50% de padecerla. El cáncer se puede desarrollar durante la adolescencia o puede no aparecer hasta que la persona cumpla los 70. El gen del Síndrome de Gardner se localiza en el cromosoma 5, pero aún tiene que ser aislado o identificado. Mientras tanto, la detección de la enfermedad, se realiza localizando dos marcadores cercanos al gen relacionados con su funcionamiento. El diagnóstico del test molecular realizado en laboratorio, para esta enfermedad, tiene una fiabilidad del 99%.

LOS DIAGNÓSTICOS GENÉTICOS. ESTUDIO DE CASOS 3

HISTORIA: ENFERMEDAD DE HUNTINGTON

ACTORES

- Mujer cuya madre tuvo Huntington
- Marido
- Hijo de 20 años
- Novia del hijo

INFORMACIÓN

La enfermedad de Huntington es causada por una mutación dominante autosómica en el cromosoma 4. Se manifiesta en adultos entre los 35-42 años con movimientos rutinarios, involuntarios y progresivos, y demencia debida a la pérdida prematura de las funciones neuronales. Inevitablemente es una enfermedad fatal. La mayoría de los portadores muestran signos de depresión antes de la aparición de los primeros síntomas que incluyen irritabilidad, impulsividad, comportamiento errático y letargo. No hay tratamiento.

Una persona con riesgo de padecer la enfermedad de Huntington es rechazada de forma inmediata en los seguros médicos. El coste de un test genético es de unos 5000 dólares y es un procedimiento muy estresante.

PREGUNTAS SUGERIDAS A LOS ACTORES

Mujer:

Su madre padeció durante años la enfermedad de Huntington y dependió totalmente de los cuidados de su padre. Conoce que tiene el 50% de probabilidades de padecer la enfermedad.

¿Desearía realizarse un test genético?.

¿Por qué sí o por qué no? (Recuerde: coste económico; estrés psicológico; actitud de su hijo al saberlo; estigmatización para la familia, amigos y jefes).

Hombre:

¿Advertiría a su hijo?

Usted está contemplando la posibilidad de un cambio de trabajo por diferencias con su jefe. Sin embargo, esto supone realizar un nuevo seguro médico. ¿Está obligado a mencionar la historia de esta enfermedad en su familia?

Hijo:

Has visto como la enfermedad ha afectado la vida de tus abuelos. ¿Querrías que tu madre se realizase un test genético? ¿Por qué?

Tu madre se ha hecho el test genético y se ha encontrado que porta el gen. ¿Qué le dirías a tu novia? ¿Piensas tener hijos? ¿Te harías primero un test genético?

Novia:

¿Cómo te sientes ante la posibilidad de que tu futuro marido pueda desarrollar la enfermedad de Huntington? ¿Continuarías con la boda? ¿Tendrías hijos? ¿Qué valores están aquí involucrados?

Tu novio se ha hecho el test genético y se ha encontrado que porta la enfermedad. ¿Cambia esto tu idea sobre el matrimonio?

LOS DIAGNÓSTICOS GENÉTICOS. ESTUDIO DE CASOS 4

HISTORIA

La madre de Samuel, de 42 años de edad, ha sido diagnosticada de cáncer de mama. El padre de Samuel murió hacia varios años en un accidente de coche. El hermano de su padre ha sufrido cáncer de próstata durante los últimos cinco años. Samuel tiene un hermano más pequeño de 14 años, y una hermana casada que tiene un hijo. Ella y su marido piensan tener otro hijo para completar la familia.

Por su parte, Samuel pretende casarse con Susana y tener familia algún día. La cuestión que perturba a Samuel es si tiene la mutación p-53. Si así es, sabe que hay un 50% de probabilidades de que algún día desarrolle cáncer. Además, hay un 50% de probabilidades de que sus hijos hereden el gen mutado y por lo tanto un 25% de probabilidades de que lo desarrollen en un futuro; presumiendo que Susana esté libre de la mutación.

CUESTIONES:

1. ¿Debería Samuel tener el diagnóstico genético para la mutación p-53?
2. ¿Samuel debería hablar con su hermana sobre la posibilidad de que tenga la mutación?

ORIENTACIONES PARA EL PROFESORADO

El **objetivo** es poner a los alumnos frente a un *problema similar a los que se plantean los equipos de investigación, que buscan genes causantes de enfermedades*. El problema puede ser abordado por los estudiantes desde dos perspectivas distintas: qué probabilidad hay de que haya heredado el gen del Alzheimer o cómo saber si ese gen está presente en mi genoma. La actividad es importante porque permite *saber si los alumnos han incorporado las nuevas técnicas utilizadas en los estudios genéticos* o, si mantienen el tipo de estudio tradicional con mapas genealógicos.

El **material** necesario, para la realización de la actividad, es lápiz y papel.

La **organización del trabajo** en el aula, tanto para los estudiantes como para el profesor, es idéntica a la seguida en las actividades de resolución de problemas.

El **desarrollo de la actividad** se realiza a lo largo de una sesión de clase. Tras la resolución del problema, los estudiantes comentan las razones de elección de una u otra estrategia de resolución. Independientemente, de la forma de resolución, todos deben saber que, si conocemos de antemano el gen causante de una enfermedad, un diagnóstico genético es el mejor método para resolver este tipo de cuestiones.

ORIENTACIONES PARA EL PROFESOR

El **objetivo** de esta actividad es *hacer una simulación del proceso de creación de un ser vivo transgénico*. La biotecnología, que permite el paso de un gen de una especie a otra, no es una novedad. Desde hace unas décadas se utiliza la ingeniería genética para la creación de bacterias transgénicas que portan, por ejemplo, el gen de la insulina; y, este tipo de información, suele aparecer en los libros de texto. Sin embargo, esta actividad lo que hace es recrear la técnica en el aula y, construye un ser vivo transgénico más interesante para el alumnado, un ratón con genes humanos. La importancia de los seres vivos transgénicos, actualmente, y, en el futuro, va a ser grande: alimentos, órganos para trasplantar, estudios clínicos, etc. En esta actividad se introducen **conceptos** ya conocidos de la Actividad 16 como enzima de restricción, y otros nuevos como ligasa o vectores.

El **material** utilizado es la actividad creada por Marco, Ibáñez y Alberó (2000), y necesita el material genético humano y el del vector en papel, tijeras como enzimas de restricción y pegamento como ligasa.

La **organización del trabajo** en el aula es en grupos de trabajo, cada uno de los cuales va a crear un ratón transgénico. El profesor debe coordinar este trabajo y dar las explicaciones oportunas.

El **desarrollo de la actividad** necesita un periodo de clase. Los estudiantes seguirán el guión de trabajo y las indicaciones del profesor. Se debe incidir en aspectos como el hecho de que se usan vectores que pueden ser virus o fragmentos circulares de ADN. Introducir un gen dentro del genoma de una célula no es lo mismo que introducir una válvula en un corazón. Al trabajar con materiales microscópicos, los “bisturíes” deben ser vehículos o vectores que de forma natural entran y salen de las células. Otro aspecto importante a tener en cuenta es la necesidad de que comprendan que si queremos que el transgen se encuentre en todas las células del nuevo ser vivo, éste debe introducirse en la célula germinal que origina a ese individuo (usar el esquema).

MATERIAL DE TRABAJO

¿CÓMO CONSTRUIR UN RATÓN HUMANO?

INTRODUCCIÓN

En la actualidad es posible la creación de seres vivos que lleven genes de otros seres vivos diferentes a ellos. A estos organismos se les denomina *transgénicos*. El proceso en sí mismo es bastante sencillo, aunque deba realizarse en un laboratorio. Primero, se extrae de un organismo la información genética que nos interesa y, segundo, se introduce en las células germinativas¹ del otro organismo. Estos seres transgénicos pueden ser muy útiles para el hombre. Por ejemplo:

- permiten estudiar mejor las enfermedades humanas en ratones de laboratorio que lleven genes humanos
- se están creando cerdos transgénicos para utilizar sus órganos como corazón o hígado en trasplantes
- hay vacas y ovejas transgénicas que elaboran proteínas humanas en su leche
- se están creando, además de animales transgénicos con genes humanos, otros seres que llevan genes de bacterias o de otros organismos: plantas resistentes a la sequía, a los pesticidas y a las plagas; frutos que tardan más en madurar; salmones gigantes; pollos del tamaño de un avestruz.....

CREAR UN RATÓN QUE CONTENGA EL GEN HUMANO A

Para ello **debemos saber** que la técnica que vamos a emplear se basa en el hecho de que entre los genes, que se encuentran en un cromosoma, hay secuencias de bases que pueden ser reconocidas por enzimas de restricción² que las cortan. Para conseguir ese ratón transgénico **debemos trabajar con los siguientes elementos** (fotocopia con el material necesario):

- El gen humano. No es muy difícil de obtener a partir de cualquier célula humana (de la piel, la sangre...) y gracias al mapa creado en el PGH (Proyecto Genoma Humano) podemos saber en qué cromosoma y en qué lugar del mismo se encuentra. (Trabajaremos con un cromosoma de papel)
- Unas tijeras bioquímicas (enzimas de restricción) para cortar el trozo de material genético que nos interesa. (Usaremos tijeras)
- Un vehículo de transporte del gen humano o vector. Este vector puede ser un fragmento circular de ADN, bien procedente de un ser vivo como las bacterias, o bien creado artificialmente en el laboratorio. Es conveniente que este vector contenga un gen marcador que se exprese en un carácter externo visible, por ejemplo orejas puntiagudas. (Usaremos un vector de papel)
- Ligasas o moléculas que nos unan el vector y el gen humano. (Pegamento)
- Una célula germinativa de ratón donde implantar nuestro gen humano. (Seguir el esquema final)

GUIÓN DE TRABAJO

1. Recorta de la fotocopia el cromosoma humano y el vector artificial.
2. Con las enzimas de restricción 1 y 2 (tijeras) corta el cromosoma humano por los lugares de corte específicos de estas enzimas. El trozo más pequeño de ADN corresponderá al gen elegido y será fácil de identificar por su tamaño. Aíslalo.
3. Toma el vector o cromosoma artificial, pega sus extremos y córtalo con la enzima de restricción 3 por el lugar de corte indicado.
4. Ahora, con la ligasa (pegamento), puedes unir el gen humano en la zona de corte del vector. La ligasa que se va a utilizar sólo une bases iguales entre sí (así se evita que se vuelva a cerrar el cromosoma artificial).
5. Acabas de conseguir un *transgen*, sólo queda introducirlo en células de ratón y seleccionar aquellos que hayan incorporado el gen humano. Recuerda que lo podremos saber porque el vector llevaba un gen marcador que originaba un carácter externo visible. Para seguir este último paso mira el esquema de la fotocopia.

¹ Una célula germinativa es aquella que va a generar un nuevo ser vivo, en este caso es el óvulo. El resto de las células se denominan somáticas.

² Tijeras bioquímicas que cortan el ADN por lugares determinados.

CROMOSOMA HUMANO

GEN X	GCGG CGCC	GEN Y	CCCC GGGG	GEN Z	AATT TTAA	GEN A	CCGG GGCC	GEN B	AAAT TTTA	GEN C	TATC ATAG	GEN D	CACG GTGC	GEN E
-------	--------------	-------	--------------	-------	--------------	-------	--------------	-------	--------------	-------	--------------	-------	--------------	-------

CROMOSOMA ARTIFICIAL O VECTOR

Pegar	GEN 1	CCCGGGGCC GGGCCCGGG	GEN MARCADOR orejas puntiagudas	TTTTTCCCC AAAAAGGGG	GEN 2	GGGGGCCCCC CCCCCGGGG	GEN 3	GGGGCCC CCCCGGG	Pegar
-------	-------	------------------------	------------------------------------	------------------------	-------	-------------------------	-------	--------------------	-------

ENZIMAS DE RESTRICCIÓN O TIJERAS BIOQUÍMICAS

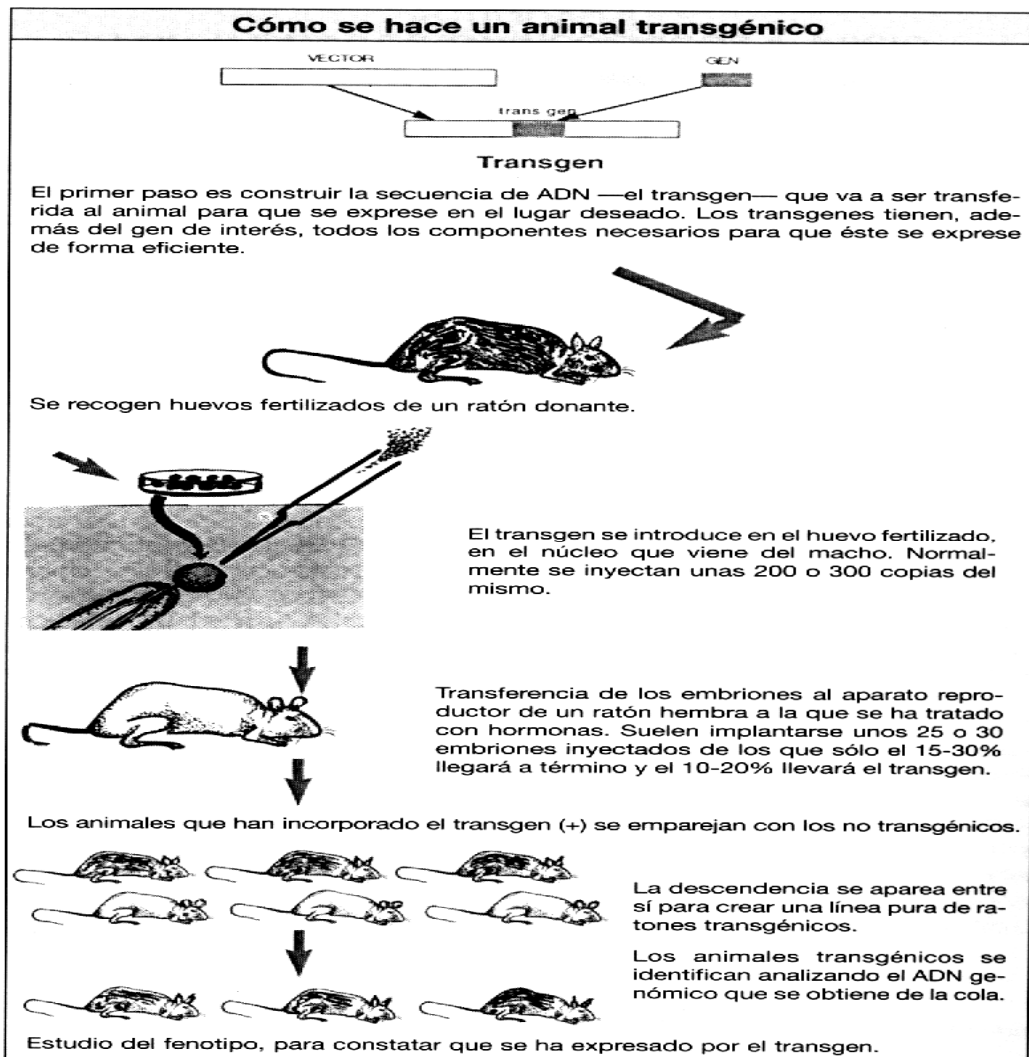
∇ Enzima 1, que corta el cromosoma humano en medio de la secuencia AATT, dejando a un lado AA y al otro TT

∇ Enzima 2, que corta el cromosoma humano en medio de la secuencia CCGG, dejando a un lado CC y al otro GG

∇ Enzima 3, que corta el cromosoma artificial en medio de las bases TC o AG, dejando a un lado T o C y al otro A o G

ENZIMA LIGASA (Pegamento)

ESQUEMA



**A₂₀ - P₁₁ - LOS VITICULTORES DE ARGANDA BUSCAN QUE SUS VIDES
PRODUZCAN UVAS CON MAYOR CANTIDAD DE AZÚCAR.
¿CÓMO CONSEGUIRÍAMOS ESTE TIPO DE VIDES?**

ORIENTACIONES PARA EL PROFESORADO

El **objetivo** de este problema es plantear una *situación similar a la que se enfrentan los investigadores que trabajan en la creación de nuevas variedades de plantas y semillas*. Se ha elegido este tipo de problema porque los estudiantes viven en una zona que, aunque ya está muy industrializada, aún conserva su tradición agrícola respecto a la vid y el olivo. La resolución de este problema puede plantearse desde dos puntos de vista diferentes. Desde las ideas clásicas de selección de especies para el cultivo, los estudiantes pueden plantear una solución basada en el cruce de diferentes variedades de uvas, injertos o nuevas técnicas de cultivo. Desde una visión más actual de la tecnología genética, pueden hacer uso de sus conocimientos sobre creación de seres vivos transgénicos.

