

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

Francisco Javier Iñiguez Porras

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

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

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

TESIS DOCTORAL

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

Francisco Javier Íñiguez Porras

2005

CAPÍTULO 7

ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA. IMPLICACIONES DIDÁCTICAS

En los capítulos anteriores hemos analizado detalladamente la evolución de las concepciones del alumnado desde una primera fase antes de recibir la instrucción, pasando por un segunda fase justo después de la intervención didáctica y, finalmente, varios meses después de la docencia.

Se han especificado, asimismo, los aspectos en los que la propuesta didáctica experimental generaba unas diferencias en las concepciones respecto del modelo tradicional de enseñanza.

En el presenta capítulo pretendemos hacer una valoración de toda la investigación, considerando diferentes aspectos:

- 1) El análisis de las dos agrupaciones sobre las que se desarrolló la investigación, es decir, los grupos Control y los grupos Experimentales.
- 2) La valoración de las herramientas metodológicas utilizadas a lo largo de la investigación para el análisis de los datos.
- 3) El análisis de las diferencias observadas entre los tratamientos Control y Experimental para obtener un cambio en las concepciones del alumnado y de las diferencias entre los modelos de enseñanza tradicional y el modelo constructivista.

7.1. ANÁLISIS DE LAS AGRUPACIONES CONTROL Y EXPERIMENTAL

Hemos detectado que determinados grupos presentaban similitudes en algunos aspectos de la naturaleza y localización del material hereditario, pero se diferenciaban en otros. Para resumir las agrupaciones que se han formado a lo largo de la investigación, hemos construido el siguiente cuadro:

Aspecto investigado	Nuevas agrupaciones Control	Formadas por los grupos	Nuevas agrupaciones Experimental	Formadas por los grupos
Función del cromosoma	Control Alto	C2	Experimental Bajo	E3, E5
	Control Bajo	C1,C3,C4	Experimental Medio	E1, E2, E4
Localización genes	Control Alto	C2	Experimental Bajo	E2, E3
	Control Bajo	C1,C3,C4	Experimental Medio	E1, E4, E5
Localización cromosomas	Control	C1,C2,C3,C4	Experimental Bajo	E2,E3
			Experimental Medio	E1, E4, E5
Análisis global	Control Alto	C2	Experimental Bajo	E3, E4
	Control Medio	C1,C3,C4	Experimental Medio	E1, E2, E5
Célula y herencia	Control Alto	C2	Experimental Bajo	E3, E4, E5
	Control Bajo	C1,C3,C4	Experimental Medio	E1, E2

Tabla 7.1. Nuevas agrupaciones formadas durante la investigación.

La constitución de estas nuevas agrupaciones ha permitido que los datos obtenidos de los cuestionarios puedan ser estadísticamente comparables y los resultados fiables.

a) Grupos Control

En los cuatro grupo control observamos una considerable homogeneidad entre los grupos, siendo el grupo C2 bastante diferente al resto. Tan sólo en el aspecto "Localización del cromosoma" podemos considerar los cuatro grupos

iguales estadísticamente. Cuando hemos discutido los resultados de los cuestionarios en las diferentes fases de investigación, el grupo C2, habitualmente llamado Control Alto, destacaba con respecto del resto. El hecho que lo hacía diferente era el grado de corrección en las concepciones de los alumnos, aunque, tal y como comentaremos en los apartados siguientes, algunas de las concepciones alternativas que manifestaban no se veían eliminadas después de la instrucción con el modelo tradicional de enseñanza.

C2 es un grupo formado dentro de la franja de optatividad del alumnado en lo que se denomina crédito variable. Otros grupos también han sido formados a partir de la misma franja de optatividad, pero no presentaban las mismas características en sus ideas sobre la naturaleza del material hereditario. Tal vez el hecho de que el alumno pudiera elegir entre diferentes opciones curriculares en el mismo espacio horario y se decantara por un crédito en el que se estudia la genética, pudiera ser un elemento de sesgo muestral. Es posible que el alumnado de C2 ya tuviese una predisposición altamente positiva hacia el estudio de la herencia biológica, una mayor motivación y tal vez prerrequisitos conceptuales de los que carecieran otros alumnos. El hecho de que el 90.9% de los alumnos de C2 respondieran al cuestionario en el Recordatorio (el mayor porcentaje de todos los grupos), indica que la mayor parte de estos alumnos han cursado estudios de Bachillerato y por tanto una predisposición académica más positiva (ver tablas 4.3. y 4.4. del capítulo 4)..

b) Grupos Experimentales

Los grupos Experimentales han presentado mayor volatilidad en las agrupaciones que se han ido creando a lo largo de todo el proceso de análisis de los datos.

Las únicas agrupaciones que se han podido mantener son las que corresponden al estudio de los aspectos de "Localización de los genes" y "Localización de los cromosomas", llevado a cabo a través de la construcción y análisis de redes sistémicas a partir de dibujos realizados por los propios alumnos. Valoramos muy positivamente este hecho, ya que el poder mantener las mismas agrupaciones en el estudio de dos aspectos conceptualmente relacionados como es la localización de genes y cromosomas y analizados metodológicamente de la misma manera, permite obtener resultados altamente fiables sobre la evolución de las concepciones del alumnado y sobre la eficacia de nuestra secuencia didáctica.

El grupo E1 es el único que siempre ha sido ubicado dentro de la agrupación Experimental Medio, lo que tal vez indique una mayor grado de homogeneidad en las concepciones del alumnado. Antagónicamente, el grupo E3 es el que siempre se ha encontrado en la agrupación Experimental Bajo, lo que también puede indicar una homogeneidad en las concepciones del alumnado, pero en sentido contrario al del grupo E1.

Finalmente, los grupos E2, E4 y E5 han sido agrupados en Experimental Medio o Experimental Bajo en función del aspecto que se haya investigado.

7.2. VALORACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS METODOLÓGICAS EMPLEADAS

Durante la investigación hemos utilizado diferentes herramientas metodológicas para el análisis de los datos obtenidos a partir de las respuestas de los cuestionarios administrados a los alumnos:

- 1) Cuestionario.
- 2) Análisis estadístico de los datos.
- 3) Redes Sistémicas.
- 4) Modelos de evolución del aprendizaje.
- 5) Índice de Mejora.

a) Cuestionario

Consideramos que el cuestionario que hemos diseñado para determinar las concepciones del alumnado sobre la naturaleza y ubicación del material hereditario ha demostrado eficacia para poder obtener datos fiables, válidos y prácticos. Latorre et al. (1996) considera que los instrumentos de recogida de datos han de tener esas tres características y el nuestro las posee.

Es fiable porque ha permitido medir con precisión constante aquello que nos proponíamos. Por otra parte, nos ha permitido obtener unos resultados similares a los obtenidos por otros investigadores (Lewis y Wood-Robinson, 2000; Lewis et al., 2000; Ayuso, 2000).

Es válido porque, efectivamente, nos ha facilitado la información que deseábamos y además de una manera clara y organizada.

Es práctico porque ha permitido una análisis cuantitativo y cualitativo de los datos obtenidos de una manera cómoda y ágil.

Las cuestiones planteadas eran preguntas de respuesta cerrada con opción a elegir una o varias posibilidades, preguntas de respuesta abierta y preguntas que pedían confeccionar dibujos.

Todas las respuestas han sido categorizadas para permitir un tratamiento de los datos. La categorización establecida, permitió que los análisis y las valoraciones realizadas nos facilitasen una información ajustada sobre la evolución de las concepciones del alumnado y el resultado de los modelos de enseñanza tradicional y experimental.

La categorización de los dibujos en los que se pedía al alumnado que dibujase dónde se encontraban los cromosomas y los genes, resultó bastante laboriosa,

pero a la vez enriquecedora. Consideramos que los resultados obtenidos sobre cómo han evolucionado las concepciones del alumnado sobre la localización del material hereditario son francamente positivos. La utilización de los modelos diseñados por nosotros durante las actividades de enseñanza-aprendizaje de la localización del material hereditario, ha sido positiva, tal y como comentaremos en apartados posteriores.

En nuestra opinión, el cuestionario administrado en el pretest ha de ser el mismo que el utilizado en el postest y en el recordatorio, para enfrentar a los alumnos al mismo instrumento de evaluación y evitar así la introducción de una fuente de variabilidad que se hubiera producido al utilizar diferentes instrumentos de evaluación en cada una de las fases de la investigación. En base a nuestra experiencia, dudamos que se produzca un fenómeno de acomodación al instrumento en el postest y mucho menos en el recordatorio. Por otra parte, los datos obtenidos pueden ser absolutamente comparables y se evita el problema de que las variables a comparar no sean las mismas o bien el investigador las adapte, con lo que caemos en el riesgo de la subjetividad.

En nuestra opinión es necesario que los cuestionarios se apliquen a los alumnos sin previo aviso, ya que el hecho de avisar al alumnado de la administración del test en días futuros, implica la aparición de una duda sobre si los resultados obtenidos son fruto de un ejercicio de estudio y memorización o bien de la acogida de los nuevos esquemas conceptuales y el abandono de los manifestados en el pretest en el caso de no ser correctos.

Nos decidimos por un cuestionario no excesivamente extenso, con preguntas concretas y sin subapartados para permitir que el alumnado no se encontrase encorsetado y expresase todas sus concepciones. Por otra parte, un cuestionario amplio supone el peligro de la fatiga y la falta de concentración del alumno, por lo que los datos obtenidos correrían el riesgo de no ser fiables.

b) Análisis estadístico de los datos

Los datos han sido analizados desde un punto de vista cualitativo y cuantitativo. Para el análisis cuantitativo hemos utilizado el paquete estadístico SPSS, concretamente sus aplicaciones no paramétricas, ya que los datos obtenidos no son continuos y no siguen una distribución normal.

Somos conscientes de que un estudio estadístico tan exhaustivo como el que hemos llevado a cabo no se detecta habitualmente entre las publicaciones relacionadas con la investigación y la innovación educativa en el campo de las Ciencias Experimentales. Con frecuencia, se hace referencia a aspectos porcentuales, tal vez a correlación de Spearman y en menos casos test de Wilcoxon.

En nuestra opinión, los datos obtenidos de los cuestionarios en los tres momentos en los que se aplicaron y la categorización que establecimos, permite un análisis cuantitativo amplio. Consideramos que los resultados obtenidos y comentados en el capítulo anterior, tienen una base más sólida si

se encuentran apoyados por datos estadísticamente significativos. En este sentido, hay que señalar que hemos sido absolutamente estrictos en establecer una nivel de significación de 0.05 y, excepcionalmente, hemos aceptado una marginalidad estadística en valores muy próximos, pero inferiores a 0.08.