El **material** necesario para la realización de esta actividad es lápiz y papel.

La **organización de trabajo** en el aula, tanto para estudiantes y profesor, sigue la dinámica de trabajo seguida en otras resoluciones de problemas.

El **desarrollo de la actividad** requiere de una sesión de clase. Tras la resolución del problema se comentan las razones por las que cada grupo ha optado por una u otra estrategia de resolución.

ACTIVIDADES DE EVALUACIÓN

PROBLEMA ABIERTO (P₁₂)

NOMBRE
EDAD SEXO: hombre/mujer CURSO NIVEL
CENTRO ESCOLAR

“Un matrimonio tiene un hijo que se parece más al padre que a la madre. ¿Cómo puede ser esto posible?”.

Valoración: La resolución y valoración de este problema se encuentra en el Anexo II. Es un problema de herencia mendeliana y requiere del uso de los esquemas conceptuales sobre la localización de la información hereditaria y la herencia de padres a hijos.

SITUACIÓN PROBLEMÁTICA PERSONALIZADA DE TOMA DE DECISIONES

NOMBRE
EDAD SEXO: hombre/mujer CURSO NIVEL
CENTRO ESCOLAR

“Tu familia presenta varios casos de cáncer de colon, ¿te harías un test genético?”

Valoración: Este actividad se circunscribe dentro de los aspectos C-T-S que han ido impregnando toda la unidad. Los estudiantes pueden tomar diversas opciones; pero, en cualquiera de ellas, deben sopesar todos los aspectos involucrados: ¿es preferible conocer este dato para tomar medidas preventiva?, ¿es preferible no saberlo para evitar un sufrimiento a lo largo del tiempo respecto a algo que puede suceder o no y que quizá no pueda prevenirse?, ¿cómo afectará a mi vida personal el conocer esta información?, ¿y a mi vida profesional?, ¿pueden ser conocidos estos datos por otras personas?, etc.

ANEXO II

PROBLEMAS ABIERTOS DE GENÉTICA

PROBLEMA 0

¿Cómo se hereda un carácter relacionado con el pelo?

RESOLUCIÓN

Análisis cualitativo del problema

El problema consiste en encontrar una ley, patrón o norma que sigue este carácter a la hora de heredarse. La resolución del mismo se realiza desde un marco teórico muy simple; podríamos decir que históricamente se parte de unos conocimientos pre-mendelianos. Por ello, en el análisis cualitativo del problema sólo se debe tener en cuenta que:

- los caracteres hereditarios de una persona están determinados por la información genética que reciben de los padres, y que
- algunos caracteres son más comunes o se manifiestan más.

Los acotación del problema consistiría en:

- Seleccionar un carácter relacionado con el pelo: color, cantidad, rizado, etc. Se va a entender por carácter las diferentes características que definen a un individuo.
- Definir las diferentes manifestaciones del carácter. Por ejemplo, en el carácter color de pelo optar por color claro y oscuro. Dar una nomenclatura en forma de letras a los caracteres.
- Definir la muestra de estudio: la propia familia; pero, ¿hasta qué nivel de consanguinidad se debe hacer el estudio?, ¿cuántas personas van a ser analizadas en el estudio?.

Emisión de hipótesis

Si los caracteres se transmiten de padres a hijos debe haber un patrón o modelo de herencia: El carácter N se transmite de padres a hijos con mayor frecuencia que el N', basándonos en el análisis anterior.

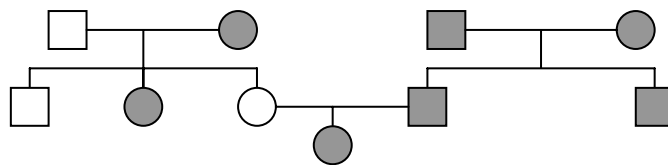
Elaboración de una estrategia de resolución

Toda la información sobre la presencia del carácter en una familia se recogerá en cuadros de parentesco o árboles genealógicos. Se utilizarán signos convencionales para representar los datos (círculos para mujeres, cuadrados para varones, y color para determinar la presencia de una de cada una de las manifestaciones del carácter).

Estos datos serán analizados, para determinar el número de individuos que manifiestan un determinado factor, detectar el tipo de cruces existentes e identificar aquellos que revelan si un determinado factor es dominante o recesivo, etc. Los resultados se compararán con los obtenidos por otras personas del mismo grupo de trabajo.

Resolución del problema

Cada equipo ha elegido un carácter y lo ha definido. Cada uno de los componentes del grupo rastreará la presencia del carácter en su familia, tanto en la línea paterna como la materna, no olvidando a ninguno de sus parientes (incluso preguntarán los datos sobre aquellos que ya hayan muerto). Intentarán llegar hasta el nivel de bisabuelos, y si posible más lejos; y no se olvidarán de los más pequeños como hijos de primos, sobrinos, etc. Toda esta información será recogida en un árbol genealógico que se unirá al resto de los árboles genealógicos del resto del grupo. Así se asegura un número mayor de resultados y de posibles cruces.



Los árboles se estudiarán de forma parcial. Si el carácter era color de pelo, y las manifestaciones del carácter eran oscuro y claro; el análisis se hará de la siguiente forma: número y tipo de descendientes del cruce oscuro y oscuro; del cruce oscuro y claro, del cruce claro y claro. Todos los datos serán tratados de forma estadística intentando llegar a descubrir las relaciones proporcionales entre los individuos que reciben un determinado carácter hereditario en los posibles cruces de individuos.

Análisis de los resultados

El análisis de los resultados permitirá llegar a conclusiones sobre la existencia de un patrón hereditario para un carácter; y si éste se ajusta a la hipótesis emitida. Por ejemplo, con el carácter color de pelo, de todos los posibles cruces entre individuos es el cruce oscuro x claro el que más información nos puede aportar. En los demás cruces el carácter más frecuente es el de los padres. En este cruce más de la mitad, casi unas $\frac{3}{4}$ partes de la población tiene pelo oscuro. Podemos confirmar la hipótesis de que el pelo oscuro presenta una mayor probabilidad de 3:1 frente al pelo claro.

CRITERIOS EVALUACIÓN DEL PROBLEMA 0

VARIABLES METODOLÓGICAS

VM1: Análisis cualitativo del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna valoración cualitativa del problema.

Nivel 1: Se identifica o define un carácter relacionado con el pelo (color, forma, etc.) y se determinan los factores o manifestaciones que van a tener en consideración (para el color: oscuro, claro)

Nivel 2: Además de identificar el carácter en el que van a basar su trabajo, los alumnos aportan sus ideas sobre cómo se hereda, o sobre posibles relaciones de dominancia-recesividad de cada factor; y definen la muestra sobre la que van a estudiar la herencia de ese carácter.

Nivel 3: Además, se indica el marco teórico en el que se van a mover; en este caso, la herencia que sigue las leyes de Mendel; y se asigna una nomenclatura (letra) al carácter, identificando la letra mayúscula con dominante y la letra minúscula con recesivo.

VM2: Emisión de hipótesis

Nivel 0: No se plantea ninguna hipótesis.

Nivel 1: La hipótesis planteada no tiene relación directa con el problema; por ejemplo algo tan general como que el carácter se hereda de padres a hijos, o que uno de los factores es predominante.

Nivel 2: Se plantea una hipótesis en que identifican a uno de los factores como dominante o recesivo; pero sin basar tal hipótesis en su análisis anterior.

Nivel 3: La hipótesis sobre dominancia-recesividad de los factores estudiados se apoya en el análisis cualitativo que los alumnos han realizado del problema, y se relaciona con el modelo de herencia de Mendel.

VM3: Elaboración de una estrategia de resolución

Nivel 0: No se plantea ninguna estrategia de resolución del problema.

Nivel 1: Se indica que para resolver el problema se debe estudiar el carácter en la familia.

Nivel 2: Se indica cómo se va a realizar el árbol genealógico de la familia y cómo se van a estudiar los datos que se obtengan.

Nivel 3: Se identifican claramente fases en su resolución: elaboración de un árbol genealógico completo y con el mayor número de familiares de diversas generaciones, análisis de los datos obtenidos, búsqueda de distintos cruces que aporten datos.

VM4: Resolución del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna resolución.

Nivel 1: Se recogen datos en un árbol genealógico más o menos completo.

Nivel 2: El árbol genealógico es completo, los caracteres están totalmente identificados, y se realiza un análisis cualitativo de los datos que aporta.

Nivel 3: Se realiza un estudio de porcentajes de cada factor para alguno o todos los cruces posibles en su familia.

VM5: Análisis de los resultados

Nivel 0: No se realiza ningún análisis de los resultados.

Nivel 1: El análisis cualitativo, que se realiza, se limita a identificar que uno de los factores del carácter aparece más que el otro.

Nivel 2: El análisis es, además de cualitativo, cuantitativo y se determina en qué medida un factor aparece con mayor frecuencia y en qué tipo de cruces.

Nivel 3: La interpretación de los resultados se realiza bajo el prisma de las leyes de Mendel, y volviendo a la hipótesis para contrastarla o no.

PROBLEMA 1

¿Cómo se hereda un carácter relacionado con el pelo?

RESOLUCIÓN

Análisis cualitativo del problema

El enunciado del problema y su objetivo no varía respecto al anterior. Sin embargo, la diferencia está en el marco teórico desde el que va a ser resuelto; en este caso, la teoría cromosómica de la herencia.

En el análisis cualitativo hay que tener en cuenta que:

- los caracteres se heredan a partir de la información que nos transmiten nuestros padres, y de cada uno de ellos recibimos la mitad de nuestra información genética;
- la información genética se localiza en los cromosomas, tenemos 46 cromosomas que son 23 pares: cada par se forma con un cromosoma paterno y otro materno;
- cada carácter está determinado por genes que se localizan en los cromosomas;
- cada gen lo tenemos duplicado, uno paterno y otro materno;
- los genes tienen distintas manifestaciones llamadas alelos, algunos alelos son dominantes y otros recesivos;
- genotipo y fenotipo no es lo mismo; un fenotipo puede corresponder a genotipos diferentes

La acotación del problema sería la misma que en el problema O, aunque se ampliará la operatividad de las variables:

- Seleccionar un carácter que sea fácil de identificar y de seguir en un estudio genealógico.
- El carácter se relacionará con un sólo gen al que se identificará con una letra. Por ejemplo, color de pelo = P.

- Definir las diferentes manifestaciones o alelos del gen. Los alelos se identifican con letras mayúsculas si son dominantes y con minúsculas si son recesivos. P color de pelo tendrá dos alelos, P = oscuro y p = claro.
- Definir la muestra de estudio: número de generaciones de una familia y número de individuos estudiados

Emisión de hipótesis

Las hipótesis van a estar más perfiladas porque cada grupo de trabajo parte del conocimiento aportado por la resolución del problema anterior; aunque se hiciese sólo un esbozo. Dependiendo del carácter estudiado las hipótesis que se pueden plantear serían del tipo: El carácter P (color de pelo oscuro) es dominante sobre el p (color de pelo claro)

Elaboración de una estrategia de resolución

Los datos sobre la transmisión de un carácter dentro de una familia se recogen en un árbol genealógico, usando los signos convencionales (círculos para mujeres, cuadrados para varones y color para determinar la presencia de cada una de las manifestaciones del carácter). Son válidos los datos del problema O; pero ahora sabemos que esa información se corresponde con el fenotipo de un individuo, y que no representa su genotipo.

Resolución del problema

Los datos que aparecen en los árboles genealógicos (fenotipos) se van a transformar en genotipos. Por ejemplo en el carácter color de pelo los individuos con color de pelo oscuro pueden ser homocigotos (PP) o heterocigotos (Pp), los individuos de color de pelo claro sólo pueden ser homocigotos recesivos (pp). Se deben analizar los fenotipos de los padres y de los hijos y llegar a conclusiones sobre si son homocigotos dominantes, heterocigotos u homocigóticos recesivos.

Los datos obtenidos para los distintos tipos de cruces se transforman en datos estadísticos para sacar conclusiones. En la realización de los distintos cruces se pueden utilizar los cuadros de Punnett o hacer los cruces con trazos.

Resultados:

- De los cruces entre individuos homocigóticos idénticos surge una descendencia al 100% idéntica a los padres:

PP x PP = 100% PP, color de pelo oscuro

pp x pp = 100% pp, color de pelo claro

- De los cruces entre homocigóticos dominantes y homocigóticos recesivos surge una descendencia 100% heterocigótica y con fenotipo color de pelo oscuro:

PP x pp = 100% Pp, color de pelo oscuro

	P	P
p	Pp	Pp
p	Pp	Pp

- De los cruces entre homocigóticos dominantes y heterocigóticos:

PP x Pp = 50% PP, y 50 % Pp, el fenotipo 100% pelo oscuro

	P	P
P	PP	PP
p	Pp	Pp

- De los cruces entre homocigóticos recesivos y heterocigóticos:

pp x Pp = 50% Pp, heterocigótico color oscuro y 50 % pp, color claro

	p	p
P	Pp	Pp
p	pp	pp

- De los cruces entre heterocigóticos:

Pp x Pp = 25% PP, 50 % Pp, (75% color oscuro) y 25% pp, color claro

	P	p
P	PP	Pp
p	Pp	pp

Análisis de los resultados

La hipótesis: el color de pelo oscuro es dominante sobre el color de pelo claro se confirma en todos los cruces. Un individuo presenta color de pelo claro sólo cuando es homocigótico recesivo. Estos individuos surgen de los cruces entre homocigóticos recesivos (100%), homocigóticos recesivos y heterocigóticos (50%), y heterocigóticos (25%). Sin embargo, en el momento en que aparece un alelo P el fenotipo es color oscuro. Estos individuos surgen de los cruces entre homocigotos dominantes (100%), homocigóticos dominantes y heterocigóticos (100%), homocigóticos recesivos y heterocigóticos (50%), y heterocigotos (75%).

El cruce que más evidentemente muestra esta relación dominancia – recesividad es el cruce entre heterocigóticos (1PP:2Pp:1pp). La relación proporcional de los fenotipos es 3: 1, el 75% de la población es de color oscuro frente al 25% color claro.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL PROBLEMA 1

VARIABLES METODOLÓGICAS

VM1: Análisis cualitativo del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna valoración cualitativa del problema.

Nivel 1: Se identifica o define un carácter relacionado con el pelo (color, forma, etc.) y se determinan los factores o manifestaciones que se van a tener en consideración (para el color: oscuro, claro), y la muestra de estudio.

Nivel 2: El término carácter se identifica con el concepto de gen, y se le asignan los alelos que serán dominantes o recesivos (para ello utilizan toda la información obtenida en la resolución del problema 1A). El alelo dominante se designa con una letra mayúscula y el recesivo con una letra minúscula.

Nivel 3: Se indica cuál va a ser el marco teórico en el que se va a resolver el problema; en este caso, la teoría cromosómica de la herencia. Se identifican los genotipos y fenotipos para ese gen porque una persona puede tener distintos genotipos para un mismo fenotipo.

VM2: Emisión de hipótesis

Nivel 0: No se plantea ninguna hipótesis.

Nivel 1: La hipótesis no tiene relación directa con el problema; por ejemplo, algo tan general como que el carácter se hereda de padres a hijos, o que uno de los fenotipos es dominante.

Nivel 2: En la hipótesis planteada se identifica a uno de los alelos como dominante o recesivo; pero sin basar tal hipótesis en el análisis anterior.

Nivel 3: La hipótesis sobre dominancia-recesividad de los alelos estudiados se apoya en el análisis cualitativo que los alumnos han realizado del problema, y va a seguir el modelo de herencia de Mendel.

VM3: Elaboración de una estrategia de resolución

Nivel 0: No se plantea ninguna estrategia de resolución del problema.

Nivel 1: Para resolver el problema se debe estudiar el carácter en la familia, necesitando realizar para ello un árbol genealógico.

Nivel 2: Los datos que se obtengan del árbol genealógico de la familia serán analizados para transformar esos datos, que son fenotipos, en los genotipos concretos de cada familiar.

Nivel 3: Se identificarán claramente fases en la resolución: elaboración de un árbol genealógico completo con los fenotipos y genotipos de cada individuo y con el mayor número de familiares de diversas generaciones; análisis de los datos obtenidos; búsqueda de distintos cruces que aporten datos.