Ahora bien, los análisis estadísticos han sido complementados con un estudio detenido de la evolución de las concepciones del alumnado y la posible eficacia de un tratamiento didáctico u otro, atendiendo a criterios no solamente cuantitativos, sino también cualitativos.

Consideramos que la utilización seria de análisis cuantitativos complementados con otras metodologías cualitativas puede suministrar una información más completa sobre la eficacia de la implementación en el aula de secuencias didácticas que no sigan el modelo tradicional de enseñanza.

Ha sido muy importante la existencia de grupos Control para comprobar la validez en determinados aspectos de nuestra propuesta didáctica. Siempre que se produce una intervención didáctica se puede producir una transformación en las concepciones del alumnado y una mejora en los resultados de pruebas de valoración de conocimientos. Por tanto, la implantación de una secuencia novedosa también puede producirlos. Ahora bien, la única forma de valorar objetivamente, cuál de las dos ha sido capaz de obtener mejores resultados es someter a la secuencia didáctica Experimental a la comparación con una secuencia Control. Consideramos que una buena forma para obtener resultados estadísticamente fiables es la utilización de análisis cuantitativos.

c) Redes sistémicas

Las redes sistémicas (Bliss et al., 1983) constituyen un instrumento eficaz para poder mostrar de forma sistematizada los esquemas conceptuales de los estudiantes. De manera gráfica y esquemática, una red sistémica nos facilita la comprensión de qué ideas presentan los alumnos y cómo se relacionan, así como un orden de jerarquía entre ellas. Ya hemos comentado su utilización para conocer las ideas de los alumnos sobre las mutaciones (Albadalejo y Lucas, 1988), pero no se ha generalizado su uso en investigaciones de didáctica de las ciencias.

Nosotros hemos confeccionado diferentes redes sobre las concepciones de los alumnos sobre la localización del material hereditario, concretamente genes y cromosomas, y también sobre la función de los cromosomas.

La elaboración de las redes sistémicas ha implicado la categorización de las respuestas de los alumnos, actividad que ha necesitado el establecimiento de criterios por nuestra parte. Es probable que, a partir de las respuestas del alumnado recogidas en los cuestionarios, se hubiesen propuestos criterios diferentes y, por tanto, nos encontraríamos con una nueva red sistémica. Ahora bien, la versatilidad de dicho instrumento hace que los esquemas conceptuales del alumnado queden reflejados sea cual sea el criterio establecido, ya que no es más que un elemento que permite mostrar esquemáticamente las ideas del alumnado.

Los criterios que hemos seguidos para la categorización de las respuestas del alumnado han sido los mismos tanto para la confección de la red pretest como para las redes postest. En algunos casos las ideas de los alumnos diferían lo suficiente como para que una única red no reflejase las concepciones de un mismo tratamiento didáctico. Especialmente en el postest, las redes sistémicas que se han establecido son lo bastante diferentes, en algunos casos, como para que requieran tratarse por separado.

Tenemos que destacar la especial dificultad que nos ha generado la elaboración de las redes sistémicas que mostraban a través de dibujos la localización de los genes y los cromosomas. A partir de nuestra propia experiencia, tenemos que concluir que el proceso de categorización de respuestas presentadas en forma de pregunta abierta es bastante menos laborioso y más fácilmente categorizable que las respuestas de dibujos.

Una vez construida la red, cada una de los dibujos y cada una de las respuestas escritas del alumnado, han sido categorizados siguiendo unos códigos que indicaban un mayor o menor grado de corrección, es decir, nos permitía saber si las concepciones que correspondían a un determinado código se ajustaban a conocimientos científicamente correctos. La cuantificación de los códigos nos ha permitido su tratamiento estadístico y hacer un seguimiento de la evolución de las concepciones del alumnado después de la instrucción y varios meses después. También nos ha dado la posibilidad de valorar la eficacia del modelo didáctico propuesto por nosotros respecto del modelo tradicional de enseñanza de la genética.

Otro de los aspectos positivos del uso de las redes sistémicas que queremos destacar, es que permite analizar de manera detallada diferentes aspectos recogidos en ella respecto de un esquema conceptual determinado. Pero es que además, nos permite mostrar las ideas científicamente correctas, en un mismo esquema, junto a otras ideas no correctas. A modo de ejemplo, la red sistémica que muestra las ideas del alumnado sobre la función de los cromosomas, nos presenta muchos aspectos de forma sistemática pero a su vez relacionados con otros. Así, nos ha sido posible estudiar lo que los alumnos interpretaban como información, indicando cuando era el caso, información hereditaria. También hemos podido profundizar más en esa idea para determinar el grado de corrección de sus ideas y cómo se relacionan con aspectos relacionados con la función de los cromosomas.

Valoramos de forma positiva la utilización de las redes sistémicas por su practicidad a la hora de permitir visualizar las concepciones del alumnado. Cualquier respuesta o dibujo de un alumno puede ubicarse perfectamente en la red sistémica correspondiente y podemos asignarle una codificación que nos indicará el grado de acercamiento de sus ideas a las científicamente correctas. Después de la instrucción, en la red sistémica resultante, también podemos realizar la misma operación y así detectar el grado de modificación de las concepciones de un alumno. Cuando lo hemos hecho con todo el grupo, obtenemos resultados globales y comparables con otras agrupaciones sometidas al mismo tratamiento didáctico o bien a otro modelo.

En definitiva, a pesar de la poca utilización de este instrumento en estudios similares al llevado a cabo por nosotros, consideramos que puede ser útil para categorizar las respuestas obtenidas en un cuestionario y construir una red que nos permita identificar gráficamente las concepciones del alumnado. En el caso concreto de las redes sistémicas referidas a las respuestas en forma de dibujo, no hemos encontrado referencia bibliográfica sobre su utilización, pero estamos convencidos de que puede ser una buena herramienta en investigaciones de didáctica de las ciencias.

d) Modelos de aprendizaje

Las concepciones de cada alumno que quedaron reflejadas en las redes sistémicas fueron codificadas y cuantificadas. El valor que se asignó a cada alumno corresponde a una determinada posición dentro de la red sistémica de la que se trate. A este valor le llamamos *Índice de la red*, de manera que valores bajos indican concepciones alejadas de la corrección científica, por lo que es deseable que después de un impacto positivo de la acción docente, dicho índice se incremente.

Como cada alumno posee un índice de la red correspondiente a sus concepciones en el pretest, postest y recordatorio, podemos estudiar cómo varía su valor a lo largo de la investigación.

En cada una de las redes sistémicas confeccionadas se determinaron los posibles modelos que seguían la evolución de los índices de la red. A dichos modelos les denominamos *Modelos de aprendizaje*, de forma que cada alumno presentaba un modelo determinado.

De esta manera pudimos establecer modelos de aprendizaje en cada uno de los tratamientos, con lo que pudimos aplicar test estadísticos para detectar posibles diferencias en las diferentes agrupaciones.

La utilización de estos modelos de aprendizaje nos permite conocer la evolución de cada alumno a lo largo de las tres fases de la investigación, por lo que es fácil detectar la persistencia de concepciones a lo largo del proceso de enseñanza-aprendizaje, su transformación o incluso su modificación en el postest, pero sin presentar retención varios meses después. Además, el estudio de la presencia de determinados modelos en cada agrupación, nos ha llevado a conocer el grado de eficiencia de un modelo de enseñanza-aprendizaje respecto del otro.

Ahora bien, los modelos de aprendizaje tan solo han sido válidos en aquellas cuestiones en las que hemos elaborado las redes sistémicas. Apuntamos la posibilidad de utilizar este instrumento en otros estudios en los que se haga una investigación en tres momentos diferentes (pretest, postest y recordatorio), a partir del establecimiento de un índice global del cuestionario que se utilice para la detección de ideas alternativas en el alumnado.

e) Índice de mejora

Las respuestas del alumnado a las diferentes preguntas planteadas en el cuestionario nos han permitido conocer sus concepciones sobre la naturaleza del material hereditario. Los datos obtenidos han sido categorizados y tratados de diferentes formas, como por ejemplo a través de las redes sistémicas, la cuantificación de las respuestas o los modelos de aprendizaje.

Otra herramienta que hemos diseñado para valorar el grado de modificación de las concepciones del alumnado y evaluar la posible eficacia de nuestra propuesta didáctica sobre la propuesta tradicional, ha sido el *Índice de mejora*.

Todos los aspectos sobre los que se interrogaba a los alumnos respecto de la estructura, función y localización del material hereditario, han permitido una categorización de las respuestas. Después de la instrucción también se ha podido cuantificar las ideas de los alumnos, de manera que el grado de modificación de ese valor nos aproxima a una mejora en las concepciones del alumnado sobre la cuestión planteada.

Hemos podido establecer los índices de mejora de los aspectos más relevantes sobre la naturaleza del material hereditario y ello nos ha permitido comparar los índices que presentaban las diferentes agrupaciones, en función del tratamiento didáctico aplicado al alumnado. Esta comparación se ha hecho a través de contrastes estadísticos y estudiando detenidamente la presencia de los índices en las diferentes agrupaciones.

El término de *mejora* que hemos propuesto, nos da un valor concreto sobre el grado de alcance de los objetivos didácticos que se han planteado, pero, especialmente, sobre el grado de modificación de las concepciones del alumnado sobre un ámbito concreto de la genética. Consideramos que no es negativo ni peyorativo, indicar que un determinado alumno presente un índice de mejora de 0.85 y otro alumno un índice de 0.56. En estos ejemplos, el alumno con mejor índice nos indica que ha experimentado una modificación de las concepciones que presentaba y que se ajustan más a las científicamente correctas. Es decir, que la instrucción ha sido capaz de provocar ese cambio y por tanto sus esquemas conceptuales han mejorado. El segundo alumno, presenta un índice menor y relativamente bajo, lo que nos indica que sus ideas no han alcanzado el nivel conceptual del primer alumno y pueden alejarse de las científicamente correctas.

Por tanto, no renunciamos al término índice de mejora, ni en su significado como instrumento de análisis, ni en su significado semántico. Consideramos que se ha constituido como una herramienta potente y objetiva capaz de detectar fácilmente la transformación de las concepciones del alumnado y de permitir un tratamiento estadístico sencillo y que facilita una elevada información sobre la eficacia de los modelos didácticos aplicados en el aula.

El análisis del índice de mejora referido al análisis global del cuestionario, en el que se encontraban todas las concepciones del alumnado cuantificadas, ha sido un instrumento válido para determinar la validez del modelo didáctico

propuesto por nosotros, tal y como se analizará en los apartados siguientes. Por otra parte, este índice permite relativizar las mejorías observadas, independientemente del punto de vista del alumnado.

7.3. MODELO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE CONSTRUCTIVISTA Y MODELO TRADICIONAL

La segunda hipótesis de nuestra investigación establece que una secuencia didáctica basada en un modelo de enseñanza constructivista permitirá conseguir en los alumnos un aprendizaje significativo y será capaz de provocar el cambio conceptual.

Nuestra propuesta didáctica se basa en un modelo de enseñanza-aprendizaje de esta naturaleza y consideramos que ha podido ser válida para permitir al alumnado modificar algunas de las ideas alternativas que manifestaba antes de la instrucción y además hacer posible que el alumno haya podido construir y dar sentido a los nuevos conceptos.

En este apartado queremos hacer un análisis de los resultados obtenidos en los grupos en función del modelo de enseñanza-aprendizaje utilizado.

A partir de los resultados obtenidos en los capítulos anteriores, determinaremos si el modelo didáctico de enseñanza-aprendizaje de la genética ha permitido al alumnado conocer de manera significativa la estructura y naturaleza del material hereditario, o bien si la eficacia de este modelo es la misma que la del tradicional. Una última posibilidad es que ambos modelos sean igualmente eficientes, aunque ésta es una posibilidad que no contemplábamos en el planteamiento de nuestras hipótesis de trabajo.

7.3.1. Localización de los cromosomas

Para determinar el grado de eficiencia de nuestra propuesta para permitir que los alumnos ubiquen correctamente los cromosomas, construimos una red sistémica a partir de los dibujos creados por los alumnos. Las creaciones del alumnado no únicamente se limitaban a situar dicho material genético, sino que a su vez permiten un estudio del grado de conocimiento de la estructura de los cromosomas por el alumnado.

La correcta ubicación de los cromosomas y su representación a través de dibujos también puede ser un indicador del grado de conocimiento de los procesos de división celular, mitosis y meiosis (Kindfield, 1994). La aparición de cromosomas bien definidos que muestren cromátidas y aparezcan en el citoplasma celular sin núcleo, nos tiene que hacer pensar que el alumnado ha reconocido el proceso celular, su relación con los cromosomas y su papel en la transmisión de la información genética. Por tanto, este proceso también puede estar relacionado con la comprensión de los problemas de genética.

1) Modelo de enseñanza-aprendizaje constructivista

Durante el proceso de instrucción, la utilización de los modelos de célula, de cromosoma y los de división celular han permitido al alumnado relacionar localización y estructura. Por esta razón, el análisis de este aspecto del conocimiento de la naturaleza del material hereditario abarca más allá de la mera ubicación de los cromosomas.

Al examinar las creaciones del alumnado en el cuestionario pretest, no pudimos considerar los cinco grupos experimentales homogéneos y se constituyeron 2 agrupaciones. Los alumnos de cada una de dichas agrupaciones presentaban diferencias significativas al comparar los índices de la red, que refleja el grado de corrección de las ideas. Por esta razón se establecieron las agrupaciones Experimental Bajo y Experimental Medio, en el sentido de que el nivel de las concepciones reflejado en el índice de red de la primera agrupación era inferior al de la segunda agrupación.

Después de la instrucción se observan diferencias significativas en ambas agrupaciones, lo que nos indica que la secuencia didáctica ha permitido un cambio en las ideas del alumnado.

Nueve meses después se administró el cuestionario recordatorio y se observan diferencias significativas entre el pretest y el recordatorio, lo que nos indica que la instrucción ha sido capaz de permitir retención.

Cuando comparamos los resultados del postest con el recordatorio observamos diferencias significativas, es decir, varios meses después de la docencia no se ha mantenido el mismo nivel conceptual que justo al acabar ésta.

Ahora bien, como también se observan diferencias entre pretest y recordatorio, podemos decir que después de la docencia se produce un cierto retroceso en las concepciones, pero se produce la suficiente retención como para que las ideas del alumnado sean muy diferentes a las de antes de iniciar el estudio de la genética.

Cuando analizamos el índice de mejora, observamos que no se observan diferencias entre los dos grupos experimentales, lo que nos indica que el impacto de la secuencia didáctica ha sido el mismo en ambas agrupaciones. Pero lo más importante es que se observa una frecuencia muy alta de alumnos que han recibido el modelo experimental de enseñanza de índices de mejora superiores a 0.75. Valores tan elevados de dicho índice nos indica que se ha producido un cambio importante en las concepciones del alumnado.

Si en lugar de analizar los resultados de manera general y, basándonos en los test estadísticos realizados, estudiamos la evolución de las concepciones en el alumnado, podemos destacar algunos aspectos importantes:

1) Mientras en el pretest son pocos los alumnos que dibujan, en el postest prácticamente todos (96%) son capaces de representar gráficamente la

localización de los cromosomas. En el recordatorio se produce un descenso en el número de respuestas, pero siempre es mucho mayor que en el pretest.

2) Consideramos que es deseable que los alumnos representen la célula a la hora de situar los cromosomas. Si un estudiante no hace tal cosa, posiblemente desconozca la correcta ubicación del material hereditario. En el postest hay un mayor número de estudiantes que dibuja la célula, lo que vendría a sugerir que los alumnos han logrado acercarse al conocimiento de la estructura y localización de los cromosomas.

3) Muchos de los dibujos que representaban células, tenían núcleo y otros no lo tenían. Mientras que en el pretest se habían detectado alumnos que a pesar de dibujar una célula con núcleo representaban estructuras en el citoplasma, en el postest se ha producido una disminución de tales representaciones erróneas. En efecto, muchos alumnos han localizado correctamente los cromosomas o bien dentro del núcleo o bien no han representado dicho orgánulo y han mostrado células en división celular.

4) En el postest observamos la aparición de creaciones de células en mitosis, momento en el que los cromosomas son verdaderamente visibles. Coincidimos con Lewis y Wood-Robinson (2000) en la confusión existente entre el alumnado sobre la mitosis y el papel de los cromosomas durante la división celular. En todo caso, durante la secuencia didáctica se insistió en la importancia de la mitosis, la necesidad de duplicación de la información hereditaria y de la aparición de los cromosomas, tras desaparecer la membrana nuclear. Por esta razón, consideramos positivo que haya alumnos que dibujen células en mitosis para representar los cromosomas. Sin embargo, en el recordatorio tan sólo hay un 6% de casos en los que se mantiene la misma concepción, concretamente en el grupo Experimental Medio.

5) Mientras que en el pretest el conocimiento de la estructura de los cromosomas, la existencia de cromátidas y la relación existente entre ADN y cromosomas era nulo, en el postest se detecta la aparición de muchas creaciones conceptualmente correctas. Estos dibujos, sitúan los cromosomas adecuadamente y además muestran de forma correcta la estructura y relación entre cromosomas y ADN. En el recordatorio se produce un descenso en el porcentaje de representaciones conceptualmente correctas, pero teniendo en cuenta que en el pretest ningún alumno consiguió mostrar de forma adecuada la localización y estructura de los cromosomas, podemos considerar que se ha producido retención.

En definitiva, la secuencia didáctica propuesta por nosotros ha permitido que los alumnos modifiquen algunas de las ideas detectadas en el pretest y que puedan construir y dar sentido a los conceptos trabajados sobre la localización y estructura de los cromosomas. Este cambio en las concepciones del alumnado se refleja en una diferencia significativa entre los índices de red, antes y después de la docencia, es decir, las redes sistémicas después de la instrucción son más sofisticadas y con un mayor nivel de corrección conceptual. Como consecuencia de todo lo anterior, el índice de mejora toma valores altos en un porcentaje importante de alumnos, si bien, se producen

diferencias entre las dos agrupaciones experimentales, mostrando mejores resultados el grupo Experimental Medio.

Ahora bien, aunque existen diferencias significativas entre el pretest y el recordatorio, no se detecta una mejora estadísticamente válida entre el recordatorio y el postest. Podemos decir, por tanto, que los alumnos no han experimentado un retroceso hacia situaciones conceptuales iniciales, pero la retención que esperábamos encontrar ha sido menor de lo deseable. Si el análisis lo hacemos desde un punto de vista cualitativo, la diferencias que se observan no son tanto referidas al retorno a situaciones conceptuales iniciales, sino a un descenso en la presencia de esquemas conceptuales más elaborados. En este sentido, la idea conceptualmente más correcta sobre la localización y estructura de los cromosomas no se detectaba en el pretest, mientras que en el postest aparecía el 57% del alumnado del grupo EM y en el recordatorio se producía un descenso hasta el 35%. En el grupo EB dicho esquema conceptual aparece en el 19% del alumnado del postest y en el 22% del recordatorio. Considerado el tratamiento experimental en su conjunto, se ha producido un ligero retroceso, pero es muy importante señalar que nueve meses después de la finalización de la instrucción con nuestro modelo didáctico aún existe un porcentaje importante de alumnos con estructuras conceptualmente muy correctas.

Podemos decir que la secuencia didáctica basada en un modelo constructivista de la enseñanza ha podido eliminar concepciones erróneas en el alumnado sobre la localización y estructura de los cromosomas y ha permitido que, después del proceso de instrucción, los esquemas conceptuales de los estudiantes se adapten a los científicamente aceptados como correctos. Varios meses después de finalizar el proceso didáctico se ha producido la suficiente retención como para impedir que los alumnos vuelvan a situaciones iniciales, aunque no lo bastante importante como para que se diferencie significativamente de las concepciones detectadas en el postest. En este sentido, podemos decir que algunos de los problemas detectados por Longden (1982), Heackling y Treagust, (1984) o Banet y Ayuso (2000), como la estructura de los cromosomas y su localización, han podido ser superados por el alumnado.

2) Modelo de enseñanza-aprendizaje tradicional

Existen algunas diferencias entre los resultados obtenidos en las agrupaciones experimentales y en las agrupaciones control. En este apartado comentaremos el impacto del modelo tradicional de enseñanza en los grupos sobre los que se ha puesto en práctica y en qué aspectos se diferencia de los grupos en los que se aplicó nuestra propuesta didáctica.