VM4: Resolución del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna resolución.

Nivel 1: Se recogen datos en un árbol genealógico más o menos completo.

Nivel 2: El árbol genealógico es completo, los genotipos están totalmente identificados, y se realiza un análisis cualitativo de los datos que aporta.

Nivel 3: Además, se realiza un estudio de porcentajes de cada factor para alguno o todos los cruces posibles en la familia; usando cuadros de Punnett u otras herramientas similares.

VM5: Análisis de los resultados

Nivel 0: No se realiza ningún análisis de los resultados.

Nivel 1: El análisis realizado es cualitativo y sólo se identifica que uno de los fenotipos aparece más que el otro.

Nivel 2: El análisis es, además de cualitativo, cuantitativo y se determina en qué medida un fenotipo aparece con mayor frecuencia y en qué tipo de cruces.

Nivel 3: La interpretación de los resultados se realiza bajo el prisma de la teoría cromosómica de la herencia; identificando cada fenotipo con un genotipo; y volviendo a la hipótesis para contrastarla o no.

PROBLEMA 2

¿Qué ocurriría si un carácter no fuese ni dominante ni recesivo?

RESOLUCIÓN

Análisis cualitativo del problema

Cuando los alelos no se pueden definir como dominantes o recesivos no podemos hablar de una herencia mendeliana porque no hay un alelo que predomine respecto a otro. entonces, los dos alelos de un gen deben manifestarse como un carácter intermedio o nuevo; o bien los dos a la vez. Esto quiere decir que los heterocigóticos van a generar un nuevo carácter fenotípico.

Las condiciones que se van a acotar en este problema son las siguientes:

- El carácter está determinado por un solo gen que sólo presenta dos alelos (A_1 y A_2) que se denominan ambos con mayúsculas pero que al transmitirse generan un fenotipo intermedio entre el fenotipo de los homocigóticos.
- Los tres fenotipos resultantes se van a llamar: f_1 ($A_1 A_1$), $f_{1/2}$ ($A_1 A_2$) y f_2 ($A_2 A_2$).

La elección de la acotación anterior permite que el problema se resuelva de forma más general y se pueda aplicar a cualquier carácter que tenga herencia intermedia o codominante.

Emisión de hipótesis

Al no haber dominancia los caracteres intermedios o heterocigóticos van a ser mayoritarios en la población siempre que haya cruce entre individuos que presenten los dos alelos. La proporción fenotípica mendeliana 3:1 pasará a transformarse en 1:2:1, lo que significa que cada fenotipo corresponde a un único genotipo.

Elaboración de una estrategia de resolución

Realizar todos los cruces posibles entre los diferentes genotipos que, para ese carácter, se encuentren en una población. Los posibles cruces serían: homocigóticos x homocigóticos; homocigóticos x heterocigóticos; heterocigóticos x heterocigóticos.

Presentar los resultados fenotípicos y genotípicos en forma de porcentajes para cada uno de los cruces.

Establecer analogías o diferencias con el patrón de herencia dominancia - recesividad.

Resolución del problema

Los resultados de los siguientes cruces son los siguientes:

- homocigóticos x homocigóticos:

$A_1 A_1 \times A_1 A_1 = 100\% A_1 A_1, 100\%$
fenotipo 1

$A_2 A_2 \times A_2 A_2 = 100\% A_2 A_2, 100\%$
fenotipo 2

$A_1 A_1 \times A_2 A_2 = 100\% A_1 A_2, \text{fenotipo}$
 $\frac{1}{2}$

	A_1	A_1
A_2	$A_1 A_2$	$A_1 A_2$
A_2	$A_1 A_2$	$A_1 A_2$

- homocigóticos x heterocigóticos

$A_1 A_1 \times A_1 A_2 = 50\% A_1 A_1, \text{fenotipo}$
1; 50% $A_1 A_2, \text{fenotipo}$ $\frac{1}{2}$

	A_1	A_1
A_1	$A_1 A_1$	$A_1 A_1$
A_2	$A_1 A_2$	$A_1 A_2$

$A_2 A_2 \times A_1 A_2 = 50\% A_2 A_2, \text{fenotipo}$ 2;
50% , $A_1 A_2 \text{fenotipo}$ $\frac{1}{2}$

	A_2	A_2
A_1	$A_1 A_2$	$A_1 A_2$
A_2	$A_2 A_2$	$A_2 A_2$

- heterocigóticos x heterocigóticos

$A_1 A_2 \times A_1 A_2 = 25\% A_1 A_1, \text{fenotipo}$
1; 50% $A_1 A_2, \text{fenotipo}$ $\frac{1}{2}$; 25% $A_2 A_2,$
fenotipo 2

	A_1	A_2
A_1	$A_1 A_1$	$A_1 A_2$
A_2	$A_1 A_2$	$A_2 A_2$

En los mismos cruces bajo el supuesto de dominancia-recesividad sólo aparecerían dos fenotipos. Todos los fenotipos $\frac{1}{2}$ se sumarían al fenotipo dominante. El genotipo heterocigótico tendría el mismo fenotipo que el genotipo homocigótico dominante. Para el cruce heterocigótico x heterocigótico el resultado sería un 75% de fenotipo 1 y un 25% de fenotipo 2.

Análisis de los resultados

Los cruces entre homocigóticos idénticos no nos aportan ninguna información porque se mantienen los genotipos y fenotipos de los progenitores. Sin embargo, en el momento en el que aparecen los dos alelos, el genotipo y fenotipo más abundante es el intermedio. En los siguientes cruces el porcentaje de fenotipo intermedio es: homocigóticos diferentes el 100%, homocigóticos x heterocigóticos el 50%, heterocigóticos el 50%. El resto de las probabilidades se reparten a partes iguales entre los dos fenotipos restantes. En la herencia intermedia los genotipos coinciden con los fenotipos; así, las proporciones fenotípicas en un cruce entre heterocigotos es: $1 A_1 A_1 : 2 A_1 A_2 : 1 A_2 A_2$. En el caso de la herencia mendeliana (dominancia – recesividad) los genotipos y fenotipos no coinciden, y así, en el mismo tipo de cruce, las proporciones fenotípicas son: $3 (PP + Pp) : 1 (pp)$

Como ejemplo de este tipo de herencia tenemos la codominancia de los grupos sanguíneos A y B, de la cual los alumnos tienen información en la hoja del genoma humano que han manejado en la actividad sobre herencia de cromosomas (Anexo I). Otros ejemplos que se pueden utilizar para confirmar la hipótesis son el acné, y la altura que presentan herencia intermedia.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL PROBLEMA 2

VARIABLES METODOLÓGICAS

VM1: Análisis cualitativo del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna valoración cualitativa del problema.

Nivel 1: El significado de que un carácter no sea dominante ni recesivo es que, o bien aparece un fenotipo intermedio, o uno nuevo.

Nivel 2: Se acota el problema con un gen que presenta dos alelos a los que se da una terminología, sin diferenciar con mayúsculas y minúsculas para evitar paralelismos con la herencia dominante.

Nivel 3: Se definen los tres fenotipos que presenta un gen con dos alelos que no presente una herencia dominante.

VM2: Emisión de hipótesis

Nivel 0: No se plantea ninguna hipótesis

Nivel 1: La hipótesis será muy general: los nuevos fenotipos se heredarán; o bien, al cruzarse dos individuos con caracteres distintos aparecerá un híbrido con caracteres mezclados.

Nivel 2: La hipótesis planteada se centra en marcar una diferencia en cuanto al modelo de herencia mendeliana.

Nivel 3: La hipótesis es que la proporción de los descendientes de un cruce entre híbridos es 1:2:1; en vez de 3:1. O bien, que en cruces entre individuos no homocigóticos aparecerán en mayor proporción los individuos con fenotipo nuevo o intermedio.

VM3: Elaboración de una estrategia de resolución

Nivel 0: No se plantea ninguna estrategia de resolución del problema.

Nivel 1: Se plantea la necesidad de hacer algún cruce entre individuos con diferentes genotipos para ese carácter, o buscar alguna analogía conocida.

Nivel 2: Se deben realizar todos los cruces posibles entre homocigóticos, entre heterocigóticos, y entre homocigóticos y heterocigóticos.

Nivel 3: Además de realizar todos estos cruces, los resultados deberían compararse con los que se obtendrían si la herencia del carácter hubiera sido del tipo dominancia-recesividad.

VM4: Resolución del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna resolución.

Nivel 1: Se realizan algunos cruces aleatorios, o cruces donde los genotipos no están muy claros.

Nivel 2: Se realizan todos los cruces posibles y se dan los resultados obtenidos en forma de porcentajes de fenotipos, o de genotipos porque coinciden.

Nivel 3: La resolución se amplía con la comparación de estos resultados y los que se obtenían cuando un gen con dos alelos se heredaba de forma mendeliana.

VM5: Análisis de los resultados

Nivel 0: No se realiza ningún análisis de los resultados.

Nivel 1: El análisis de los resultados que se hace es cualitativo y sólo llega a identificar qué fenotipos aparecen y en qué proporción.

Nivel 2: En el análisis, se determina el modelo de herencia que siguen los alelos codominantes o intermedios, en el que los genotipos y fenotipos coinciden.

Nivel 3: El modelo de herencia seguido por los caracteres con herencia intermedia o codominante se compara con el modelo de herencia mendeliana y, de esta forma, se contrasta o no la hipótesis.

PROBLEMA 3

La herencia de los grupos sanguíneos A, B, AB y O, era utilizada como prueba para determinar la posible paternidad de los padres de un bebé. ¿Podrías conocer el grupo sanguíneo de un hijo tuyo?

RESOLUCIÓN

Análisis cualitativo del problema

La herencia de los grupos sanguíneos es compleja. En principio, tenemos cuatro fenotipos posibles (A, B, AB, O). El hecho de que exista un fenotipo que manifieste características de otros dos fenotipos sugiere que se está produciendo una herencia del tipo codominante, similar a la intermedia en cuanto a su patrón de herencia, 1:2:1. El cuarto fenotipo O implica la existencia de un tercer alelo. Por lo tanto nos encontramos ante un tipo de herencia donde se mezcla el multialelismo y la codominancia.

La denominación de los grupos sanguíneos hace referencia al tipo de proteínas específicas que aparecen en las membranas de los glóbulos rojos. Los individuos con grupo sanguíneo A tienen proteínas A en sus glóbulos rojos; los individuos con grupos sanguíneo B tienen proteínas B; los individuos con grupo sanguíneo AB presentan los dos tipos de proteínas; y los individuos con grupo sanguíneo O no tienen ninguna proteína.

Independientemente del número de alelos que presente un gen unos tienen que ser dominantes o codominantes sobre otros. De los tres alelos se va a considerar recesivo al que determina carácter grupo O porque este grupo sanguíneo es el único que no presenta proteínas específicas en las membranas de los glóbulos rojos. Los alelos para grupo sanguíneo A y B se van a considerar codominantes. El gen se va a denominar I y los alelos I^A , I^B e i.

La acotación del problema sería:

- Determinar el grupo sanguíneo propio. Para ello se tendrá que preguntar en casa.

- Determinar el grupo sanguíneo de la persona con la que se va tener un hijo. Podemos limitar el tipo de grupo sanguíneo o realizar todos los cruces posibles.

Emisión de hipótesis

La herencia de los grupos sanguíneos ABO depende de un gen con dos alelos codominantes (I^A , I^B) y un alelo recesivo (i). Las posibles combinaciones fenotípicas y genotípicas de estos alelos dos a dos serán:

Fenotipo grupo sanguíneo A: $I^A I^A$, $I^A i$

Fenotipo grupo sanguíneo B: $I^B I^B$, $I^B i$

Fenotipo grupo sanguíneo AB: $I^A I^B$

Fenotipo grupo sanguíneo O: ii

La hipótesis variará para cada pareja; pero sería de esta forma: Si mi grupo sanguíneo es ____, con genotipo ____, y el de mi pareja es ____; entonces, mi hijo probablemente tendrá el grupo sanguíneo ____.

Casos límite: En el caso de tener grupo sanguíneo O, el del hijo estará condicionado por el grupo sanguíneo que tenga la pareja. En el caso de tener un grupo sanguíneo AB, ninguno de los hijos podrá ser O, independientemente del grupo sanguíneo de la pareja. En el resto de los casos habría que valorar ambos grupos sanguíneos y sus genotipos.

Elaboración de una estrategia de resolución

Primero se debe conocer cuál es el grupo sanguíneo de uno mismo. Por ello, será necesario la realización de un pequeño estudio de la transmisión del carácter grupo sanguíneo dentro de una familia. Si, por alguna razón, es imposible conocer o determinar el grupo sanguíneo y genotipo de una persona se optará por elegir uno de entre los posibles.

Se identificarán los posibles grupos sanguíneos de las parejas con las que podamos tener descendencia y se realizarán todos los cruces posibles.

Resolución del problema

En el estudio que se haya hecho para conocer el propio grupo se puede realizar el árbol genealógico familiar. Se tiene que hacer corresponder a cada fenotipo un genotipo; teniendo en cuenta que una persona con un fenotipo A o B puede ser homocigótica o heterocigótica para ese carácter. Para conocer nuestro genotipo tendremos que fijarnos en los grupos sanguíneos de nuestros padres. Por ejemplo, si tenemos grupo sanguíneo A y uno de nuestros padres es de grupo sanguíneo O, entonces nuestro genotipo es $I^A i$.

Una vez determinado nuestro genotipo se realizan todos los cruces que se hubieran previsto. De todos los cruces se contabiliza el porcentaje de hijos que se tendrían de uno u otro grupo sanguíneo.

Análisis de los resultados

El análisis de los datos va a ser complejo por la gran cantidad de posibles genotipos implicados. El cruce más sencillo para conocer el tipo de descendencia posible entre individuos es el de $O \times O$; ya que, en los dos, son homocigóticos recesivos y todos sus descendientes serán O. El resto de los cruces deben de ser estudiados con cuidado, y si es necesario realizar un análisis por partes. Por ejemplo, un cruce entre individuos $A \times B$ puede ser: $I^A I^A \times I^B I^B$; $I^A I^A \times I^B i$; $I^A i \times I^B I^B$; $I^A i \times I^B i$. Cada uno de estos posibles cruces tendrá una descendencia con diferentes proporciones fenotípicas y genotípicas.

Al final, se tiene que llegar a una conclusión sobre el tipo de grupo sanguíneo que tendría un hijo nuestro; y, se debe realizar el contraste con la hipótesis de partida.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL PROBLEMA 3

VARIABLES METODOLÓGICAS

VM1: Análisis cualitativo del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna valoración cualitativa del problema.

Nivel 1: Los datos que se deben conocer son el propio grupo sanguíneo y el de la pareja.

Nivel 2: Se busca información sobre el gen de los grupos sanguíneos que presenta tres alelos, dos codominantes y uno recesivo (hoja del genoma humano, Anexo I).

Nivel 3: La acotación del problema no sólo se plantea en términos de fenotipo sino, también, en términos de genotipo. En este caso los tres alelos al combinarse dos a dos en los cromosomas homólogos forman seis combinaciones de posibles genotipos y dan lugar a los cuatro fenotipos conocidos (grupos sanguíneos A, B, AB y O)

VM2: Emisión de hipótesis

Nivel 0: No se plantea ninguna hipótesis.

Nivel 1: La hipótesis planteada es tan general, y sin base, como que los hijos heredan el grupo sanguíneo de sus padres.

Nivel 2: Se plantean hipótesis no fundamentadas como que los hijos tendrán el grupo sanguíneo de uno de los padres que presenta un fenotipo dominante.

Nivel 3: La hipótesis estará basada en los genotipos de cada una de los miembros de la pareja. Por ejemplo, si mi grupo sanguíneo es __, con genotipo __, y el de mi pareja es __; entonces, mi hijo probablemente tendrá el grupo sanguíneo __.

VM3: Elaboración de una estrategia de resolución

Nivel 0: No se plantea ninguna estrategia de resolución del problema.

Nivel 1: Se propone la realización de cruces entre los posibles grupos sanguíneos.

Nivel 2: Se identifican claramente los posibles cruces entre los genotipos de los grupos sanguíneos de la pareja. En cuanto al grupo sanguíneo de la pareja se puede optar por realizar todos los cruces posibles, o sólo algunos.