A partir de los resultados obtenidos en el pretest pudimos comprobar que los cuatro grupos controles no diferían desde el punto de vista estadístico y, por tanto, pueden considerarse un único grupo.

Después de la instrucción se observan diferencias significativas, lo que nos indica que el proceso didáctico ha sido capaz de modificar las concepciones del

alumnado. En principio podemos decir que tanto el modelo constructivista como el tradicional son capaces de modificar las ideas del alumnado sobre la localización de los cromosomas.

Si analizamos más detenidamente los resultados, observamos que la mediana del grupo control crece de un valor de 2 en el pretest a 3 en el postest. En los grupos experimentales se producía un incremento de 2 a 4 en Experimental Medio y de 0 a 3 en Experimental Bajo. Consideramos que aunque en todos los grupos ha habido diferencias significativas y podemos considerarlo un indicador de la eficacia del sistema de enseñanza, en los grupos control no ha sido tan eficiente como en los experimentales.

Varios meses después de la docencia, no se observan diferencias entre los resultados obtenidos en el postest con los del recordatorio, lo que indica retención. Dado que se observan diferencias con el pretest, podemos decir que en los alumnos del grupo control se ha producido un cambio en las concepciones sobre la localización de los cromosomas que ha perdurado nueve meses después de la finalización de la acción docente.

No existen diferencias significativas entre el grupo control y los dos grupos experimentales en el recordatorio, por lo que podemos decir que se llega a un mismo nivel. El hecho de que la mediana en los tres grupos sea de 3, es una prueba más que refuerza lo dicho anteriormente.

Uno de los indicadores del grado de transformación de las concepciones del alumnado es el índice de mejora. El grupo control se diferencia de los dos grupos experimentales en este aspecto, mientras que los dos grupos donde se aplicó nuestra propuesta no presentan diferencias significativas. Atribuimos las diferencias entre los dos tratamientos a que los índices de mejora de los alumnos del grupo control son inferiores a los de los grupos experimentales. Mientras que la mediana en el grupo control es de 0.33, en Experimental Medio es 0.55 y en Experimental Bajo es de 0.50.

Además, el 43.8% de los alumnos control presenta un índice inferior a 0.25, frente a un 19.7% y un 29% en los grupos experimental medio y experimental bajo respectivamente.

Analizando desde una perspectiva más cualitativa los resultados obtenidos por la agrupación control podemos destacar los siguientes aspectos:

1) Se detecta un incremento de un 21% de alumnos que dibujan desde el pretest al postest. En el recordatorio se produce el descenso de creaciones también detectado en los grupos experimentales, ya que se pasa de un 91.2% al 88%. No obstante, sigue siendo un valor superior al de dibujos realizados en el pretest.

2) Se produce un incremento de alumnos que dibujan la célula, desde el 57% del pretest al 80.7% del postest. Ya hemos comentado en el apartado anterior la conveniencia de la representación de la célula, elemento indicador de que el alumnado ha superado el error conceptual también detectado por Caballer y

Jiménez (1992) o Banet y Ayuso (1995), sobre el desconocimiento de la existencia de células en determinados seres vivos. En el grupo control, se mantiene elevado el porcentaje de alumnos que continúan representando la célula.

3) Un porcentaje importante de alumnos (63.1%), ha dibujado en el postest células que representaban el núcleo y diferentes estructuras que señalaban como cromosomas. Es la proporción mayor de las tres agrupaciones en estudio. Sin embargo, apenas hay un 3.5% de dibujos que representen células sin núcleo y con estructuras en el citoplasma representando cromosomas, mientras que en el grupo Experimental Medio es del 30.4%. Atribuimos al conocimiento de la división celular la elaboración de este tipo de creaciones, que es escaso en el grupo control y también en el Experimental Bajo (9.7%).

4) Se detecta un descenso de uno de los errores conceptuales más frecuentes en esta agrupación, como es el de dibujar células con núcleo y situar los cromosomas en el citoplasma. Del 24.6% del pretest, tan sólo el 5.3% del alumnado del postest mantiene esta concepción.

5) En el pretest ningún alumno ha dibujado células en división celular, pero es que en el postest tan sólo lo hacen el 4%. Estos valores son similares a los del grupo Experimental Bajo, confirmando estos resultados los comentarios de Lewis y Wood-Robinson (2000) sobre la confusión entre la mitosis y el papel de los cromosomas. Ahora bien, en el grupo Experimental Medio prácticamente uno de cada cuatro estudiantes dibuja células en división celular y con cromosomas metafásicos bien representados.

6) En el pretest no encontramos ningún alumno que representara correctamente la estructura de los cromosomas y en el postest tan sólo el 5.3%. Sin embargo, el 57.1% del grupo experimental medio y el 19.3% de experimental bajo sí muestran un conocimiento adecuado de la estructura de los cromosomas.

Comparando los modelos de aprendizaje de la agrupación control con los de las agrupaciones experimentales, no se detectan diferencias significativas, por lo que podemos decir que la evolución de las concepciones en las diferentes fases de la investigación ha sido muy similar en los dos tratamientos didácticos. Sin embargo, vale la pena destacar que aunque el modelo 3 ha sido el más frecuente en las tres agrupaciones, en las dos experimentales se presenta en mayor número que en el grupo control.

Mientras que en el grupo sometido a un modelo tradicional se produce una distribución más o menos constante de los modelos de aprendizaje, en los grupos experimentales destaca con mucho el modelo 3 y algunos modelos poco eficientes no son representados, especialmente en el grupo Experimental Bajo.

3) ¿Modelo tradicional o modelo constructivista?

En ambos modelos de enseñanza se han obtenido diferencias significativas después de la docencia, lo que indica una transformación en las concepciones del alumnado. Nueve meses después de la docencia se produce una cierta retención en los grupos experimentales, pero mucho mayor en el grupo control. En cualquier caso las concepciones del alumnado en el recordatorio son más cercanas a la corrección que las manifestadas en el pretest.

A partir de ello puede decirse que ambos modelos son válidos para provocar una modificación en las concepciones del alumnado sobre la localización de los cromosomas.

Sin embargo, consideramos que hay algunos aspectos a destacar a favor de la secuencia didáctica propuesta por nosotros:

- 1) En primer lugar, los modelos de aprendizaje se encuentran más concentrados en torno al modelo 3 (el modelo 1 es el de máxima corrección y el más deseable) y aparecen pocos modelos alejados de la corrección. En el grupo control se distribuyen de forma similar todos los modelos, tanto los más correctos como los menos, aunque también es el 3 el más abundante.
- 2) Los índices de mejora son mucho mayores en los grupos experimentales que en el grupo control. Además, se diferencian significativamente los dos grupos con modelo de enseñanza constructivista del grupo control.
- 3) Las creaciones del alumnado después de la docencia en los grupos experimentales demuestran un conocimiento mayor de la estructura de los cromosomas que en el grupo control.
- 4) El uso de los modelos tridimensionales de cromosoma, célula y división celular, así como la utilización del ser fantástico inventado por el alumnado y el material didáctico empleado, ha permitido que durante las clases la interacción con el alumnado sea más positiva. Esto se refleja en el seguimiento diario del estudiante en el aula y en su cuaderno. Estos elementos son difícilmente cuantificables, pero es necesario tenerlos en consideración.

En definitiva, ambos modelos han sido eficaces en transformar las concepciones del alumnado sobre la localización de los cromosomas, pero el modelo constructivista se ha manifestado más eficiente en algunos aspectos.

7.3.2. Localización de los genes

Un segundo aspecto importante en referencia al conocimiento de la naturaleza del material hereditario y, en particular de su localización, consiste en saber indicar dónde se encuentran los genes.

Para determinar qué concepciones tiene el alumnado al respecto también se utilizó en el cuestionario una pregunta que pedía la creación de un dibujo que indicase el lugar en el que se encuentran los genes. El estudio de las ideas del alumnado se llevó a cabo a través de la construcción de redes sistémicas, de manera análoga a como se realizó el estudio de la localización de los cromosomas.

De la misma manera que la localización de los cromosomas y su representación correcta puede considerarse un indicador del grado de comprensión de los procesos de división celular, la localización y representación correcta de los genes también es un elemento importante. Consideramos que ubicar los genes y alelos correctamente en los cromosomas es necesario para poder resolver problemas de genética correctamente.

1) Modelo de enseñanza-aprendizaje constructivista

Durante el desarrollo de la secuencia didáctica se utilizó el modelo de cromosoma y de ADN, necesarios para dar a conocer la localización de los genes y también para trabajar otros aspectos relacionados con los mecanismos de transmisión de la información hereditaria y la resolución de problemas.

Los cinco grupos experimentales no eran homogéneos en sus concepciones sobre la localización de los genes y por tanto no pudieron agruparse. Se formaron dos grupos, el Experimental Medio (EM) y el Experimental Bajo (EB), que se corresponden con las mismas agrupaciones formadas para estudiar la localización de los cromosomas.

Después de la instrucción detectamos diferencias significativas en las dos agrupaciones, lo que nos indica que las ideas del alumnado se han modificado después de la acción docente. Esta mejora en las concepciones es tan evidente que la mediana del índice de red (indicador de la corrección de las ideas del alumnado reflejadas en el dibujo) pasa de 0 en el pretest a 6 en el postest en ambas agrupaciones experimentales.

Nueve meses después de la finalización de la secuencia didáctica se administró el cuestionario recordatorio. En el grupo Experimental Medio se observan diferencias significativas respecto del postest y también respecto del pretest. En el grupo Experimental Bajo no se producen diferencias nueve meses después, mientras que sí se observan con el pretest.

Estos resultados nos indican que en ambas agrupaciones se ha producido una diferencia en las concepciones desde el pretest hasta la fase de recordatorio, en el sentido de que las concepciones de la última fase son más correctas que las iniciales. Podemos decir que se ha producido retención, aunque en el grupo Experimental Medio se observan diferencias entre el postest y el recordatorio en el sentido de un descenso de la mediana. No obstante, el valor de dicho estadístico es superior que el detectado en el pretest.

Analizando el índice de mejora en las dos agrupaciones detectamos que no hay diferencias entre ellas, lo que nos vendría a indicar que aunque en el

pretest había diferencias entre Experimental Medio y Experimental Bajo, tras la docencia, las concepciones se han uniformizado.