Nivel 3: Una vez determinado el grupo sanguíneo propio y de la pareja; y, realizados todos los cruces, se identificarán los genotipos más probables entre la descendencia. Se pueden estudiar por bloques: ¿qué genotipos tendría un hijo mío si mi pareja es de grupo sanguíneo A?, ¿y de grupo sanguíneo ...?

VM4: Resolución del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna resolución.

Nivel 1: Los alumnos identifican su grupo sanguíneo y el de sus posibles parejas y realizan cruces. Sin embargo, no identifican claramente genotipos y realizan cruces a partir de los fenotipos; o bien sólo realizan unos pocos cruces aleatorios.

Nivel 2: Se trabaja con genotipos y se realizan un gran número de cruces; identificando correctamente los genotipos y fenotipos de sus posibles hijos.

Nivel 3: La determinación de los genotipos y fenotipos de los posibles descendientes se acompaña con un estudio de probabilidades del tipo de grupo sanguíneo del hijo según el tipo de cruce entre los padres.

VM5: Análisis de los resultados

Nivel 0: No se realiza ningún análisis de los resultados.

Nivel 1: El análisis de los resultados es cualitativo y se queda en interpretaciones del tipo: nacen más hijos con este u otro grupo sanguíneo.

Nivel 2: El análisis de los resultados se hace de forma fragmentada para poder sacar interpretaciones válidas. Para cada tipo de pareja se determina el posible grupo sanguíneo del hijo y la probabilidad del mismo.

Nivel 3: Las conclusiones a las que lleve el análisis de los resultados para cada una de las posibles parejas se contrasta con la hipótesis planteada.

PROBLEMA 4

¿Qué ocurriría si el gen para un carácter se localizase en los cromosomas sexuales?

RESOLUCIÓN

Análisis cualitativo del problema

Los cromosomas sexuales o heterocromosomas son los que determinan el sexo de una persona. Los individuos XX son mujeres y los XY varones. El hecho de que estos cromosomas no se distribuyan en parejas idénticas en los dos sexos va a determinar una herencia diferencial en uno y otro sexo.

Además, el gen puede localizarse en el cromosoma X o Y. Si el gen en cuestión se localizase en el cromosoma Y, sólo se transmitiría a la descendencia masculina. Si el carácter se localiza en el cromosoma X, la herencia sería diferente para las mujeres que tienen dos copias del mismo, que para los varones que sólo tienen una copia.

En la acotación del problema se debe tener presente que es una herencia mendeliana con la particularidad de que el gen que determina para ese carácter se localiza en el par de cromosomas 23. El carácter presenta dos alelos (A y a), uno dominante y otro recesivo, y los fenotipos van a ser f1 (AA + Aa) y f2 (aa).

Si el gen está en el cromosoma Y sólo se presentará en varones y con un solo alelo A o a. Si el gen está en el cromosoma X, mujeres y varones tendrán distintos genotipos. Los varones sólo podrán tener un alelo, A o a, al presentar un solo cromosoma X; y las mujeres presentarán los tres genotipos posibles.

Emisión de hipótesis

El gen no se va a transmitir con la misma probabilidad en los dos sexos. Si el gen está en el cromosoma Y sólo se manifestará en varones. Si el gen está en el cromosoma X, en los varones se manifestará el alelo que aparezca en el único

cromosoma X que poseen, independientemente de que sea el alelo dominante o recesivo. En las mujeres las relaciones entre fenotipos y genotipos serán las mismas que para cualquier otro tipo de carácter en un autosoma, porque el fenotipo y el genotipo viene determinado por dos alelos.

Elaboración de una estrategia de resolución

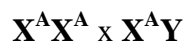
Se va a desarrollar la estrategia de resolución para el supuesto del gen en el cromosoma X. El caso del gen en el cromosoma Y no se va a resolver porque es más evidente. Todos los hijos varones reciben el alelo del gen que presente el padre en su cromosoma Y.

Se deben realizar todos los cruces posibles entre mujeres y varones que porten este carácter. Los varones podrán ser de dos tipos: $X^A Y$ de fenotipo 1 y $X^a Y$ de fenotipo 2; las mujeres podrán ser $X^A X^A$, $X^A X^a$, ambas de fenotipo 1 y $X^a X^a$ de fenotipo 2. De los cruces se obtendrán todos los posibles descendientes. Todos los datos se transformarán en probabilidades para cada tipo de fenotipo y genotipo, como para cada sexo.

Resolución del problema

Resultados de los posibles cruces:

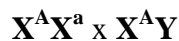
- Cruce entre los genotipos femeninos y el genotipo masculino $X^A Y$.



100% mujeres son $X^A X^A$, fenotipo 1

100% varones son $X^A Y$, fenotipo 1

	X^A	Y
X^A	$X^A X^A$	$X^A Y$
X^A	$X^A X^A$	$X^A Y$



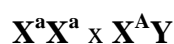
50% mujeres son $X^A X^A$, y 50% $X^A X^a$,

100% fenotipo 1

50% varones son $X^A Y$, fenotipo 1; y

50% $X^a Y$, fenotipo 2

	X^A	Y
X^A	$X^A X^A$	$X^A Y$
X^a	$X^A X^a$	$X^a Y$

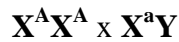


100% mujeres son $X^A X^a$, fenotipo 1

100% varones son $X^a Y$, fenotipo 2

	X^A	Y
X^a	$X^A X^a$	$X^a Y$
X^a	$X^A X^a$	$X^a Y$

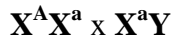
- Cruce entre los genotipos femeninos y el genotipo masculino X^aY .



100% mujeres son X^AX^a , fenotipo 1

100% varones son X^AY , fenotipo 1

	X^a	Y
X^A	X^AX^a	X^AY
X^A	X^AX^a	X^AY



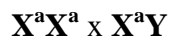
50% mujeres son X^AX^a fenotipo 1; y

50% X^aX^a , fenotipo 2

50% varones son X^AY , fenotipo 1; y

50% X^aY , fenotipo 2

	X^a	Y
X^A	X^AX^a	X^AY
X^a	X^aX^a	X^aY



100% mujeres son X^aX^a , fenotipo 2

100% varones son X^aY , fenotipo 2

	X^a	Y
X^a	X^aX^a	X^aY
X^a	X^aX^a	X^aY

Análisis de los resultados

De toda la información que se ha obtenido de estos cruces se puede concluir:

- Los varones sólo presentan un alelo del gen que es el que manifiestan.
- La herencia en los varones de caracteres que se localicen en los cromosomas X está condicionada por la información genética que reciban de la madre, ya que su único cromosoma X lo reciben de ella. De madres homocigóticas dominantes la descendencia masculina presenta fenotipo 1 dominante; de madres homocigóticas recesivas la descendencia masculina presenta fenotipo 2 recesivo, de madres heterocigóticas la mitad de la descendencia masculina es fenotipo 1 y la mitad fenotipo 2.
- La herencia en las mujeres está condicionada por la información genética del padre y de la madre, ya que uno de los cromosomas X procede del padre y el otro de la madre. Las posibilidades de combinación de alelos se simplifican puesto que el padre sólo lleva un alelo. En la herencia femenina aparecen individuos heterocigóticos que llevan un alelo recesivo aunque manifiesten el dominante. Este caso no se puede dar en varones. La herencia en las mujeres de un carácter que se localice en el cromosoma podría resumirse en:

- A partir de madre con genotipo homocigótico dominante toda la descendencia femenina presentará fenotipo dominante y ambos genotipos ($X^A X^A$, $X^A X^a$) dependiendo de si el padre era dominante o recesivo.
- A partir de madre con genotipo homocigótico recesivo, el factor más determinante que condiciona el genotipo y fenotipo de la descendencia es la información paterna. De padre dominante las hijas serán genotípicamente heterocigóticas y fenotípicamente dominantes. De padre recesivo todas las hijas serán homocigóticas recesivas.
- A partir de madre heterocigótica y padre dominante se originarán mujeres con fenotipo 1 dominantes y ambos genotipos ($X^A X^A$, $X^A X^a$); y si el padre es recesivo el 50% de las hijas serán heterocigóticas de fenotipo dominantes y el 50% homocigóticas recesivas de fenotipo 2 recesivo.

Todos estos datos se contrastan con la hipótesis de partida. La herencia en el varón está condicionada por un sólo cromosoma recibido de la madre. La herencia en la mujer es más parecida a la de los cromosomas autosómicos, aunque tampoco se cumplen las leyes de Mendel porque no se combinan aleatoriamente los cuatro alelos de dos personas; se combinan tres y la proporción es 1:1.

Los resultados obtenidos pueden comprobarse realizando un ejercicio de aplicación. Se va a utilizar el árbol genealógico de la Reina Victoria de Inglaterra para la transmisión de la hemofilia en su familia (ver Anexo I, Actividad 9).

CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL PROBLEMA 4

VARIABLES METODOLÓGICAS

VM1: Análisis cualitativo del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna valoración cualitativa del problema.

Nivel 1: Se identifican cuáles son los cromosomas sexuales. Las mujeres son XX y los varones XY.

Nivel 2: El hecho de que un gen se encuentre en los cromosomas sexuales implica que puede localizarse en el cromosoma X o en el Y, al no ser totalmente homólogos. La acotación del problema se hará identificando un gen con dos alelos (A, a) con una relación simple de dominancia-recesividad.

Nivel 3: Por lo tanto, el gen no se transmitirá, ni manifestará de la misma forma en mujeres y en varones. Si el gen se localiza en el cromosoma Y, sólo aparece en varones y el genotipo sólo presenta un alelo (A o a). Si el gen se localiza en el cromosoma X, se generan diferentes genotipos para mujeres (AA, Aa, aa) y para varones (A, a).

VM2: Emisión de hipótesis

Nivel 0: No se plantea ninguna hipótesis

Nivel 1: El gen que se va a heredar va a estar relacionado con el sexo.

Nivel 2: El gen va a heredarse de forma mayoritaria en uno de los sexos.

Nivel 3: La herencia de un gen localizado en los cromosomas sexuales afecta de forma diferente a varones y mujeres. En el caso del cromosoma Y sólo afectaría a varones; y en el caso del cromosoma X, las mujeres tendrían tres genotipos posibles y los varones sólo dos porque siempre manifestarían el alelo que presentasen.

VM3: Elaboración de una estrategia de resolución

Nivel 0: No se plantea ninguna estrategia de resolución del problema.

Nivel 1: Se deben realizar cruces entre individuos de distinto sexo que lleven este gen, o estudiar diferentes combinaciones genotípicas posibles y sus probabilidades.

Nivel 2: Se deben identificar todas las posibles combinaciones genotípicas y fenotípicas en mujeres y varones; y realizar todos los cruces posibles entre las mismas.

Nivel 3: Una vez realizados todos los cruces, se obtendrán datos en forma de porcentajes de los genotipos y fenotipos que aparecen, diferenciándolos en el caso de mujeres y de varones.

VM4: Resolución del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna resolución.

Nivel 1: Se realizan cruces aleatorios, o erróneos; o bien, a partir de los posibles genotipos de varones y hembras, se llegan a conclusiones sobre la incidencia de un gen.

Nivel 2: Se realizan todos los cruces posibles entre varones y mujeres con diferentes genotipos.

Nivel 3: Los resultados de los cruces aparecen en porcentajes para cada genotipo y fenotipo, y para cada sexo. Estos resultados se aplican a un árbol genealógico real, el de la familia real europea descendientes de la Reina Victoria de Inglaterra, portadora de hemofilia (ver Anexo I, Actividad 9).

VM5: Análisis de los resultados

Nivel 0: No se realiza ningún análisis de los resultados.

Nivel 1: El análisis que se realiza es cualitativo y sólo se evidencian diferencias entre los porcentajes de genotipos y fenotipos en varones y mujeres.

Nivel 2: El análisis es más amplio. Se diferencia la herencia del gen en el cromosoma Y, que sólo afecta a varones, de la herencia del gen en el cromosoma X que aparece en varones y mujeres aunque en distinta proporción.

Nivel 3: La herencia del gen en el cromosoma X se analiza para cada uno de los sexos, y se aplica a un caso real. Los varones presentan al 50% uno u otro de los alelos que tuviese la madre, siendo indiferente que sea dominante o recesivo. Las mujeres sólo manifiestan el recesivo en homocigosis. La herencia en mujeres es similar a la que ocurriría en un cromosoma autosómico como se planteaba en la hipótesis. La única diferencia es que la proporción de fenotipos será siempre del 100% o 50%:50% (1:1). La relación de fenotipos no puede ser 1:2:1 en el cruce de heterocigóticos porque los varones no pueden ser heterocigóticos.

PROBLEMA 5

¿Qué pasaría si un carácter estuviera determinado por más de un gen?

RESOLUCIÓN

Análisis cualitativo del problema

El problema plantea una nueva situación no recogida en las leyes de herencia de Mendel. Un carácter puede estar controlado por más de un gen. Esto implica mayor número de alelos que condicionan la manifestación fenotípica del carácter.

El problema se va a acotar restringiendo:

- el número de genes que intervengan en la herencia de un carácter a dos,
- el número de alelos de cada gen a dos; uno dominante y otro recesivo,
- todos los genes y sus alelos van a tener la misma nomenclatura; por lo tanto tenemos el gen 1 con los alelos N_1, n_1 ; y el gen 2 con alelos N_2, n_2 ,
- los genes se localizan en cromosomas distintos
- se identifican los genotipos posibles: $N_1N_1N_2N_2, \dots$

Emisión de hipótesis

La presencia de más alelos que intervengan en el fenotipo final va a permitir que aparezcan nuevos genotipos. Los genotipos dominantes y recesivos tendrán que serlo en ambos genes, y surgirán nuevos genotipos intermedios heterocigóticos que quizá no tengan por qué tener fenotipo dominante. La herencia de un carácter determinado por más de un gen va a ser diferente a la herencia mendeliana de un carácter determinado por un solo gen.

Elaboración de una estrategia de resolución

Lo primero que hay que hacer es determinar todos los tipos de genotipo posible y conferirles un determinado fenotipo. Los posibles genotipos y fenotipos se formarán variando de forma ordenada todos los alelos posibles. Para ello vamos a realizar un esquema que va partiendo de un alelo inicial y se va uniendo a cada uno de los alelos

posibles. A partir de estos datos se obtienen los porcentajes en los que aparecen los genotipos y fenotipos

La resolución también se puede plantear realizando un cruce entre dos individuos doblemente heterocigóticos ($N_1n_1N_2n_2 \times N_1n_1N_2n_2$). En este tipo de cruce se ponen en juego todas las posibles combinaciones de genotipos y fenotipos, pudiendo realizar el mismo tipo de estudio de probabilidades indicado arriba.

Los resultados obtenidos se comparan con el caso simple de un gen y dos alelos y se intentará llegar a una ley que permita calcular los genotipos y fenotipos posibles de un carácter determinado por un número n de genes.

Resolución del problema

COMBINACIONES		GENOTIPOS	FENOTIPOS	
N ₁	N ₁	N ₂	N ₁ N ₁ N ₂ N ₂ (a)	NNNN fenotipo 1
		n ₂	N ₁ N ₁ N ₂ n ₂ (b)	NNNn fenotipo 2
		N ₂	N ₁ N ₁ n ₂ N ₂ (b)	NNNn fenotipo 2
		n ₂	N ₁ N ₁ n ₂ n ₂ (c)	NNnn fenotipo 3
	n ₁	N ₂	N ₁ n ₁ N ₂ N ₂ (d)	NNNn fenotipo 2
		n ₂	N ₁ n ₁ N ₂ n ₂ (e)	NNnn fenotipo 3
		N ₂	N ₁ n ₁ n ₂ N ₂ (e)	NNnn fenotipo 3
		n ₂	N ₁ n ₁ n ₂ n ₂ (f)	Nnnn fenotipo 4
n ₁	N ₁	N ₂	n ₁ N ₁ N ₂ N ₂ (d)	NNNn fenotipo 2
		n ₂	n ₁ N ₁ N ₂ n ₂ (e)	NNnn fenotipo 3
		N ₂	n ₁ N ₁ n ₂ N ₂ (e)	NNnn fenotipo 3
		n ₂	n ₁ N ₁ n ₂ n ₂ (f)	Nnnn fenotipo 4
	n ₁	N ₂	n ₁ n ₁ N ₂ N ₂ (c)	NNnn fenotipo 3
		n ₂	n ₁ n ₁ N ₂ n ₂ (g)	Nnnn fenotipo 4
		N ₂	n ₁ n ₁ n ₂ N ₂ (g)	Nnnn fenotipo 4
		n ₂	n ₁ n ₁ n ₂ n ₂ (h)	nnnn fenotipo 5

Un carácter determinado por dos genes con dos alelos cada gen presenta todas las 16 posibilidades de combinación que aparece en el cuadro que se corresponden con **8 genotipos diferentes** (a, b, c, d, e, f, g, h) y **5 posibles fenotipos**, que aparecen en la siguiente proporción, 1:4:6:4:1.

$$1NNNN: 4NNNn: 6NNnn: 4Nnnn: 1nnnn$$

- 1 gen y dos alelos (2×1) → 3 fenotipos (NN, Nn, nn en la herencia intermedia); ($2 \times 1 + 1 = 3$)
- 2 genes y 4 alelos (2×2) → 5 fenotipos (NNNN, NNNn, ..); ($2 \times 2 + 1 = 5$)
- 3 genes y 6 alelos (2×3) → 7 fenotipos (NNNNNN, NNNNNn...); ($2 \times 3 + 1 = 7$)
-
- n genes y 2n alelos ($2 \times n$) → $2n + 1$ fenotipos

En cuanto al cruce de heterocigóticos dobles que se ha realizado es el único cruce que nos permite obtener todas las combinaciones de genotipos y fenotipos. La proporción de fenotipos es 1:4:6:4:1 igual que en la tabla de combinaciones.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL PROBLEMA 5

VARIABLES METODOLÓGICAS

VM1: Análisis cualitativo del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna valoración cualitativa del problema.

Nivel 1: Se determina el número de genes que van a influir en la manifestación del carácter; y si se localizan en uno o varios cromosomas.

Nivel 2: A cada gen se le adjudica sus alelos correspondientes (pueden utilizar la misma o distinta terminología), y se define el tipo de relación entre los alelos, dominancia-recesividad, codominancia, etc.

Nivel 3: Se identifican los genotipos y fenotipos posibles que se dan cuando interviene más de un gen en la herencia de un carácter.

VM2: Emisión de hipótesis

Nivel 0: No se plantea ninguna hipótesis.

Nivel 1: La herencia de un carácter determinado por más de un gen será influida por el gen dominante.

Nivel 2: La herencia de un carácter determinado por más de un gen debe permitir la existencia de mayor número de combinaciones al aparecer nuevos genotipos y fenotipos.

Nivel 3: La herencia de un carácter en estas circunstancias diferirá de la herencia de un gen determinado por un solo gen, porque tienen que aparecer distintas proporciones genotípicas y fenotípicas.

VM3: Elaboración de una estrategia de resolución

Nivel 0: No se plantea ninguna estrategia de resolución del problema.

Nivel 1: La forma de resolverlo será realizar algunos cruces o combinaciones, sin especificar cuáles o cómo.

Nivel 2: Se identifica cómo realizar todas las combinaciones posibles de genotipos o fenotipos, o los tipos de cruces entre individuos con estos genes que se van a estudiar por ser los más significativos.

Nivel 3: Los resultados obtenidos de la realización de combinaciones o cruces se recogen en forma de proporciones o porcentajes.

VM4: Resolución del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna resolución.

Nivel 1: Se realiza una resolución incompleta o incorrecta a la hora de identificar combinaciones o cruces de individuos.

Nivel 2: Se realiza una resolución clara y correcta en cuanto a tipos de combinaciones y cruces.

Nivel 3: Los resultados se acompañan con referencias dadas en porcentajes o en proporciones.

VM5: Análisis de los resultados

Nivel 0: No se realiza ningún análisis de los resultados.

Nivel 1: El análisis de los resultados es cualitativo y se traduce en que aparecen otros genotipos, en mayor o menor medida.

Nivel 2: Se determina la diferencia entre los resultados de este tipo de herencia y la herencia de un carácter determinado sólo por un gen.

Nivel 3: Se realiza un análisis comparativo y se contrasta con la hipótesis planteada.

PROBLEMA 6

¿Podría aparecer un nuevo carácter en una familia?

RESOLUCIÓN

Análisis cualitativo del problema

Cada individuo obtiene la mitad de su información de cada uno de sus padres. No existe ningún otro mecanismo de herencia y sólo se manifiestan los genotipos que ha heredado del óvulo y espermatozoide de sus progenitores. Sin embargo, los hijos pueden presentar caracteres nuevos y distintos (fenotipos) a los fenotipos que presentan los padres.

Las explicaciones de estos hechos pueden buscarse en la manifestación de un alelo recesivo, o en la existencia de una mutación. Cualquiera de estas explicaciones supone un problema distinto.

- En el primer supuesto, aparición de un carácter recesivo, el problema puede restringirse a un carácter de herencia mendeliana (color de pelo, albinismo). Se define el carácter coloración de piel con los alelos A (normal) y a (albinismo) y se procede a realizar cruces dentro de una población con color de piel normal.
- En el segundo supuesto, mutación, un gen puede modificar su funcionamiento por la acción de diversos agentes mutágenos (radiaciones, sustancias químicas, etc.). Para que la mutación se herede debe haber tenido lugar en el proceso de formación de óvulos o espermatozoides. Por ejemplo alelo normal de un gen que muta y se manifiesta en forma de leucemia, o cromosomas que se dividen incorrectamente en el síndrome de Down.

Emisión de hipótesis

Es posible que dentro de una familia aparezcan nuevos caracteres si se producen situaciones como:

H1: el nacimiento de individuos homocigóticos recesivos a partir de padres heterocigóticos para ese carácter;

H2: se produce una mutación en un alelo, o una división meiótica incorrecta

Elaboración de una estrategia de resolución

A continuación se proponen estrategias de resolución para las dos hipótesis de partida:

1. El problema de la aparición de caracteres recesivos se podría resolver generando todos los cruces entre individuos que manifiestan el carácter dominante pero que son heterocigotos.
2. El problema de la presencia de un gen mutado se podría resolver realizando esquemas de divisiones celulares donde aparezcan mutaciones y su herencia. Estas mutaciones, para que las herede la descendencia, deben producirse en las células germinales, óvulos y espermatozoides.

Resolución del problema

1. En la resolución correspondiente a la H1, se realiza el cruce entre dos individuos heterocigóticos (Aa) que manifiestan un fenotipo dominante para un determinado carácter. En su posible descendencia el 75% de los hijos presentarán el mismo fenotipo que los padres (25% AA y 50% Aa) y un 25% fenotipo recesivo (aa) que no se manifestaba en los padres ni en otros miembros de la familia que también eran de fenotipo dominante. Esta resolución puede realizarse a partir de un árbol genealógico ficticio o real donde se de un carácter dominante en una familia menos en un miembro de la misma que hereda dos alelos recesivos.
2. En la resolución correspondiente a la H2, se dibujan las células que originan a los óvulos y espermatozoides. Se identifican cromosomas y un gen mutado en uno de ellos. Se procede a la división meiótica, y se estudia la probabilidad de que un óvulo o espermatozoide reciba el gen mutado, y la probabilidad de que lo herede un hijo de esa persona.

Análisis de los resultados

Los resultados de ambas resoluciones demuestran que pueden surgir nuevos fenotipos. Las probabilidades de que surjan estos fenotipos recesivos, o se herede la mutación, es baja y por eso en algunas familias tarda generaciones en manifestarse.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL PROBLEMA 6

VARIABLES METODOLÓGICAS

VM1: Análisis cualitativo del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna valoración cualitativa del problema.

Nivel 1: Un carácter nuevo no puede aparecer en una familia si antes no estaba presente, o si no se producen cruces entre familias con caracteres diferentes.

Nivel 2: Se identifica una de las posibles causas de que un carácter surja en una familia donde antes nunca había existido (un alelo recesivo o una mutación que afecte a células reproductoras).

Nivel 3: Se piensa en una o varias causas de que aparezcan nuevos caracteres en una familia, y se opta por trabajar bajo un supuesto que es acotado.

VM2: Emisión de hipótesis

Nivel 0: No se plantea ninguna hipótesis.

Nivel 1: La hipótesis que se plantea no responde al problema planteado; por ejemplo, “es imposible la aparición de nuevos caracteres en una familia”, o “aparecen nuevos caracteres porque se cruzan familias con caracteres diferentes”.

Nivel 2: La hipótesis indica que pueden aparecer nuevos caracteres por: 1. alelos recesivos enmascarados, 2. mutación; sin embargo, no existe una fundamentación de la misma.

Nivel 3: La hipótesis se concreta mucho más: Pueden aparecer nuevos caracteres por: 1. alelos recesivos enmascarados en padres heterocigóticos, 2. mutación producidas en células germinales; en ambos casos su aparición será una cuestión de azar, y la probabilidad de que ocurra es baja.

VM3: Elaboración de una estrategia de resolución

Nivel 0: No se plantea ninguna estrategia de resolución del problema.

Nivel 1: En la resolución se realizarán algunos cruces o dibujos; pero sin especificar nada más.

Nivel 2: En la resolución se realizarán algunos cruces o esquemas aclaratorios; especificando el genotipo de los individuos que se van a cruzar, o un tipo de esquema que represente una mutación.

Nivel 3: Tras la realización de estos cruces o esquemas, los datos que se obtengan se darán en forma de porcentajes.

VM4: Resolución del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna resolución.

Nivel 1: Se realizan algunos cruces o esquemas para intentar resolver el problema; sin embargo, resultan incompletos o erróneos; o bien se hace una resolución sin sentido porque el nuevo carácter que aparece ya lo tenía uno de los progenitores.

Nivel 2: Se realizan cruces (entre individuos heterocigotos para un carácter, o con un gen mutado) o esquemas (sobre divisiones meióticas) que demuestran cómo pueden transmitirse y aparecer nuevos caracteres en una familia.

Nivel 3: La resolución se acompaña con algún tipo de estudio de probabilidades, o realizando un seguimiento del nuevo carácter a lo largo de varias generaciones.

VM5: Análisis de los resultados

Nivel 0: No se realiza ningún análisis de los resultados.

Nivel 1: El análisis es superficial y sólo confirma que aparecen nuevos caracteres.

Nivel 2: El análisis permite determinar las circunstancias concretas en las que una familia podría encontrarse en esta situación, y por qué el carácter no había surgido hasta ese momento.

Nivel 3: Tras el análisis se confirma la hipótesis de partida y se plantean situaciones concretas a las que se da una interpretación utilizando estos resultados.

PROBLEMA 7

La calvicie es un asunto que preocupa más a hombres que a mujeres. ¿Por qué crees que este carácter aparece principalmente en varones?

RESOLUCIÓN

Análisis cualitativo del problema

La calvicie o la falta de pelo es un carácter que afecta mayoritariamente a varones. De padres calvos nacen hijos calvos; pero no hijas calvas. La calvicie en mujeres es muy rara; aunque algunas señoras mayores tienen muy poco pelo. En principio, la calvicie va ser considerado como un carácter hereditario aunque también se vea influida por causas externas como el estrés, enfermedades, la estación del año, etc.

El problema se va a acotar trabajando con un gen que determina el carácter calvicie con herencia de dominancia simple. En varones la calvicie es dominante así que este gen va a tener dos alelos: C para calvicie y c para 'no calvicie'.

El hecho de que la calvicie sea un carácter que aparece más en hombres puede deberse a que sea un carácter ligado al sexo o ser un carácter influido por el sexo. Si se tratase de un gen ligado al sexo debería encontrarse en el cromosoma X, y ser recesivo el alelo de la calvicie; y si se encontrase en el cromosoma Y, no podrían existir casos de calvicie femenina. En el caso de tratarse de un gen influido por el sexo se localizaría en un autosoma, y el alelo de la calvicie se comportaría como dominante frente a hormonas masculinas y como recesivo frente a hormonas femeninas.

La calvicie, realmente, es un carácter localizado en un autosoma que se comporta de forma dominante en los varones y de forma recesiva en las mujeres. Este comportamiento del gen influido por el ambiente no es conocido por los alumnos que van a resolver el problema; por lo tanto, pueden hacer diversas valoraciones cualitativas del mismo, unas más válidas que otras desde el punto de vista del conocimiento científico actual. La menos válida sería considerar que la calvicie femenina no existe;

sin embargo muchas personas creen así es, y que cuando una mujer pierde pelo es por el uso de tintes, radioterapia o estrés. Por supuesto también pueden existir las mismas creencias para las calvicies masculinas.

Emisión de hipótesis

Las hipótesis que se pueden plantear son diversas; aunque con diverso grado de validez. La primera hipótesis se va a considerar válida pero con poca base, y las otras dos hipótesis se van a considerar válidas y más fundamentadas; aunque sólo la tercera sea la que se ajusta a una situación real.

H1: La calvicie sólo aparece en varones porque es un gen que se localiza en el cromosoma Y que sólo se transmite de padres a hijos varones.

H2: La calvicie afecta más a hombres que a mujeres porque este gen se localiza en el cromosoma X, y es recesivo. Sólo las mujeres que tengan el alelo recesivo en ambos cromosomas X serán calvas. Los varones serán calvos siempre que lleven el alelo recesivo porque sólo tienen un cromosoma X.

H3: La herencia de la calvicie sigue un modelo de herencia mendeliana, con la diferencia de que el gen de la calvicie es dominante en los varones, y recesivo en las mujeres. La explicación a este hecho debe estar en algo que diferencie a varones y mujeres. La única diferencia morfológica y fisiológica entre ambos sexos viene determinada por el proceso de reproducción. Hombre y mujeres presentan distintos aparatos reproductores y distintas hormonas. Es probable que las hormonas femeninas influyan en la no manifestación del carácter calvicie. Por ello, las mujeres mayores que producen menos hormonas femeninas sufren pérdidas de cabello.

Elaboración de una estrategia de resolución

Para resolver el problema (en cualquiera de los tres supuestos) se realizará un estudio de la transmisión del carácter calvicie dentro de una familia real o ficticia, donde se estudiará cómo se transmite el carácter, marcando diferencias entre ambos sexos.

Resolución del problema

La resolución del problema partiendo de las hipótesis 1 y 2 es similar al proceso de resolución seguido en el P4; por lo tanto no se va a incidir sobre la misma.

La resolución realizada a partir de la hipótesis 3 se hará a partir de cruces o de un árbol genealógico, en el caso de que se tengan datos de calvicie en una familia. Los individuos masculinos no calvos serán cc y los calvos CC o Cc . En cuanto a las mujeres, los genotipos cc y Cc será de no calvas, y sólo las homocigóticas dominantes, CC , serán calvas.

A partir de estos datos, el resto de los cruces posibles serían los siguientes:

calvo x calva:

$CC \times CC = 100\%$ de hijos e hijas calvas

$Cc \times CC = 100\%$ de hijos calvos (CC y Cc); y las hijas 50% calvas (CC) y 50% no calvas (Cc)

calvo x 'no calva':

$CC \times Cc = 100\%$ de hijos calvos (CC y Cc); y las hijas 50% calvas (CC) y 50% no calvas (Cc)

$CC \times cc = 100\%$ hijos calvos (Cc) y 100% hijas 'no calvas' (Cc)

$Cc \times Cc = 75\%$ hijos calvos (CC y Cc) y 25% hijos 'no calvos' (cc); 25% (CC) hijas calvas y 75% hijas 'no calvas' (Cc y cc)

$Cc \times cc = 50\%$ varones calvos (Cc) y 50% 'no calvos' (cc), 100% de hijas 'no calvas' (Cc y cc)

'no calvo' x calva

$cc \times CC = 100\%$ hijos calvos y 100% de las hijas 'no calvas' (Cc)

'no calvo' x 'no calva'

$cc \times Cc = 50\%$ hijos calvos (Cc) y 50% hijos 'no calvos' (cc); 100% hijas 'no calvas' (Cc y cc al 50%)

$cc \times cc = 100\%$ hijos e hijas 'no calvos'.

Si la resolución se hace a partir de un árbol genealógico se deberán indicar los genotipos de cada persona. A la hora de completar los genotipos del los hijos de un hombre calvo, hijos e hijas podrían tener los mismos genotipos; pero no los mismos fenotipos.

Análisis de los resultados

El análisis de los resultados deberá realizarse de forma independiente en cada uno de los sexos.



Analizando todos estos datos se llega a la conclusión de que el tipo de herencia es mendeliana y que al cruzar heterocigotos se obtiene la proporción $1CC:2Cc:1cc$ que

refleja la relación entre homocigóticos y heterocigóticos con la salvedad de que en los varones la calvicie es dominante con una proporción de 3 (CC + Cc):1(cc), y en las mujeres es recesiva con una proporción 1(CC):3(Cc + cc).