Analizando detalladamente las creaciones de los alumnos podemos hacer las siguientes consideraciones:

- 1) Se produce un incremento notable de alumnos que dibujan después de la docencia, especialmente en el grupo EB donde se pasa de un 3.2% de alumnos que dibujan en el pretest hasta el 70.9% que lo hacen en el postest. Sin embargo, en el recordatorio este porcentaje desciende hasta el 60%. En el grupo EM se da la misma tónica.
- 2) La mayor parte de alumnos no representa la célula después de la docencia, destacando el 90.9% de alumnos que lo hacen en el grupo EB. En el recordatorio se produce un descenso del porcentaje hasta el 60% en esta agrupación. En el grupo EM se da la misma tendencia, pasando de un 30% en el pretest, al 79.2% del postest y un descenso en el recordatorio hasta el 72.3%.

Lewis et al. (2000) han detectado que el 50% de los alumnos sitúan los genes en las células, sin especificar más. En nuestro trabajo hemos detectado que después de la docencia son pocos los alumnos que dibujan una célula para representar dónde se encuentran los genes (20.8% en EM y 9.1% en EB). A lo largo de la secuencia didáctica hemos utilizado modelos para permitir que los alumnos puedan situar correctamente el material hereditario. Considerar que las células, sin más, es donde se encuentran los genes, es menos correcto que dibujar otras estructuras y relacionarlo con la morfología celular y de las estructuras relacionadas con la transmisión de la información hereditaria. La mayor parte del alumnado que no dibuja la célula, ha hecho otras creaciones que sitúan de manera mucho más precisa los genes. Pashley (1994a) también ha detectado las dificultades del alumnado en ubicar correctamente en células u otras estructuras biológicas los genes y los alelos.

Por estos motivos, consideramos positivo que no se represente la célula, obviamente, si el dibujo viene acompañado de otras estructuras conceptualmente correctas.

- 3) Analizando las creaciones que incluyen células, la mayor parte de alumnos las representan con núcleo (el 80% en EM y el 100% en EB). Podemos considerar correcto que los alumnos dibujen células con núcleo y sitúen en él los genes, siguiendo a Banet y Ayuso (1995) y Lewis y Wood-Robinson (2000), pero no es completamente correcto, ya que no se relaciona con otras estructuras como el cromosoma.
- 4) Aquellos alumnos que no han representado la célula sitúan los genes en cromosomas, en la molécula de ADN y un porcentaje pequeño es capaz de relacionar los genes con la molécula de ADN y los cromosomas. Un porcentaje importante de alumnos sitúa los genes en los cromosomas,

concretamente el 75% del grupo EB y el 52.6% del EM. En menor medida los sitúan en la molécula de ADN, pero en cualquier caso, en una proporción superior a la que lo hicieron en el pretest.

Ambas concepciones pueden ser consideradas correctas, ya que en sentido estricto podemos situar los genes en la molécula de ADN y también en el cromosoma. En todo caso, los porcentajes obtenidos por nosotros son superiores a lo detectados por otros investigadores ya que Lewis et al. (2000) sólo detectan un 11% de respuestas correctas, Banet y Ayuso (1995) un 28% y Lewis y Wood-Robinson (2000) un 14.5%.

Podemos decir que la secuencia didáctica propuesta por nosotros se ha manifestado eficaz para permitir a los alumnos conocer la estructura y localización de los genes y, de manera relacionada de los cromosomas. Esta capacidad se mantiene con el tiempo, tal y como revelan los resultados obtenidos en el recordatorio o incluso crece el porcentaje de alumnos que sitúa los genes en los cromosomas.

Bahar et al. (1999) han señalado la dificultad del alumnado en relacionar genes con cromosomas y ADN. En nuestro trabajo mostramos que las dificultades existen, pero el modelo constructivista ayuda a superarlas. Incluso un 7.9% de los alumnos ha sido capaz de relacionar ADN, cromosomas y genes, demostrando un elevado nivel conceptual.

- 5) En el pretest, pocos alumnos eran capaces de mostrar los genes como fragmentos de cromosomas, de hecho ningún alumno del grupo EB lo hizo. En el postest, el 100% del alumnado que recibió la docencia en los grupos experimentales es capaz de representar los genes como fragmentos de cromosomas. Aunque no se muestra en los dibujos, esta concepción viene acompañada del conocimiento de que en dicho fragmento se encuentra una parte de la información hereditaria del individuo.

Estamos convencidos de que el uso de los modelos ha sido un elemento que ha ayudado de manera importante en dar sentido a los conceptos que se estaban trabajando en el aula y a modificar las concepciones del alumnado sobre la localización del material hereditario.

Podemos decir que la secuencia didáctica basada en un modelo constructivista ha permitido al alumnado cambiar sus concepciones sobre la situación de los genes. Ahora bien, muchos alumnos no manifestaron sus ideas en el pretest, tal vez por carecer de prerrequisitos conceptuales o bien por ignorar dónde se encontraban los genes. Sin embargo, en el postest se produce un incremento de dibujos en el alumnado que viene acompañado de una corrección notable de las concepciones.

En los dos grupos experimentales se han producido diferencias significativas entre el pretest y el postest y además se ha producido un aceptable grado de retención. De hecho, las concepciones del alumnado en el recordatorio son más correctas que las que se obtuvieron el pretest.

Analizando las respuestas del alumnado en el cuestionario postest, vemos que el grado de complejidad y de corrección de las creaciones del alumnado es muy notable en un porcentaje elevado de alumnos. Por tanto, la secuencia didáctica diseñada por nosotros, además de desterrar concepciones alternativas, ha permitido que las ideas manifestadas por el alumnado se ajusten bastante a la corrección científica.

2) Modelo de enseñanza-aprendizaje tradicional

Los resultados obtenidos en el cuestionario pretest, indicaban que los cuatro grupos control no eran homogéneos. Se establecieron dos agrupaciones, una llamada Control Alto (CA) formada por un solo grupo y Control Bajo (CB), formada por los otros tres grupos.

Para determinar el impacto de la acción docente observamos si aparecen diferencias significativas al acabar la instrucción. Mientras que en el grupo CB sí existen, en el grupo CA no se detectan. En el grupo Control Alto tampoco se observan diferencias entre el postest y el recordatorio, ni tampoco entre el pretest y el recordatorio. En el grupo CB sí hay diferencias nueve meses después de finalizar la secuencia didáctica, pero las concepciones no difieren de las detectadas en el pretest.

Es decir, las ideas del alumnado que ha recibido un modelo de enseñanza-aprendizaje tradicional son iguales varios meses después de recibir la docencia que justo antes de la instrucción. Además, en una de las agrupaciones, Control Alto, no parece que la docencia haya tenido ningún impacto. En Control Bajo sí lo tiene, al existir diferencias significativas entre pretest y postest, pero no se produce retención. Además, las medianas del índice de la red del recordatorio son idénticas a las del pretest.

Los índices de mejora de las dos agrupaciones control son muy bajos y, si los comparamos con los de los grupos experimentales, cuya mediana es de 1, la mediana del grupo CB es de 0.33 y la del grupo CA es de 0.

El porcentaje de alumnos con índice de mejora superior a 0.75 es mucho mayor en los grupos experimentales, 57.2% en EM y 54.8 en EB, mientras que en el grupo CB es del 26% y en CA del 18.2%.

Estos datos nos hacen pensar que el modelo tradicional no ha sido tan eficaz como el modelo constructivista en conseguir que las concepciones del alumnado se ajusten a las consideradas científicamente correctas.

Analizando detalladamente las creaciones del alumnado, detectamos algunos aspectos diferentes de los hallados en los grupos experimentales.

1) Después de la docencia hay más alumnos que dibujan que en el pretest, pero en un porcentaje inferior al de los grupos experimentales. En el grupo CB se produce un incremento del 37%, mientras que en los experimentales es de un 50% en EM y de un 67.7% en EB. Llama la atención que en el grupo que

partía de un nivel conceptual más alto, el CA, se produce un descenso de creaciones después de la docencia.

Consideramos el hecho de que haya menos alumnos de los grupos control que dibujen que en los grupos experimentales, como un primer indicador de las diferencias entre ambos modelos. Aunque hay alumnos que sí dibujan en los grupos control, en los grupos experimentales es muy superior.

2) Un 58% del grupo CB no representa la célula, por un 88.9% del grupo CA. Ya hemos comentado en el apartado anterior el significado que atribuimos al hecho de no representar la célula. En comparación con el total de grupos experimentales, hay más alumnos que dibujan la célula en las agrupaciones control.

3) De las células dibujadas, el 92.3% de las del grupo CB tenían núcleo, mientras que todas las del grupo CA eran dibujadas sin núcleo. La representación de los genes en cromosomas o en ADN no difiere a grandes rasgos de las detectadas en los grupos experimentales, aunque las diferencias radican en la corrección de las creaciones.

Mientras que en las agrupaciones experimentales un porcentaje elevado de alumnos que sitúan los genes en los cromosomas o en el ADN lo hace de forma científicamente correcta y dibujando dichas estructuras delimitadas por fragmentos que representan genes, en los grupos control el porcentaje es menor.

De hecho, no hay ningún alumno del grupo CA que indique que los genes pueden considerarse fragmentos de ADN, aunque sí los hace un 50% de los alumnos del grupo CB. De manera análoga, después de la docencia tan sólo el 60% del grupo CB y el 66.6% del grupo CA, sitúa correctamente los genes sobre los cromosomas. Sin embargo, en los dos grupos experimentales el 100% de alumnado del posttest y del recordatorio lo hace correctamente.

En nuestra opinión, las diferencias en este aspecto entre ambos modelos puede ser atribuida al diferente enfoque metodológico y, especialmente, a la utilización de los modelos tridimensionales de cromosoma. En las agrupaciones experimentales los alumnos han podido trabajar con dicho modelo e incluso construir uno propio, de manera que han podido acercarse mucho más al concepto de gen, cromosoma y alelo y tener unas concepciones sobre la estructura y localización del material hereditario más cercana a la correcta.

4) Comparando las creaciones que no han dibujado la célula que presentan mayor corrección conceptual, las dos agrupaciones control se encuentran claramente por debajo de las agrupaciones experimentales. Mientras que en el grupo CB el 29% de las creaciones del posttest pueden considerarse muy correctas, en el grupo CA sólo lo son el 22%. Por el contrario, el 48% de las creaciones del posttest en el grupo EM y el 86% del grupo EB tienen el máximo nivel de corrección.