Cc (calvo) x Cc ('no calva')



Descendencia masculina

	C	C
C	CC	Cc
c	Cc	Cc

75% calvos 
 25% 'no calvos' 

Descendencia femenina

	C	C
C	CC	Cc
c	Cc	Cc

25% calvas 
 75% 'no calvas' 

CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL PROBLEMA 7

VARIABLES METODOLÓGICAS

VM1: Análisis cualitativo del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna valoración cualitativa del problema.

Nivel 1: Se identifica en qué supuestos la calvicie aparece en mujeres o en varones, y si aparece o no en la misma proporción.

Nivel 2: Se plantea alguna causa de que la calvicie afecte más a varones: herencia ligada al sexo (X, Y), cuestiones hormonales, etc.

Nivel 3: Se analiza si alguna de estas causas puede ser más factible que las demás, y se acota el problema identificando genes, alelos, y cromosomas en los que se encuentran.

VM2: Emisión de hipótesis

Nivel 0: No se plantea ninguna hipótesis

Nivel 1: La calvicie sólo aparece en varones, o de forma dominante en varones, porque es un carácter que se transmite de padres a hijos.

Nivel 2: La calvicie sólo aparece en varones y es debida a una herencia en el cromosoma Y, exclusivo de varones.

Nivel 3: La calvicie es mayoritaria en varones porque es un carácter recesivo ligado al cromosoma X, y eso hace que las mujeres en heterocigosis sean portadoras pero no calvas; o bien, la calvicie es un carácter influido por el sexo y se comporta como dominante frente a hormonas masculinas y recesivo frente a hormonas femeninas.

VM3: Elaboración de una estrategia de resolución

Nivel 0: No se plantea ninguna estrategia de resolución del problema.

Nivel 1: Se realiza algún tipo de cruce o árbol genealógico sólo identificando fenotipos; o bien, se aporta un razonamiento lógico que explique esta situación.

Nivel 2: Se realizan cruces o árboles genealógicos identificando genotipos y posibles herencias en hombres y mujeres.

Nivel 3: Se realizan los diversos cruces entre personas calvas y no calvas, y se estudian determinando las frecuencias de genotipos y fenotipos en ambos sexos.

VM4: Resolución del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna resolución.

Nivel 1: Se realizan cruces entre hombres y mujeres calvos y no. Sin embargo, la resolución es errónea o incompleta a la hora de identificar genotipos o fenotipos.

Nivel 2: Se realizan cruces correctos o adecuados (o árboles genealógicos) para identificar la herencia de la calvicie, en cualquiera de los tres supuestos posibles.

Nivel 3: La resolución de los cruces entre personas calvas y no (o del árbol genealógico) se realiza a partir de los supuestos de la H2 y la H3, y se dan los resultados en forma de probabilidades de que ocurra en uno u otro sexo.

VM5: Análisis de los resultados

Nivel 0: No se realiza ningún análisis de los resultados.

Nivel 1: Se realiza un análisis cualitativo del tipo: aparecen más calvos que calvas.

Nivel 2: El análisis permite diferenciar la probabilidad de herencia de la calvicie en varones y mujeres en el supuesto de la H1.

Nivel 3: El análisis de los resultados permite contrastar las hipótesis H2 y H3. Además se puede aplicar la resolución a realizar predicciones de calvicie dentro de la familia.

PROBLEMA 8

Un grupo de personas de piel blanca colonizó una región del África del Sur. Una vez establecida su comunidad, realizaron matrimonios entre ellos. ¿Cómo crees que será la piel de los bebés que nazcan después de muchas generaciones?

RESOLUCIÓN

Análisis cualitativo del problema

Una constante que se repite en el análisis de los problemas abiertos de genética es que cada individuo recibe su información hereditaria de sus padres. Por lo tanto no se puede heredar un carácter que no aparezca en la información genética de uno u otro padre. No se heredan los estudios, ni las destrezas físicas desarrolladas por ellos; aunque sí las capacidades intelectuales y físicas. No se heredan heridas o lesiones sufridas a lo largo de la vida de los padres; aunque sí la predisposición a padecer enfermedades de tipo genético.

Sólo se heredarían caracteres nuevos en supuestos como: aparición de alelos recesivos, que no es información nueva; mutación que modifica la información genética; y acción de los factores ambientales sobre información genética ya existente.

La acotación del problema va a ser la siguiente:

- El carácter color de piel blanco o negro está regulado por dos genes; sin embargo para resolver el problema podemos trabajar con un solo gen.
- El gen color de piel presenta dos alelos: N es dominante y se manifiesta con coloración de piel negra y, n es recesivo y corresponde a coloración de piel clara.
- La herencia de este carácter va a ser de tipo intermedio porque en los cruces entre blancos y negros surgen individuos negros o mulatos. El carácter piel blanca siempre aparece como recesivo.
- No se van a tener en consideración la posibilidad de que surja de forma espontánea un carácter nuevo. Primero porque los individuos de piel blanca son recesivos y

llevan en su genotipo un solo tipo de alelo para este gen. Segundo, no se han descrito jamás mutaciones que provocasen el cambio de blanco a negro o viceversa en cruces entre individuos puros (NN o nn). Tercero, tampoco hay datos que apoyen que algún factor ambiental, sea el clima o cualquier otro, cambie la coloración de blanco a negro o viceversa. Cuando tomamos el Sol decimos que nos ponemos morenos no que el color de nuestra piel sea como la piel de individuos negros o mulatos.

Emisión de hipótesis

La descendencia de los colonos sólo puede ser de piel blanca. Los colonos tienen que ser homocigóticos recesivos, y el cruce entre este tipo de individuos sólo puede originar descendientes con el mismo genotipo y fenotipo que el parental.

Elaboración de una estrategia de resolución

La resolución del problema puede hacerse realizando sobre el papel todos los cruces entre distintas generaciones de colonos hasta llegar a demostrar que en todas las generaciones venideras sólo aparecerá el color de piel blanco.

Resolución del problema

Partimos de una 1ª generación de colonos que para el carácter color de piel presentan el genotipo aa = piel blanca.

GENERACIONES	CRUCES	DESCENDENCIA
1ª Generación	100% aa x aa —————	2ª Generación: 100% aa = piel blanca
2ª Generación	100% aa x aa —————	3ª Generación: 100% aa = piel blanca
.....		n Generación: 100% aa = piel blanca
n Generación	100% aa x aa —————	n + 1 Generación: 100% aa = blanca

Análisis de los resultados

Todos los datos confirman la hipótesis y la valoración inicial del problema. El 100% de los descendientes de estos colonos blancos tendrán que nacer con la piel blanca; aunque sus padres y ellos mismos por vivir en un clima muy cálido vayan generando mayores cantidades de melanina a lo largo de su vida.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL PROBLEMA 8

VARIABLES METODOLÓGICAS

VM1: Análisis cualitativo del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna valoración cualitativa del problema.

Nivel 1: El carácter color de piel está determinado genéticamente; aunque puede que ese carácter se vea afectado por vivir en una región cálida; y que los descendientes hereden ese nuevo carácter.

Nivel 2: En la herencia del color de piel hay más de un gen implicado, aunque se podría trabajar como si fuese un carácter determinado por un gen. Si trabajamos con varios genes hay numerosos genotipos intermedios entre el blanco puro y el negro puro; si trabajamos con un gen la herencia es intermedia pues al juntarse una persona de piel blanca y de piel oscura surgen mulatos de distintos grados. Quizá los colonos no eran blancos puros, sino híbridos.

Nivel 3: Una persona de color de piel blanca sólo puede llevar alelos para el color blanco, por lo tanto es homocigótico para ese carácter. Si llevase alelos de color manifestaría distintos grados de piel mulata. El problema se acota trabajando con uno o varios genes, identificando alelos y tipo de herencia entre ellos.

VM2: Emisión de hipótesis

Nivel 0: No se plantea ninguna hipótesis.

Nivel 1: La piel de los bebés debería ser blanca; aunque quizá pudiese cambiar con el tiempo; o quizá los colonos no eran blancos puros.

Nivel 2: La piel de los bebés debe ser blanca como la de sus padres.

Nivel 3: La piel de los bebés debe ser blanca porque la única información genética que pueden recibir de sus padres son alelos de color blanco. El hecho de que las personas adultas se puedan poner morenas no afecta a la herencia que transmiten.

VM3: Elaboración de una estrategia de resolución

Nivel 0: No se plantea ninguna estrategia de resolución del problema.

Nivel 1: Se debe realizar algún cruce entre personas con color de piel blanca.

Nivel 2: Se deben realizar cruces de personas de color de piel blanca a lo largo de varias generaciones.

Nivel 3: En cada generación se determina el porcentaje de genotipos, fenotipos y alelos del gen implicados.

VM4: Resolución del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna resolución.

Nivel 1: Se realiza una resolución errónea con algún cruce entre individuos con genotipos incorrectos; o bien se intenta razonar cómo se pueden heredar caracteres adquiridos.

Nivel 2: Se realiza un conjunto de cruces entre individuos de color de piel blanca que abarque varias generaciones.

Nivel 3: Además, en cada generación se dan los porcentajes de cada genotipo y cada fenotipo.

VM5: Análisis de los resultados

Nivel 0: No se realiza ningún análisis de los resultados.

Nivel 1: El análisis de los resultados es incompleto o erróneo por partir de datos incorrectos desde el análisis cualitativo del problema.

Nivel 2: El análisis de los resultados confirma la hipótesis de partida; pero aún se plantean dudas sobre si en alguna circunstancia podría variar el color de piel de los bebés.

Nivel 3: El análisis de los resultados confirma de forma definitiva la hipótesis. Si no hay un cambio en la información genética de estos individuos (mutación o cruce con individuos con piel de otro color), los bebés seguirán naciendo con el color de piel de sus antepasados.

PROBLEMA 9

Una persona expuesta al sol desarrolla cáncer de piel, ¿sus hijos tendrán cáncer de piel?

RESOLUCIÓN

Análisis cualitativo del problema

El cáncer de piel es una enfermedad que surge debido a la exposición prolongada en el tiempo y sin protección a la acción de los rayos UV del Sol. Una persona que padece cáncer de piel no ha nacido con esta enfermedad sino que la ha generado en su vida adulta. Las radiaciones solares han provocado modificaciones genéticas en las células epidérmicas que se han transformado en cancerígenas.

A partir de estos datos el problema consiste en demostrar que las modificaciones genéticas que afecten a células del cuerpo, siempre que no sean los gametos, no se transmiten a la descendencia. Por ello, no se heredan las quemaduras con agua hirviendo, los huesos rotos en accidente, ni el cáncer de piel.

También se podrían generar nuevas perspectivas desde las que analizar el problema: ¿las personas heredan cierta predisposición a padecer cáncer de piel que se manifiesta si se exponen a los rayos solares, o la incidencia del cáncer de piel sólo se asocia a ciertos hábitos?

Emisión de hipótesis

Las hipótesis que se pueden plantear son las siguientes:

H1: El cáncer de piel es un carácter adquirido que afecta a células somáticas y que por lo tanto no se transmite a la descendencia.

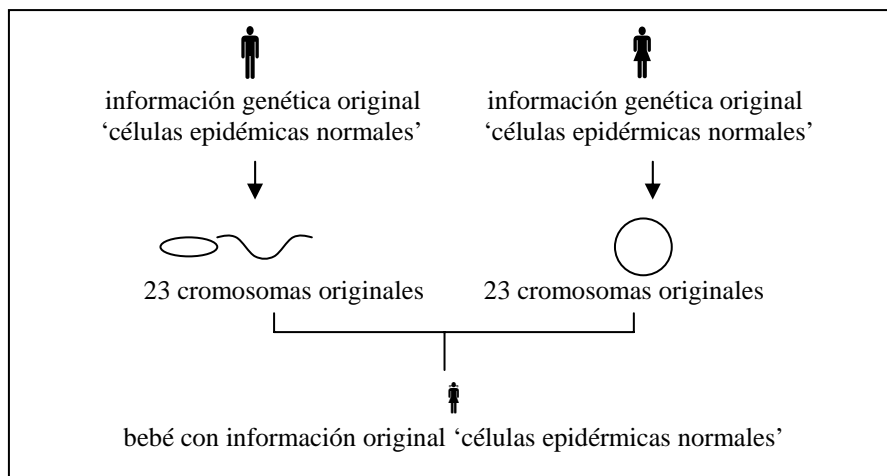
H2: La predisposición genética al cáncer de piel indicaría una mayor incidencia de esta enfermedad en unos grupos familiares que en otros expuestos a las mismas condiciones de exposición solar.

Elaboración de una estrategia de resolución

1. La resolución del problema, a partir de la H1, se puede realizar sobre el papel a base de un razonamiento lógico, o con esquemas o cruces.
2. La resolución del problema, a partir de la H2, supondría diseñar una investigación en la que se estudiaría a poblaciones divididas en grupos familiares que vivan en una determinada latitud y tengan unos mismos hábitos respecto a la exposición a los rayos solares. A lo largo de los años (décadas) se tomarían datos sobre la incidencia del cáncer de piel en estos grupos familiares.

Resolución del problema

Sólo se va a resolver el problema bajo el supuesto 1, cuya formulación es más cercana a la del problema inicial. Además, es el único que se puede resolver de forma inmediata. La información genética de un individuo que va a transmitir a su descendencia no es la de cualquier célula corporal, aunque todas lleven la misma información hereditaria. Sólo las células que formen óvulos o espermatozoides aportan el material genético del nuevo individuo. Si en estas células no existía desde el principio un gen que generase cáncer de piel, es imposible que una información inexistente se transmita a otras generaciones.



Análisis de los resultados

La resolución del problema ha consistido en un razonamiento lógico a partir de los conocimientos previos y, se confirma la hipótesis de que los caracteres adquiridos no se heredan. Sólo se heredarían si estos nuevos caracteres supusiesen cambios en la información genética de las células precursoras de óvulos y espermatozoides.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL PROBLEMA 9

VARIABLES METODOLÓGICAS

VM1: Análisis cualitativo del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna valoración cualitativa del problema.

Nivel 1: Se indaga sobre el cáncer de piel y sus causas. El cáncer de piel se produce por una exposición excesiva al Sol.

Nivel 2: La modificación producida en las células de la piel, si no existía de antemano en la información hereditaria, es una mutación que afecta a esas células. Si ya existía una información genética de predisposición al cáncer, el Sol lo que ha hecho es activar esos genes.

Nivel 3: Si la información genética original de la persona, antes de desarrollarse el cáncer de piel, era de epitelio normal; entonces, esa es la información que aparece en los cromosomas de sus gametos y que van a heredar sus descendientes. Si la persona tenía genes de predisposición al cáncer, entonces puede transmitir esa información a su descendencia a través de los gametos.

VM2: Emisión de hipótesis

Nivel 0: No se plantea ninguna hipótesis.

Nivel 1: El cáncer de piel es una mutación que se transmite a otras generaciones.

Nivel 2: El cáncer de piel no se transmite a la descendencia porque no está en los genes; o bien, el cáncer de piel se transmite a la descendencia porque está en los genes.

Nivel 3: El cáncer de piel adquirido durante la vida adulta no se transmite a la descendencia porque no formaba parte de la información hereditaria original, información que es transportada por gametos. O bien, si existe en la información genética original de una persona una predisposición al cáncer de piel, ésta se transmitirá en lo gametos.

VM3: Elaboración de una estrategia de resolución

Nivel 0: No se plantea ninguna estrategia de resolución del problema.

Nivel 1: Se resuelve tomando ejemplos conocidos de nuestro entorno.

Nivel 2: Se hace un razonamiento lógico a partir de la información genética de una persona y su transmisión a la descendencia.

Nivel 3: Se realiza algún tipo de esquema, cruce, etc. que apoye el razonamiento anterior.

VM4: Resolución del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna resolución.

Nivel 1: Se realiza una resolución errónea porque no se identifica qué células han adquirido el carácter de cáncer, y qué células son las encargadas de transmitir la información genética de generación a generación.

Nivel 2: La resolución se realiza basándose en casos reales, o analogías con la posibilidad de herencia o no de otros caracteres adquiridos.

Nivel 3: La resolución se realiza a partir de un razonamiento lógico, o bien a partir de esquemas, dibujos, etc.

VM5: Análisis de los resultados

Nivel 0: No se realiza ningún análisis de los resultados.

Nivel 1: Se realiza un análisis superficial a partir de datos incompletos o erróneos.

Nivel 2: Se realiza un análisis correcto de los resultados y se contrasta con la hipótesis de partida.

Nivel 3: El análisis sirve para interpretar hechos conocidos como la mayor incidencia de cáncer de piel en personas que no toman las debidas precauciones; sin embargo no se ha producido un aumento de niños nacidos con cáncer de piel.

PROBLEMA 10

¿Cómo saber si padeceré Alzheimer?

RESOLUCIÓN

Análisis cualitativo del problema

El Alzheimer es una enfermedad degenerativa del sistema nervioso que se manifiesta a partir de los 50 años y produce senilidad precoz. Los científicos han conseguido determinar su origen genético y, por lo tanto, puede ser heredada. En el libro de texto (Santillana, 4º ESO, 1995, p.149), en un mapa del genoma humano que recoge algunas enfermedades genéticas, el gen erróneo del Alzheimer aparece en el brazo largo del cromosoma 14.

Es posible que otros genes u otros factores intervengan en la manifestación de la enfermedad; pero, para este problema, sólo vamos a tener en cuenta la existencia de ese gen erróneo como causa que desencadena la enfermedad. Una persona con este gen en uno de sus cromosomas 14, transmitirá esta dolencia al 50% de su descendencia.

Emisión de hipótesis

Las hipótesis que se pueden plantear pueden ser:

H1: Padeceré la enfermedad con una probabilidad relativamente alta si uno de mis padres la padece.

H2: Tendré una total seguridad de padecerla si en mi genoma presento el gen erróneo del Alzheimer en el cromosoma 14.

La H2 es la más concreta, y la más válida para un grupo de alumnos que han realizado una simulación de un test genético.

Elaboración de una estrategia de resolución

El problema podría presentar dos estrategias de resolución:

1. Un estudio clásico sobre la presencia del carácter en mi familia, realizando un árbol genealógico con el que pudiese determinar la probabilidad que tengo de padecer la enfermedad.
2. El uso de las nuevas tecnologías que me permite aislar el cromosoma 14 de mis células y usar un marcador específico que reconozca la presencia del gen del Alzheimer.

Resolución del problema

1. La resolución de forma clásica tendría que realizarse a partir de datos ficticios o sacados de un caso real y seguiría el esquema utilizado en otros estudios genéticos de este tipo. El mayor problema que se presenta es el hecho de que sólo los parientes muy mayores de mi familia pueden estar manifestando la enfermedad en caso de que posean el gen. Con la información del árbol genealógico de mi familia determinaría la probabilidad de herencia del carácter de generación en generación hasta llegar a la mía.
2. La resolución utilizando las nuevas técnicas en genética consistiría en realizarme un diagnóstico genético que determinase la presencia o no de este gen. Un centro especializado extraería células de mi organismo (piel, sangre, cabello, etc.) y de éstas aislaría el cromosoma 14. El ADN de este cromosoma seguiría un proceso en el laboratorio, dentro de tubos de ensayo, que consistiría en: corte del ADN con enzimas de restricción específicas; marcaje con una secuencia de ADN radiactiva que reconozca el gen del Alzheimer de forma específica; y, por último, llevar este material genético a un gel de electroforesis donde se separarán los fragmentos y aparecerá el marcaje radiactivo si existe el gen buscado. La autorradiografía de este gel de electroforesis se compara con otros en los que sí aparece el marcaje para comprobar la validez de la prueba.

Análisis de los resultados

1. El análisis de los resultados obtenidos en el árbol genealógico permiten establecer que si una persona presenta Alzheimer, sus hijos tienen un 50% de probabilidades de haber heredado el gen. Por ejemplo, si tengo un abuelo con Alzheimer hay un 50% ($\frac{1}{2}$) de probabilidades de que mi padre tenga el gen. Yo, a mi vez, tendré un 50% ($\frac{1}{2}$) de probabilidad de heredarlo de mi padre en caso de que lo tuviera. Por lo

tanto, la probabilidad de que lo tenga sería del 25% ($\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$). Estas probabilidades aumentarían en el caso de que sepa que mi padre sufre Alzheimer (50%) o que otro familiar (abuelos, madre) presenten la enfermedad o tengan probabilidad de presentarla. Aún así no tendría nunca una certeza absoluta de padecer o no la enfermedad.

2. El diagnóstico genético es el único que con seguridad va a descartar o a confirmar la presencia del gen del Alzheimer.

Para poder saber con toda seguridad si padeceré o no Alzheimer debería realizarme un test genético.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL PROBLEMA 10

VARIABLES METODOLÓGICAS

VM1: Análisis cualitativo del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna valoración cualitativa del problema.

Nivel 1: Se busca información sobre el Alzheimer como enfermedad, sus manifestaciones, etc. El Alzheimer es una enfermedad que no se manifiesta hasta pasados los 50 años.

Nivel 2: El gen del Alzheimer se localiza dentro del genoma humano en el cromosoma 14.

Nivel 3: Se determina si se manifiesta de forma dominante o recesiva, o si el que se encuentre en uno o en los cromosomas homólogos afectará a la gravedad de la enfermedad.

VM2: Emisión de hipótesis

Nivel 0: No se plantea ninguna hipótesis.

Nivel 1: No podemos saber si padeceremos Alzheimer hasta que no tengamos una determinada edad.

Nivel 2: Si en mi familia se han dado casos de Alzheimer hay una probabilidad más o menos alta (dependiendo del parentesco) de que padezca Alzheimer.

Nivel 3: Sólo podré saber con total seguridad que padeceré Alzheimer si un test genético determina la presencia del gen erróneo en mi cromosoma 14.

VM3: Elaboración de una estrategia de resolución

Nivel 0: No se plantea ninguna estrategia de resolución del problema.

Nivel 1: Se plantea la realización de algún cruce entre individuos de una familia, o se indica que se debería realizar un estudio genético sin llegar a especificar cómo.

Nivel 2: Se analizará todo un árbol genealógico familiar donde algún pariente haya tenido la enfermedad y se determinará la probabilidad de que el interesado haya heredado la enfermedad.

Nivel 3: La mejor estrategia de resolución es realizar un test genético que determina con total seguridad la presencia del gen del Alzheimer. Para ello se necesita extraer

material genético de la persona, enzimas de restricción, marcaje radiactivo, y un gel de electroforesis.

VM4: Resolución del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna resolución.

Nivel 1: Se realiza un árbol genealógico o un test de forma incompleta o errónea.

Nivel 2: Se realiza un árbol genealógico con genotipos y se llega a identificar la herencia del Alzheimer dentro de la propia familia y la probabilidad de que padezcamos o no la enfermedad.

Nivel 3: Se explica de forma completa y correcta cómo se realizaría un test genético, y qué tipo de resultados o marcajes radiactivos nos podemos esperar. Los test genéticos se realizan en familias que presentan casos de Alzheimer, y determinan con total seguridad si padeceremos o no la enfermedad.

VM5: Análisis de los resultados

Nivel 0: No se realiza ningún análisis de los resultados.

Nivel 1: Análisis superficial de los resultados en el que sólo se llega a la conclusión de que podría tener algún dato a través del procedimiento seguido.

Nivel 2: El análisis de los resultados confirma la hipótesis; pero no se incide sobre la fiabilidad de los resultados obtenidos.

Nivel 3: Se contrasta la hipótesis y se determina si el método utilizado es el más adecuado por su fiabilidad o debería utilizarse otro.

PROBLEMA 11

Los viticultores de Arganda buscan que sus vides produzcan uvas con mayor cantidad de azúcar. ¿Cómo conseguiríamos este tipo de vides?

RESOLUCIÓN

Análisis cualitativo del problema

El problema plantea la búsqueda de una técnica o proceso que permita variar las características de las vides que se cultivan en Arganda para que produzcan uvas más dulces. Cualquier variación va a suponer la modificación genética de la vid. Las posibles formas de abordar este problema son:

1. De forma tradicional la obtención de distintas variedades de vides se ha realizado injertando unas plantas con otras (o realizando cruces) hasta obtener las características buscadas.
2. De forma novedosa usando técnicas de ingeniería genética se podrían introducir genes de otras especies en las vides, que aumentasen la dulzura de la uva.

Cada uno de estos procesos plantea sus ventajas e inconvenientes:

- La forma tradicional de resolver el problema es más directa y rápida siempre que el injerto funcione; pero no es seguro que la variedad conseguida mantenga de generación en generación sus propiedades.
- El uso de la ingeniería genética supone mayor gasto en investigación y no está libre de algunos riesgos porque aún no se sabe mucho sobre los efectos de los alimentos transgénicos, y no se conoce la aceptación que tenga entre el público; sin embargo si se obtuviese la variedad de vid deseada se podría asegurar la inalterabilidad de la planta de generación a generación por clonación, e incluso se podría patentar la nueva variedad de uva.

Emisión de hipótesis

El hecho de trabajar bajo dos supuestos distintos hace que se puedan plantear dos hipótesis factibles:

H1: El mejor método para obtener uvas con más cantidad de azúcar es el método tradicional de injertos o cruces porque es más rápido, económico, y del que tenemos más experiencia.

H2: El mejor método para obtener uvas con más azúcar es la introducción de un gen de alguna especie que genere mucho azúcar, porque nos aseguramos el obtener una variedad de uva única y que se ajusta a nuestras necesidades.

Elaboración de una estrategia de resolución

La utilización de injertos o cruces requiere del estudio de diversas variedades de vides; determinar la muestra sobre la que se van a realizar los injertos y analizar los contenidos de azúcar de las uvas resultantes.

La utilización de uvas transgénicas supone estudiar diferentes especies que posean genes que se adapten a nuestras necesidades; estudiar el tipo de enzimas de restricción que necesitamos y el tipo de vector; analizar los transgénicos resultantes y su producción de azúcar.

Cada estrategia de resolución aunque emplea técnicas diferentes debe realizar estudios de control y, por ello, se plantan las nuevas vides en terrenos que estén sometidos a las mismas condiciones atmosféricas, a los mismos cuidados y riegos, que el cultivo de la vid original.

Resolución del problema

La resolución tradicional de este problema supone trabajar con injertos en el campo, o realizando diversos cruces entre las variedades que se consideren más adecuadas. Para poder resolverse como un problema de lápiz y papel, se determinarán genotipos de posibles variedades de uvas y sus posibles cruces. Cuando encuentre el tipo de híbrido más adecuado, lo plantará en su parcela correspondiente. Esta última parte de la resolución no puede realizarse en clase.

La resolución más novedosa de este problema supone trabajar con genes productores de glucosa de otras plantas, o incluso genes de animales como la abeja productora de miel. Los genes deben ser extraídos de sus cromosomas usando enzimas de restricción. Una vez aislados deben incluirse en un vector como un virus o un

cromosoma artificial. Una vez obtenido el transgen, éste se introduce en los óvulos de las flores femeninas, se polinizan, y se seleccionan aquellas semillas que hayan incorporado este nuevo carácter. A partir de estas semillas se generarán nuevas plantas de vides que serán trasplantadas a su parcela correspondiente. Esta resolución en el aula consistirá en una explicación del proceso.

En una resolución real del problema se deberían tomar muestras de las uvas obtenidas en las parcelas del estudio (control, injerto, semillas transgénicas) para determinar los niveles de azúcar, a lo largo de varios años. La recolección se realizará en distintos momentos de maduración. También se recogerán datos de la cantidad de uva que producen las nuevas vides.

Análisis de los resultados

A partir de los resultados obtenidos en lápiz y papel, se analizará la posibilidad de obtener uvas con más azúcar siguiendo el método propuesto. Se analizará el coste, el tiempo necesario para la obtención de las nuevas vides, la producción que se espera, etc.

Se deberían plantear nuevos interrogantes sobre la viabilidad de las nuevas uvas: ¿aguantarán las condiciones climáticas de Arganda?, ¿mantendrán sus características a lo largo del tiempo?, ¿podremos generar vides similares en generaciones futuras a partir de esquejes?, ¿se puede aún mejorar la calidad de la uva?...

CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL PROBLEMA 11

VARIABLES METODOLÓGICAS

VM1: Análisis cualitativo del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna valoración cualitativa del problema.

Nivel 1: Se plantean diferentes formas en las que puede ser resuelto el problema: injertos, cruces, creando un transgénico.

Nivel 2: Se analizan inconvenientes y ventajas de cada uno de estos métodos antes de optar por uno de ellos.

Nivel 3: Se especifica lo que se necesita conocer (técnicas, variedades de uvas, etc.) para poder solucionar el problema siguiendo una de las posibles vías de resolución.

VM2: Emisión de hipótesis

Nivel 0: No se plantea ninguna hipótesis.

Nivel 1: Las hipótesis planteadas se alejan de una resolución adecuada o correcta del problema. Son hipótesis del tipo: se añade azúcar a la uva, o se le cambia el tipo de suelo o abono.

Nivel 2: La hipótesis de trabajo se concreta en una de las posibles vías de resolución; pero, no se fundamenta de forma adecuada la decisión tomada.

Nivel 3: La hipótesis de trabajo se fundamenta con razones. Por ejemplo, la hipótesis de los cruces o injertos se apoya en cuestiones como la rapidez del proceso, el mayor conocimiento de la técnica por los agricultores, etc. La hipótesis de los transgénicos se apoya en la necesidad de obtener variedades totalmente nuevas y hechas a la medida de nuestras necesidades.

VM3: Elaboración de una estrategia de resolución

Nivel 0: No se plantea ninguna estrategia de resolución del problema

Nivel 1: Se indica, sin dar más datos, que se realizarán unos cruces, o que se construirá un transgen.

Nivel 2: Si se trabaja con cruces hay que determinar posibles genotipos y realizar cruces a lo largo de varias generaciones hasta obtener variedades puras para el carácter buscado. Si se va a construir un transgen se tiene que seleccionar un

determinado gen, y seguir todo el proceso de extracción con enzimas de restricción, creación de un vector e inclusión en una célula germinal de la vid.

Nivel 3: En una resolución fuera del aula se deberían plantar o injertar las nuevas vides y tomar datos referentes a la producción de azúcar en distintos momentos de maduración, y a lo largo de diversos años.

VM4: Resolución del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna resolución.

Nivel 1: La resolución es superficial o errónea a la hora de generar cruces, o de explicar las técnicas de creación de un transgen.

Nivel 2: La realización de cruces de variedades de uvas, o la explicación de las técnicas empleadas en la obtención de transgénicos es completa y correcta.

Nivel 3: La resolución se acompaña de ideas sobre cómo se debería realizar la misma en el campo: uso de controles, recogida de datos, etc.

VM5: Análisis de los resultados

Nivel 0: No se realiza ningún análisis de los resultados.

Nivel 1: El análisis de los resultados sólo incide en que el método empleado permite obtener uvas con más azúcar.

Nivel 2: Se cuestiona la viabilidad del método, el porcentaje de éxito, el gasto económico, etc.

Nivel 3: El análisis va más allá planteando dudas sobre la perdurabilidad de las características obtenidas en las nuevas vides, o sobre la rentabilidad en la producción de uvas, etc.

PROBLEMA 12 (PROBLEMA DE EVALUACIÓN)

Un matrimonio tiene un hijo que se parece más al padre que a la madre.
¿Cómo puede ser esto posible?

RESOLUCIÓN

Análisis cualitativo del problema

Cuando se hace referencia al parecido entre un padre y un hijo, normalmente se habla de parecido físico: color de ojos y de pelo, forma de la nariz, etc.

Los hijos heredan la mitad de su información genética de sus padres y la otra mitad de su madre. De los 46 cromosomas que tiene un individuo (23 pares de cromosomas) la mitad proceden del óvulo y la mitad del espermatozoide. Del cromosoma 1 una copia es del padre y otra de la madre; del cromosoma 2 lo mismo; así hasta el cromosoma 23. Este último cromosoma es especial porque presenta dos formas X e Y. Los óvulos siempre llevan el cromosoma X, y los espermatozoides pueden llevar el cromosoma X o Y. Cuando un individuo recibe la información XX es mujer, y cuando recibe la información XY es varón.

La herencia del sexo y de los caracteres que estén ligados a la misma es la única en la que la información recibida por uno de los padres (X o Y) es decisiva, tanto si se va a ser niño como niña.