Estos resultados ponen de relieve las dificultades del modelo tradicional de la enseñanza de la genética en conseguir que el alumnado conozca la estructura de genes y cromosomas y los pueda localizar correctamente.

Además de no producirse diferencias significativas en todas las agrupaciones control, no se ha detectado retención varios meses después de la docencia, más bien al contrario, ya que se manifiestan muchas de las ideas del pretest.

El índice de mejora no indica una evolución positiva de las concepciones, encontrándose la mayor parte del alumnado en valores francamente bajos.

Comparando los modelos de aprendizaje de las agrupaciones control con las de las agrupaciones experimentales, vemos que existen diferencias significativas entre ambas. Ahora bien, dentro de cada tratamiento didáctico, no hay diferencias significativas entre CB y CA, ni entre EB y EM.

Esta uniformidad nos confirma que las secuencias didácticas control y experimental, realmente ha ejercido un papel muy similar en cada uno de los grupos sobre los que actuó.

Las diferencias observadas entre los grupos control y experimental son a favor de los grupos sometidos a un modelo constructivista. En los grupos control no hay ningún alumno con modelo de aprendizaje 1 (el más deseable) ó 2 y en CA ni tan solo aparece un modelo 3. En el grupo CB sí hay un 57% de alumnos que presentan un modelo 3.

En el grupo EM el 87% del alumnado tiene modelos 2 ó 3 y el 72% de los alumnos del grupo EB presenta modelos 1, 2 ó 3.

En el lado contrario, ningún alumno de grupos experimentales tiene un modelo inferior a 6, mientras que el 50% del grupo CA se encuentra en esta franja.

De este análisis de los modelos de aprendizaje podemos confirmar lo referido en párrafos anteriores sobre las deficiencias del modelo tradicional y la mayor eficiencia del modelo constructivista.

3) ¿Modelo tradicional o modelo constructivista?

En los dos puntos anteriores hemos descrito ampliamente las dificultades que ha encontrado el modelo tradicional de enseñanza de la genética de permitir al alumnado conocer la estructura de cromosomas y genes y su localización. Aunque es cierto que en el grupo CB se consiguen diferencias significativas respecto del pretest, esta mejora es inferior a la detectada en los grupos experimentales.

En los dos modelos se ha producido un retroceso en las concepciones del alumnado desde el postest hasta el recordatorio, pero en los grupos experimentales ha sido menor, hasta el punto de que sí hay diferencias significativas con el pretest, cosa que no sucede en los grupos control.

Los índices de mejora son claramente superiores en las agrupaciones que han recibido enseñanza constructivista, así como los modelos de aprendizaje.

En conjunto, las agrupaciones experimentales se han diferenciado de las control en el índice de red, en el índice de mejora y en los modelos de aprendizaje. Además, se ha producido una homogeneización de los grupos que han recibido el mismo tratamiento.

Consideramos que nuestra propuesta didáctica ha sido claramente capaz de provocar el cambio conceptual en el alumnado y de permitir que el alumnado conozca la localización de los genes. Conocer la ubicación de los genes ha venido seguido de un conocimiento de la estructura y localización de los cromosomas, aspecto íntimamente relacionado y trabajado en la secuencia didáctica de manera similar.

La utilización de modelos tridimensionales en clase y su relación con elementos cercanos al alumnado, como podría ser el organismo fantástico que se han inventado o caracteres humanos ha mostrado ser una estrategia eficaz.

Los propios alumnos han construido su propio modelo de cromosoma, donde tienen que utilizar los términos de gen y alelo y ubicar correctamente sobre el modelo.

Además del modelo de cromosoma, se han utilizado el modelo de ADN y el de célula eucariota. El conjunto de estos elementos, sumados a la estructura de la secuencia didáctica y la metodología utilizada, basada en los principios del constructivismo, hacen que consideremos nuestra propuesta didáctica más capaz que el modelo tradicional de enseñanza, para que los alumnos puedan localizar correctamente los genes en el contexto celular y de estructuras relacionadas con la transmisión de la información hereditaria.

7.3.3. Función de los cromosomas

Una parte importante de nuestro estudio ha consistido en diseñar y valorar la implantación en el aula de estrategias didácticas que permitan obtener aprendizaje significativo sobre la estructura y localización del material hereditario, concretamente cromosomas y genes. En los apartados anteriores hemos analizado el impacto didáctico de los dos modelos de enseñanza en el conocimiento de la localización y estructura de genes y cromosomas.

En este apartado analizaremos qué sucede en los dos tratamientos didácticos durante el proceso de enseñanza-aprendizaje de la función de los cromosomas. Consideramos que este aspecto se relaciona directamente con conocer su estructura y localización, de manera que es un tercer elemento que nos dará mucha información sobre la eficiencia de un modelo de enseñanza constructivista sobre los mecanismos de la herencia biológica y la naturaleza de la información hereditaria.

El estudio de las concepciones del alumnado se llevó a cabo utilizando una pregunta de respuesta abierta, cuyos resultados fueron categorizados y representados en forma de red sistémica cuantificada. Por tanto, cada alumno tiene un índice de red en cada fase de la investigación y su evolución es un indicador del grado de modificación de sus concepciones sobre la función de los cromosomas.

1) Modelo de enseñanza-aprendizaje constructivista

Los cinco grupos experimentales no formaban un único conjunto, ya que las ideas manifestadas diferían significativamente. Se formaron dos agrupaciones denominadas Experimental Bajo (EB) y Experimental Medio (EM), que no se corresponden con las mismas que se formaron al estudiar la localización de los cromosomas y los genes.

Después de la docencia se detectan diferencias significativas en las dos agrupaciones, lo que nos indica la modificación de las concepciones sobre la función de los cromosomas. Las medianas del índice de red en el pretest eran de 0 en EB y de 3.5 en EM, mientras que en el postest se llegan a medianas de 4 y 7 respectivamente.

Nueve meses después de la finalización de proceso instructor los resultados son diferentes en las dos agrupaciones. En el grupo EB no hay diferencias significativas con el recordatorio, pero sí entre éste y el pretest. Esto nos indica que se ha producido retención en los alumnos que partían de un nivel de concepciones inferior. Llama la atención que la mediana sea superior en el recordatorio que en el postest, pero en otros apartados hemos comentado las peculiaridades que hemos detectado en los resultados obtenidos en el recordatorio. Por otra parte, en el grupo EM no se produce retención, ya que no se detectan diferencias entre el test en el recordatorio y el pretest.

El modelo constructivista ha sido capaz de provocar un cambio en las concepciones tras la docencia, pero las ideas de los alumnos de grupos experimentales no han tenido la misma tendencia nueve meses después de la finalización de la acción docente. Las diferencias entre ambos grupos experimentales en cada fase de la docencia puede darnos alguna pista sobre el diferente comportamiento de ambas agrupaciones.

En el pretest, los dos grupos experimentales mostraban diferencias significativas y en el postest continúan diferenciándose. La razón es que el grupo EM ha mejorado bastante más tras la docencia, como nos indica el elevado valor de la mediana. Pero en el recordatorio no se observan diferencias significativas entre las agrupaciones experimentales, es decir, sus concepciones son similares. Por tanto, aunque agrupación a agrupación han tenido un comportamiento diferente, en realidad no lo son tanto.

Analizando el índice de mejora podemos obtener más información sobre la eficacia de la secuencia didáctica propuesta por nosotros. El porcentaje de alumnos con índices satisfactorios (mayores a 0.75) es prácticamente idéntico al de índices inferiores a 0.25. Esto nos hace pensar que la evolución de las

ideas no ha sido lo bastante importante. Pero si comparamos el índice de mejora de los grupos experimentales con los grupos control, vemos que es en los primeros donde hay mayor porcentaje de índices superiores a 0.75. De hecho, la mediana del índice de mejora del grupo EB es de 0.5 y de EM de 0.37, mientras que en los dos grupos control la mediana es 0. Por tanto, aunque los índices de mejora no son especialmente altos, son mejores que en los grupos control, indicador éste de que el modelo constructivista ha sido más eficiente en la enseñanza de la función de los cromosomas.

El grado de uniformización de las dos agrupaciones experimentales se hace evidente cuando vemos que no hay diferencias significativas entre las agrupaciones Experimental Bajo y Experimental Medio.

Si analizamos detenidamente las respuestas del alumnado podemos obtener información que ayude a matizar los comentarios anteriores.

1) En el pretest ya hemos detectado diferencias entre el grupo EB y el EM, ya que sólo responde el 35.6% del alumnado del grupo EB y el 83.3% grupo EM. Sin embargo, en el postest y en el recordatorio hay un porcentaje elevado de respuestas. Es posible que la ausencia de respuesta sea un indicador de la necesidad de prerequisites en el alumnado. El elevado porcentaje de respuestas en la segunda y tercera fase de la investigación es un indicador de que la secuencia didáctica ha sido capaz de hacer que el alumnado muestre sus ideas. En los apartados siguientes comentamos su corrección.

2) Después de la docencia hay un porcentaje importante de alumnos que manifiestan ideas científicas y correctas (un 38.5% en EB y un 52.1% en EM). Nueve meses después de la finalización de la docencia, se observa un incremento de este tipo de respuesta en el grupo EB hasta el 61.9%, mientras que en el grupo EM se produce un descenso hasta el 36.4%, pero siempre superior al detectado en el pretest. Estos resultados nos dicen que el modelo de enseñanza propuesto por nosotros ha sido capaz de conseguir que los alumnos puedan expresar ideas sobre la función de los cromosomas de forma científica y correcta.

3) Hemos considerado que las concepciones sobre la función de los cromosomas que hagan referencia a contener información y sean científicamente correctas, son deseables. En el postest, se produce un incremento en las dos agrupaciones experimentales, siendo el incremento del 33.4% en el grupo EB y del 25% en EM.

4) Hemos ido más allá en el análisis de las respuestas, ya que además de detectar concepciones científicas y correctas, consideramos que las respuestas que además tengan una elaboración y complejidad elevada se corresponderá con un aprendizaje mucho más completo y deseable de la función de los cromosomas. El 12.8% del alumnado de la agrupación EB y el 22.9% de los alumnos de EM han sido capaces de manifestar sus ideas con total corrección y complejidad después de la docencia, aunque se produce un notable descenso en el recordatorio.

De todo lo anteriormente dicho podemos afirmar que la secuencia didáctica propuesta por nosotros ha sido capaz de modificar las ideas sobre la función de los cromosomas. También ha conseguido que alumnos que no conocían qué función tenían dichas estructuras puedan manifestar sus concepciones y que muchos lo hagan de forma correcta. Finalmente, ha conseguido que las concepciones del alumnado se manifiesten de forma correcta y en términos científicos. Sin embargo, no ha sido totalmente capaz de provocar retención en el alumnado.

Nuestros resultados son concordantes con los de Banet y Ayuso (1995), Bahar et al. (1999) y Lewis et al. (2000), que también han detectado las dificultades del alumnado en el conocimiento de la función de los cromosomas y su papel en la célula. Sin embargo, estos autores no han realizado un estudio de retención para poder compararlo con nuestro trabajo.

2) Modelo de enseñanza-aprendizaje tradicional

Los cuatro grupos control se diferencian en el pretest de manera significativa, por lo que se han formado las dos mismas agrupaciones que en el estudio de la localización de los genes. La primera de ellas la hemos denominado igual, Control Alto (CA), pero la segunda la hemos llamado Control Medio (CM) por hallarse las concepciones del alumnado de estos grupos muy próximas a las de la agrupación Experimental Medio.

Después de la finalización de la docencia, el comportamiento de las dos agrupaciones es distinto. En el grupo CA no hay diferencias después de la instrucción y no se observa cambio en las concepciones a lo largo de las tres fases de la investigación. Hay que tener en cuenta que la mediana de esta agrupación en el pretest era de 7, valor que nos da idea de que las concepciones del alumnado ya eran bastante correctas. Por tanto, al tratarse de un grupo con concepciones bastante correctas, no se aprecian las diferencias tras la docencia con el modelo tradicional. En nuestra opinión, el modelo didáctico control no ha sido capaz de hacer evolucionar las ideas de los alumnos hasta niveles de corrección aún mayores. Sin embargo, llama la atención que la mediana del índice de red en el recordatorio sea de 5.5, mientras que antes de iniciar el proceso instructor ya era de 7.

En el grupo CM sí hay cambio en las ideas tras la acción docente. Además se produce la suficiente retención como para que las ideas nueve meses después de la docencia sean diferentes de las manifestadas antes del proceso didáctico. En realidad, se da el mismo fenómeno descrito en el grupo EB y con el mismo valor de la mediana de 6.

En el recordatorio los dos grupos control no se diferencian significativamente, lo que indica una uniformización, en este caso debido a la aparición de concepciones no correctas en el grupo CA y el aumento de respuestas con ideas correctas en el grupo CM.

El índice de mejora en el grupo CA nos muestra valores bajos, lo cual es lógico ya que el punto de partida de dicha agrupación era superior conceptualmente al

resto. En el grupo CM, hay un porcentaje de índices inferiores a 0.25 similar al de los grupos experimentales (36.4%), mientras que hay menos alumnos con índices de mejora superior a 0.75 que en los dos grupos experimentales (27.3%).

Las respuestas de los alumnos de las agrupaciones control son similares en las fases iniciales de categorización de la red sistémica a las de las agrupaciones experimentales.

De la misma manera que en los grupos experimentales, se produce un incremento de respuestas en el postest, aunque en el grupo CA hay un ligero descenso, pero que es preocupante teniendo en cuenta que el 100% del alumnado contestó en el pretest.

No obstante, hay algunas diferencias entre las concepciones de los grupos control y las de los grupos experimentales.

1) En el postest se produce un incremento de 17% de respuestas que contienen concepciones científicas y correctas en el grupo CM. En el grupo CA se observa incluso un descenso. Estos valores son , en general, inferiores a los encontrados en los grupos experimentales.

2) En el grupo CM no se encuentra ninguna respuesta que podamos considerar elaborada, aunque en el grupo CA sí hay un porcentaje próximo al 40% que lo son. Por otra parte, más del 60% del alumnado del grupo CM tiene respuestas que hemos denominado no elaboradas y en torno al 40% en el grupo CA. Comparando con los grupos experimentales éstos presentan un porcentaje menor de respuestas poco elaboradas y sí encontramos un 17.9% en EB y un 25% en EM de respuestas que podemos considerar elaboradas y con elevado grado de corrección conceptual.

3) Las concepciones que demuestran un máximo rigor científico y elaboración representan el 27.3% del grupo CA, pero no se encuentra ninguna en el grupo CM. Por el contrario, en los grupos experimentales hallamos un 12.9% en EB y de 22.5% en EM. Estos datos confirman nuestra convicción de la mayor eficiencia del modelo constructivista en provocar un cambio conceptual en el alumnado.

Sin embargo, en el recordatorio los resultados son sorprendente, ya que en el grupo CM aparece un 13.3% de alumnos con respuestas clasificables en esta categoría. En los dos experimentales se produce una disminución en los valores del postest y también en el grupo CA.

Aunque no existen diferencias significativas entre las agrupaciones control y experimental respecto de los modelos de aprendizaje, se observan algunas tendencias diferentes. Mientras en los dos grupos experimentales la mayor parte de alumnos presentan modelos de aprendizaje inferiores a 3, es decir, aquellos modelos que siempre manifiestan una mejora en las concepciones en el postest (71.4% en EB y 63.7% en EM), en los grupos control el comportamiento es diferente. En CM se sigue la misma tendencia observada

en los grupos experimentales, con un 64.3% de modelos deseables, pero en la agrupación CA, sólo el 20% del alumnado los presenta.

Este comportamiento desigual de las agrupaciones que recibieron el tratamiento didáctico tradicional, nos hace pensar en una eficacia más limitada de dicho modelo de enseñanza, respecto del modelo constructivista.

3) ¿Modelo tradicional o modelo constructivista?

Mientras que en los aspectos relacionados con la localización de cromosomas y genes, hemos visto que el modelo de enseñanza constructivista era capaz de provocar un cambio conceptual superior a la situación que provoca el modelo tradicional, en este caso tenemos que tomar ciertas precauciones.

Efectivamente, el modelo constructivista ha provocado un cambio conceptual en el alumnado tal y como se refleja en las concepciones después de la docencia. Sin embargo, el efecto de retención no ha sido el mismo en las dos agrupaciones.

Por su parte, el modelo tradicional ha hecho que, después de la docencia, las concepciones del alumnado sean científicamente correctas y ha provocado una mejora en las respuestas del alumnado en una de las agrupaciones, pero no en el otra. Ahora bien, la agrupación CA ya partía de un nivel de concepciones correctas muy elevado, por lo que es difícil conseguir una mejora.

Sin embargo, el comportamiento varios meses después de la docencia ha sido variado en todas las agrupaciones, con resultados sorprendentes, en el sentido de conseguir concepciones mucho más correctas en el recordatorio que en el posttest.

Pero en un aspecto cualitativo en el que se diferencian los dos tratamientos es en la corrección y complejidad de las concepciones sobre la función de los cromosomas. En los grupos que han recibido la instrucción a través de nuestra propuesta didáctica, las concepciones del alumnado después de la finalización del proceso instructor son, además de correctas científicamente, más elaboradas y matizadas que en el caso de los grupos con metodología tradicional.

Esto nos indica que ambos modelos pueden haber sido capaces de permitir al alumnado conocer la función de los cromosomas de forma adecuada, pero el modelo constructivista ha hecho que los significados que el alumnado ha construido sean más complejos y elaborados.

Atribuimos esta diferencia a las actividades trabajadas en la secuencia didáctica, ya que se hace hincapié en aspectos fundamentales para conocer la estructura y función del material hereditario. Hemos mostrado la estructura de los cromosomas, ADN y genes de una forma tal que se permita al alumnado relacionar dichas estructuras y además relacionar también con la función. Durante el estudio de los procesos de división celular y de desarrollo de un individuo a partir de un cigoto, se ha tenido en cuenta el papel del material

hereditario y la función que realiza. A todo ello han ayudado los modelos elaborados por nosotros, tal y como apuntábamos en los apartados anteriores.

7.3.4. Célula y herencia

Una de las concepciones del alumnado más extendidas es pensar que no todas las células poseen la misma información genética, sino que cada célula contiene la necesaria para realizar su propia función (Hackling y Treagust, 1984; Banet y Ayuso, 1995; Ayuso y Banet, 2002).

Muchos alumnos no creen que todas las células posean cromosomas y genes y también atribuyen la existencia de los cromosomas sexuales tan sólo en las células sexuales (Longden, 1982; Radford y Bird-Stewart, 1982; Kindfield, 1991; Lewis et al. 2000).

Uno de los ejes de las actividades de aprendizaje de nuestra secuencia didáctica es permitir que los alumnos conozcan la localización de los cromosomas y los genes en las células, como es el hecho de que todas las células de un organismo tienen los mismos cromosomas, incluso los sexuales y también genes.

La detección de las concepciones del alumnado en el pretest a este respecto se llevó a cabo a través de preguntas cerradas de respuesta múltiple (ver capítulo 5). En el postest y el recordatorio se planteó el mismo tipo de pregunta. Se valoraron las concepciones correctas del alumnado de forma positiva y se procedió a sumar las valoraciones de cada pregunta de forma que cada alumno recibió un valor de 1 a 10 puntos. Cuanto más cercano a 10, las ideas de los estudiantes son conceptualmente más correctas. Esta cuantificación ha permitido su tratamiento estadístico de manera muy cómoda y ha permitido obtener resultados objetivos sobre la evolución de las concepciones del alumnado y sobre la eficiencia de un tratamiento didáctico u otro.

Además de este análisis cuantitativo se ha llevado a cabo un estudio detallado de cómo se modifican las concepciones del alumnado por la acción de la docencia en cada uno de los aspectos trabajados.

Con este apartado completamos el estudio de las concepciones del alumnado sobre la estructura, función y localización del material hereditario a lo largo de las tres fases de la investigación y cómo se ven modificadas por la acción docente.

1) Modelo de enseñanza-aprendizaje constructivista

Los cinco grupos experimentales presentaban diferencias significativas en el pretest, por lo que no pudo considerarse como un único conjunto. Se formaron dos agrupaciones denominadas Experimental Medio (EM) y Experimental Bajo (EB), en función del nivel de concepciones manifestado por el alumnado.