El recibir la mitad de información de cada uno de nuestros padres no significa que nos parezcamos a ellos por mitades. En principio, el número de posibles combinaciones de los 46 cromosomas de nuestros padres en grupos de 23 para formar los óvulos o espermatozoides es enorme (2^{23}), y cada nuevo ser es el resultado de multiplicar cada una de las posibles combinaciones de cromosomas maternos con las de los paternos. Por esta razón los hermanos no son idénticos entre sí ni a sus padres. Por otra parte, los genes que llevan los cromosomas que hemos recibido de cada uno de

nuestros padres pueden llevar alelos dominantes o recesivos para cada uno de los 40.000 genes que se calcula actualmente que posee la especie humana.

Como manifestamos los genes dominantes que hayamos recibido, la única explicación posible del mayor parecido de un hijo a su padre que a su madre es que haya heredado los genes dominantes del padre que enmascaran los recesivos de la madre. Esto será evidente para aquellos caracteres en los que ambos padres difieran considerablemente.

Emisión de hipótesis

Los hijos presentan más características morfológicas comunes con el padre que con la madre cuando los genes que reciben del padre para esos caracteres son dominantes y los genes que reciben de la madre para los mismos caracteres son recesivos.

También podría haber sido al revés, el hijo se parece más a la madre; o podía haber ocurrido que no se pareciese a ninguno.

Esta hipótesis se circunscribe para aquellos caracteres que sigan una herencia de carácter mendeliano.

Elaboración de una estrategia de resolución

Se puede plantear una resolución del problema desde un supuesto teórico totalmente inventado. Si fuese un estudio real podría realizarse un estudio de campo muy laborioso que recogiese en un árbol genealógico la transmisión de aquellos caracteres en los que se asemejan padre e hijo para determinar la herencia recibida de cada uno de sus padres.

En el supuesto teórico tenemos una pareja en la que el marido es moreno, de ojos negros, piel morena, y labios gruesos; y la mujer es rubia, de ojos claros, piel clara y labios finos. Tienen un hijo varón moreno de ojos oscuros, piel morena y labios finos. Los caracteres definidos en el padre son dominantes y el hijo presenta todos menos la forma de los labios; por eso, todo el mundo dice que ha salido al padre.

Vamos a partir del supuesto de que cada carácter está en cromosomas distintos y por lo tanto se heredan de forma independiente. El padre podría ser homocigótico dominante o heterocigótico para todos los caracteres, menos para el último que debe ser heterocigótico. Pondremos que es heterocigótico en todos los caracteres.

Los genes van a tener cada uno dos alelos y los vamos a nombrar de la siguiente forma: color de pelo (N - negro, n- rubio), color de piel (M – morena, m – clara), color de ojos (O – oscuro, o – claro), forma de los labios (G – grueso, g – fino).

Resolución del problema

Si definimos los genotipos de los padres y buscamos los cruces que han hecho posible el nacimiento de ese hijo veremos que todos son independientes entre sí y que podía haber sido una niña que se parecía mucho al padre, o un hijo o hija más o menos parecido al padre.

CARÁCTER	GENOTIPO PADRE	GENOTIPO MADRE	GENOTIPO HIJO	PROBABILIDAD
Sexo	XY	XX	XY	Varón 50%
Color de pelo	Nn	nn	Nn	Pelo negro 50%
Color de piel	Mm	mm	Mm	Moreno 50%
Color de ojos	Oo	oo	Oo	Oscuro 50%
Forma de labios	Gg	gg	gg	Finos 50%

Análisis de los resultados

Con el ejemplo desarrollado se ha demostrado cómo un individuo se puede parecer a su padre en cuatro caracteres y no a su madre; habiendo recibido la mitad de la información para esos caracteres de cada uno de sus padres. Podría pasar lo mismo con cualquier otro número de caracteres. Sin embargo, también se ha comprobado que ese parecido ha sido una cuestión de azar. Cada uno de los caracteres podía haber sido diferente al 50% y habernos encontrado con un individuo más o menos parecido a uno de sus padres. En el caso de que el padre hubiese sido homocigótico para la mayoría de los caracteres, la probabilidad de que el hijo hubiese sido parecido a él sería mayor. Lo que no variaría es que podía haber sido un hijo o una hija al 50%. Por lo tanto, el parecido a uno de los padres no depende del sexo que se haya heredado puesto que la mayoría de los caracteres se transmiten de forma independiente. También podría haberse resuelto el problema con un padre con caracteres recesivos y una madre heterocigótica para esos caracteres. Al llevar la madre el alelo recesivo para esos caracteres el hijo o hija podría parecerse más al padre que a la madre, o viceversa.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL PROBLEMA 12

VARIABLES METODOLÓGICAS

VM1: Análisis cualitativo del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna valoración cualitativa del problema.

Nivel 1: Un hijo se parece más a uno de sus progenitores porque manifiesta más características visibles comunes con él.

Nivel 2: Sin embargo, recibimos de cada uno de nuestros padres la mitad de la información genética que tenemos. Un hijo varón tiene el mismo sexo que el padre porque ha recibido un cromosoma Y, en vez de uno X. El resto del parecido debe ser debido a que los alelos que ha recibido del padre para caracteres visibles han sido dominantes frente a los de la madre que han debido ser recesivos.

Nivel 3: Se puede acotar el problema eligiendo unos caracteres anatómicos visibles (color de pelo, piel, etc.), atribuyéndoles un gen y unos alelos, y determinando un hipotético genotipo de los padres.

VM2: Emisión de hipótesis

Nivel 0: No se plantea ninguna hipótesis.

Nivel 1: El hijo se parece más al padre porque ha recibido más información genética del padre.

Nivel 2: El hijo se parece más al padre porque manifiesta sus caracteres de forma dominante, ya que o predominan los del padre o los de la madre. La hipótesis no se basa en un análisis previo donde se plantee que la mitad de la información hereditaria del hijo es del padre y la mitad de la madre.

Nivel 3: El hijo se parece más al padre porque los genes recibidos por parte del padre, para caracteres visibles, han sido dominantes frente a los mismos recibidos de la madre que han sido recesivos.

VM3: Elaboración de una estrategia de resolución

Nivel 0: No se plantea ninguna estrategia de resolución del problema.

Nivel 1: Se realiza una resolución basándose en explicaciones o en casos conocidos.

Nivel 2: La resolución se apoya en un árbol genealógico o cruces, con características fenotípicas dominantes o recesivas, del padre y de la madre, para demostrar cómo pasan los caracteres al hijo.

Nivel 3: Se definen fenotipos y genotipos de los padres para unos caracteres anatómicos visibles, donde el padre presente alelos dominantes para la mayoría de los caracteres, y se realizan los cruces posibles para demostrar la probabilidad de que un hijo se parezca más al padre.

VM4: Resolución del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna resolución.

Nivel 1: Se resuelve utilizando un razonamiento lógico, o algún cruce entre una pareja; pero, utilizando fenotipos o sin explicar realmente cómo se heredan los caracteres.

Nivel 2: La resolución se basa en un razonamiento lógico correcto, en el que se demuestra que de los alelos heredados por el hijo, para unos determinados caracteres, los dominantes proceden del padre y los recesivos de la madre.

Nivel 3: Este razonamiento se ejemplifica con la creación de genotipos dominantes y recesivos para ambos padres. De forma visual, y algebraica, se puede demostrar la posibilidad de que un hijo sea más parecido a su padre que a su madre.

VM5: Análisis de los resultados

Nivel 0: No se realiza ningún análisis de los resultados.

Nivel 1: El análisis sólo se queda en que se demuestra la hipótesis de partida, un hijo puede parecerse más a uno de los progenitores.

Nivel 2: El análisis incide en que el parecido con el padre es una similitud en los fenotipos, porque el genotipo del hijo procede al 50% de cada uno de los padres. Según el tipo de alelos que haya heredado se parecerá o no al padre.

Nivel 3: Se llega, también, a la conclusión de que se podría haber dado el caso de un mayor parecido con la madre, porque la herencia de los cromosomas homólogos y los alelos que portan es un proceso aleatorio e independiente. También, podría haber sido una hija más parecida al padre, o a la madre, porque la herencia del sexo (cromosomas sexuales) es independiente de otros caracteres que se encuentren en los cromosomas autosómicos.

PROBLEMA 13 (PROBLEMA FINAL II)

¿Cómo podrías saber si alguno de tus futuros hijos nacerá con algún defecto en la visión?

RESOLUCIÓN

Análisis cualitativo del problema

Hemos de partir de la base de que se trata de un defecto en la visión de causa genética. Aquellos defectos producidos por lesiones provocadas por agentes patógenos o accidente, tanto en el desarrollo embrionario como a lo largo de la vida de ese futuro hijo, no van a ser tenidos en cuenta en la resolución de este problema.

Si el defecto genético tiene una base genética, puede deberse a la presencia de un gen en la información hereditaria del individuo, o puede deberse a mutaciones producidas sobre una información genética de visión correcta. La resolución se va a concretar en el primer caso: existe un gen que determina una visión incorrecta. Este gen puede encontrarse en cromosomas autosómicos o sexuales (lo que implicaría variaciones en la probabilidad de heredar o no el defecto en la visión según el sexo del individuo); puede presentar dos o más alelos; que el alelo que determine para la visión defectuosa sea dominante o recesivo. Por otra parte, no hay que olvidar que un futuro bebé tiene dos padres que le aportan, cada uno de ellos, la mitad de su información genética; y, por lo tanto, deberemos partir de unos determinados genotipos y fenotipos de ambos padres.

La acotación del problema va a ser la siguiente:

- La visión defectuosa se debe a un alelo dominante. (Otra posibilidad de resolución es que sea recesivo).
- El gen sólo tiene dos alelos, a los que les damos una denominación, por ejemplo, “D” para visión defectuosa y “d” para visión no defectuosa.
- El gen se localiza en cromosomas autosómicos. (Otra posibilidad de resolución es que se localice en cromosomas sexuales).

- Voy a definir mi fenotipo como de visión defectuosa (por ejemplo miopía), pudiendo tener genotipo homocigótico o heterocigótico; y el de mi posible pareja puedo conocerlo o no.

Emisión de hipótesis

Podré tener un hijo o hija que nazca con visión defectuosa si esa información genética se encuentra en los cromosomas que herede de mí o de mi pareja. Si el alelo es dominante será suficiente con que reciba sólo una copia del alelo por parte de cualquiera de los padres para que nazca con el defecto. (En el caso de ser un alelo recesivo debería recibir una copia de cada padre para que lo manifestara)

Elaboración de una estrategia de resolución

La resolución del problema se puede llevar a cabo concretando los fenotipos y genotipos de los padres, realizando los cruces o combinaciones posibles de ambos genotipos, y, por último, determinando la probabilidad de que el futuro bebé nazca o no con el defecto de visión.

Resolución del problema

Vamos a empezar con la concreción de mi genotipo. Por ejemplo yo tengo un defecto en la visión. Parto del supuesto de que este defecto es dominante, y que el gen se localiza en un cromosoma autosómico. Como desconozco si soy homocigótico (DD) o heterocigótico (Dd) para ese carácter, o bien investigo el árbol genealógico de mi familia, o bien trabajo con las dos posibilidades. Mi pareja podría tener visión normal (dd), o presentar también el defecto en la visión (DD o Dd).

Con todos estos datos los posibles cruces serían:

Si soy homocigótico (DD)

DD x dd

100% de los hijos heterocigóticos Dd
y con defecto en la visión

	D	D
d	Dd	Dd
d	Dd	Dd

DD x Dd

100% de los hijos con defecto en la visión, homocigóticos y heterocigóticos al 50%

	D	D
D	DD	DD
d	Dd	Dd

DD x DD

100% de los hijos con defecto en la visión y todos homocigóticos

	D	D
D	DD	DD
D	DD	DD

Si soy heterocigótico (Dd)

Dd x dd

50% de los hijos con visión defectuosa (Dd), y 50% con visión normal (dd)

	D	d
d	Dd	dd
d	Dd	dd

Dd x Dd

75% de los hijos con visión defectuosa (50% heterocigóticos Dd y 25% homocigóticos DD), y un 25% con visión correcta (dd)

	D	d
D	DD	Dd
d	Dd	dd

Dd x DD

100% de los hijos con visión defectuosa, homocigóticos y heterocigóticos al 50%

	D	d
D	DD	Dd
D	DD	Dd

Análisis de los resultados

Tras observar los resultados obtenidos se puede concluir que, al tener yo el gen de la visión incorrecta, y ser éste dominante, la probabilidad de tener un hijo con defectos en la visión es muy alta.

Si parto del supuesto de que soy homocigótico para ese carácter, independientemente del genotipo de mi pareja, todos mis hijos heredarán por mi parte una copia del gen, y tendrán defectos en la visión. La suposición que se planteaba en la hipótesis queda corroborada en esta demostración.

Si parto del supuesto de que soy heterocigótico para ese carácter, la probabilidad de que mis hijos tengan ese defecto en la visión es muy alta; aunque no del 100% en todos los casos. Sólo si mi pareja es homocigótica para ese carácter la probabilidad de que el bebé tenga un defecto en la visión será del 100%. En el caso de que mi pareja sea heterocigótica mi hijo tendría un 75% de probabilidades de heredar el defecto; y si mi pareja tienen visión correcta la probabilidad se reduce a un 50%.

Si aplicásemos esta resolución a un caso real (miopía, hipermetropía, daltonismo) podríamos determinar si se cumplen estas probabilidades. De no ser así, tendríamos que investigar si el carácter de visión defectuosa es recesivo, o si se encuentra en los cromosomas sexuales, o si está determinado por más de dos alelos o por más de un gen.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL PROBLEMA 13

VARIABLES METODOLÓGICAS

VM1: Análisis cualitativo del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna valoración cualitativa del problema.

Nivel 1: Se identifica como causa del defecto en la visión la información genética del individuo. Por lo tanto, puede ser heredado de padres a hijos. Dependiendo de la información genética de los padres así será la de los hijos.

Nivel 2: El gen de la visión incorrecta se encontrará en alguno de los cromosomas (autosómicos o sexuales). Cada individuo posee dos copias de cada cromosoma, y eso implica que tenga dos posibles alelos para esa información. En el proceso de herencia cada padre transmitirá la mitad de sus cromosomas (alelos) al hijo.

Nivel 3: Se concretan los datos del problema en un gen con dos alelos, y se determina si tener ese defecto en la visión es dominante o recesivo. El gen se localiza en un cromosoma autosómico, y se identifican posibles fenotipos y genotipos de los padres.

VM2: Emisión de hipótesis

Nivel 0: No se plantea ninguna hipótesis.

Nivel 1: Si los padres tienen visión defectuosa los hijos la heredarán, y si no no.

Nivel 2: Los hijos heredan la mitad de la información genética de los padres, así que pueden tener o no una visión defectuosa.

Nivel 3: Si en los genotipos de los padres se encuentra el alelo de la visión incorrecta; entonces, el hijo podrá tener una probabilidad mayor o menor de tener un defecto en la visión dependiendo de si los padres son homocigóticos o heterocigóticos para ese carácter.

VM3: Elaboración de una estrategia de resolución

Nivel 0: No se plantea ninguna estrategia de resolución.

Nivel 1: Se debe conocer o concretar los fenotipos de los padres y los genotipos correspondientes, para poder determinar el tipo de genotipo del futuro hijo.

Nivel 2: Se deben realizar todos los cruces posibles entre los genotipos de la madre y del padre.

Nivel 3: Se deben obtener las probabilidades de tener hijos con visión defectuosa en cada uno de los cruces.

VM4: Resolución del problema

Nivel 0: No se realiza ninguna resolución.

Nivel 1: Se parte de la información genética de los posibles padres. Sin embargo no se concretan los genotipos, trabajando sólo con fenotipos, o se realizan mal las posibles combinaciones genotípicas del futuro bebé.

Nivel 2: Se realizan todos, o casi todos, los posibles cruces entre los genotipos maternos y paternos. La distribución de los alelos en el proceso de la herencia se hace de forma correcta.

Nivel 3: Además, se obtienen las probabilidades de que un hijo, para cada uno de los cruces, nazca con la visión defectuosa.

VM5: Análisis de los resultados

Nivel 0: No se realiza ningún análisis de los resultados.

Nivel 1: El análisis es superficial por ser cualitativo o partir de datos incompletos o erróneos.

Nivel 2: El análisis de los datos me permite llegar a conclusiones sobre la herencia de este carácter.

Nivel 3: Contrasto la hipótesis de partida con los resultados obtenidos para determinar si se ve confirmada o no. Puedo analizar estos resultados en relación a un caso real que conozca para determinar si sigue este tipo de herencia o no.