Después de la docencia se observan diferencias significativas en las dos agrupaciones experimentales. Mientras que en el pretest los dos grupos experimentales eran diferentes y presentaban concepciones lo suficientemente distintas (la mediana de EM era 5 y la de EB 1.6), después de la instrucción se ha producido una homogeneización que se demuestra al no existir diferencias significativas entre los grupos y porque su mediana es idéntica, 8.3.

Después de la instrucción se ha producido retención, ya que no se observa que el recordatorio se diferencie significativamente del postest, pero sí del pretest. Es decir, que las ideas manifestadas antes de la instrucción se han modificado e incluso se mantienen varios meses después de la docencia.

También hemos estudiado el índice de mejora del conjunto de concepciones relacionadas con la célula y la herencia y observamos que en EM la mediana es de 0.83 y en EB de 0.79, valores cercanos a 1 e indicadores de una mejora de las ideas del alumnado. En los grupos control la mediana fue de 0.55 en Control Bajo y 0.32 en Control Alto. A título de ejemplo, el 59.7% de los alumnos de EB presentaban un índice de mejora superior a 0.75 mientras que en EM supone el 54.9%.

Los índices de mejora de las dos agrupaciones experimentales no presentan diferencias significativas, es decir, aun partiendo de estructuras conceptuales diferentes han alcanzado unas ideas similares. Por el contrario, las dos agrupaciones experimentales se diferencian del grupo Control Bajo, que partía de idéntico punto de partida que EB y del grupo CA (EM lo hace de manera marginal).

Podemos decir que el modelo didáctico propuesto por nosotros ha conseguido modificar las concepciones del alumnado para que se acerquen a las conceptualmente correctas y además ha conseguido diferenciarse de las agrupaciones Control. El único grupo que no se diferencia estadísticamente es Control Alto, aunque el valor de su mediana, 6.6 y que es el mismo que presentó en el pretest, es bastante inferior al de los dos grupos experimentales.

Analizando la eficiencia de nuestra propuesta didáctica en los diferentes aspectos relacionados con la función y localización de la información hereditaria, en el grupo EB se consiguen diferencias significativas en todas salvo en la cuestión "¿Qué células contienen información hereditaria?". Después de la docencia se consigue retención ya que no hay diferencias entre postest y recordatorio.

En el grupo EM también se consigue un cambio conceptual salvo en las cuestiones "¿Qué células tienen cromosomas?" y "¿En qué células hacen su función los cromosomas?". Esta situación se mantiene a lo largo de todas las fases de la investigación y, por tanto, las ideas del alumnado no se han modificado en este aspecto a lo largo de la instrucción.

Hemos estudiado cómo se modifican las concepciones después de la instrucción:

1) En el pretest había bastantes alumnos que consideraban que la información hereditaria se encuentra en las células sexuales, resultado coincidente con el de Hackling y Treagust (1985) y Banet y Ayuso (1995). Sin embargo, después de la docencia, la mayoría de alumnos conocen que todas las células poseen información hereditaria, aunque aún hay estudiantes del grupo EB que consideran que las células somáticas y no las sexuales son las portadoras de dicha información, lo que hace que no se obtenga significación estadística en la evolución de las ideas del alumnado de dicho grupo. Esta tendencia persiste en el recordatorio, por lo que podemos decir que se ha producido un cambio conceptual en el alumnado.

2) La mayor parte del alumnado considera antes de la instrucción que no todas las células poseen cromosomas, coincidiendo con los resultados obtenidos por Engel Clough y Wood-Robinson (1985) y Lewis y Wood-Robinson (2000).

Hemos detectado gran confusión en la localización de los cromosomas y en identificar dónde hacen su función, obteniendo los mismos resultados detectados por Longden (1982), Kindfield (1991), Pashley (1994a) y Banet y Ayuso (2000). Los resultados obtenidos por estos autores han sido confirmados en nuestra investigación. Existe la creencia de que no todas las células poseen cromosomas y de que no en todas dichos cromosomas tiene una función. Las células sexuales suelen ser las portadoras fundamentales de cromosomas y donde se llevan a cabo las funciones propias. Por otra parte, el alumnado considera que la información hereditaria que pueda tener una célula de un órgano determinado es exclusiva para la función que realiza y que no posee la información del resto del organismo.

Después de la instrucción, la mayor parte del alumnado de los grupos experimentales considera que todas las células tienen cromosomas, aunque se produce una vuelta a concepciones iniciales en el recordatorio, especialmente en el grupo EM.

También se produce una evolución positiva de las concepciones sobre en qué células hacen su función los cromosomas, de manera que hay más alumnos que consideran que en todas las células hacen su función que no otras respuestas obtenidas en el pretest. En este caso tampoco hay un grado de retención que podamos considerar significativo en el grupo EM.

Por tanto, aunque se ha producido un cambio en las concepciones del alumnado después de la instrucción, la resistencia a la modificación de los esquemas conceptuales del alumnado es fuerte, como demuestra la vuelta a posiciones iniciales.

3) La mayor parte del alumnado considera que los cromosomas sexuales se encuentran exclusivamente en células sexuales, de la misma forma que han detectado otros investigadores (Lewis et al., 2000; Ayuso, 2000). Nuestra propuesta didáctica ha conseguido que tanto después de la docencia como en el recordatorio las ideas del alumnado se ajusten a las científicamente correctas. Atribuimos esta situación al énfasis que se ha hecho en las actividades planteadas en la secuencia didáctica.

4) Un último aspecto importante sobre la información hereditaria y su localización es saber qué células contienen genes. Los resultados obtenidos en el pretest son concordantes con los esquemas conceptuales detectados en otras cuestiones, es decir, que las células sexuales son las portadoras de los genes y con un porcentaje bajo de alumnos que crean que todas las células tienen genes. Diversos autores han descrito las dificultades que tienen los alumnos para determinar qué células tienen genes y dónde se encuentran éstos (Longden, 1982; Radford y Bird-Stewart, 1982; Pashley, 1994a, Banet y Ayuso, 1995 y Lewis y Wood-Robinson, 2000).

Los resultados obtenidos por nosotros no difieren de manera especial de los obtenidos por dichos autores, aunque sí se han modificado después de la docencia. Tras la instrucción, la mayor parte del alumnado considera que los genes se encuentran en todas las células, aunque en la agrupación EB se produce un retroceso hasta posiciones iniciales, mientras que en la agrupación EM se produce una retención que es estadísticamente significativa.

En definitiva, podemos decir que las ideas alternativas del alumnado en los conceptos estudiados detectadas por nosotros no difieren de las halladas por otros investigadores. Después de la instrucción sí se ha producido un cambio en dichas concepciones, que en algunos casos se mantiene varios meses después de la docencia, pero que en otros se vuelve a posiciones iniciales.

Podemos decir que nuestra propuesta didáctica ha sido eficaz para modificar las concepciones del alumnado, pero en algunos aspectos no ha sido suficientemente potente como para provocar retención.

2) Modelo de enseñanza-aprendizaje tradicional

De la misma manera que sucedió en otros aspectos de la investigación, se han formado dos agrupaciones control diferentes: Control Alto (CA) y Control Bajo (CB).

Mientras que en el grupo CA no se observan diferencias significativas tras la docencia, en el grupo CB sí hay significación. De hecho, la mediana del grupo CA no se mueve del valor de 6.6 inicial, pero la del grupo CB pasa de 3.3 del pretest al 8.3 en el postest.

En el pretest ambos grupos control se diferenciaban estadísticamente, pero tras la docencia no se observan diferencias significativas, por lo que la acción docente ha conseguido uniformizar las concepciones del alumnado. Sin embargo, el hecho de que un grupo (CA), que partía de unos esquemas conceptualmente más correctos que otro grupo (CB y los dos experimentales) no haya experimentado ningún cambio, nos hace pensar que el modelo tradicional no ha sido capaz de modificar las ideas de dicho alumnado.

Por otra parte, en el grupo CB sí se ha manifestado eficaz el modelo tradicional de enseñanza, aunque no tanto como el constructivista. Efectivamente, se observan diferencias en el postest entre el grupo CB y los dos grupos

experimentales, en el sentido de que las concepciones de los grupo EB y EM son más cercanas a la corrección científica.

El índice de mejora en CA tiene una mediana de 0.32 y en CB de 0.55, muy por debajo de los valores de los grupos experimentales. Además, en CA hay un porcentaje mayor de alumnos con índice menor a 0.25 que mayor de 0.75 (36.4% frente a un 27.3% del alumnado), mientras que en CB únicamente el 34.7% de los estudiantes tiene índice superior a 0.75.

Aunque el grupo CA ya partía de niveles conceptuales superiores, es de esperar que la docencia pueda hacer cambiar aquellas ideas no ajustadas a la corrección científica. Pues bien, el modelo tradicional de enseñanza de la genética no ha sido suficientemente eficaz para producir una mejora importante en las ideas del alumnado del grupo Control Alto.

En el grupo Control Alto, sólo se detectan diferencias significativas entre el pretest y el postest en la cuestión "¿Dónde se encuentran los genes?". Este es el único aspecto en el que se observa un cambio de concepciones debido a la docencia, pero en el resto de aspectos, no ha habido modificación de las ideas del alumnado.

En la agrupación Control Bajo, hay diferencias significativas o marginalmente significativas en todas las cuestiones menos en la pregunta "¿Qué células tienen cromosomas sexuales?", pero no se observa una mejora en las concepciones del alumnado en el recordatorio, ya que no hay diferencias significativas entre el pretest y el recordatorio en ninguna de las cuestiones planteadas.

Por tanto, el modelo tradicional de enseñanza ha tenido una eficiencia dispar en ambas agrupaciones control, ya que no ha habido cambio conceptual en la agrupación CA y en el grupo CB ha habido alguna modificación de las concepciones tras acabar la docencia, pero no se ha producido ninguna retención.

Hemos analizado las concepciones del alumnado de las agrupaciones control en cada fase de la investigación y vemos que en el pretest coinciden de manera general con las encontradas por otros investigadores. No obstante, queremos destacar algunos aspectos:

- 1) Existe una tendencia tras la docencia a considerar que todas las células poseen información hereditaria, salvo en el grupo CA donde las concepciones del alumnado no se han modificado y el porcentaje de estudiantes que consideraban que todas las células poseen información hereditaria apenas ha variado.
- 2) Mientras que en el grupo CA hay un progresivo aumento de alumnos que creen que todas las células poseen cromosomas, en el grupo CB se produce el cambio positivo tras la instrucción, pero en el recordatorio los alumnos vuelven a situar los cromosomas en células sexuales, somáticas o no contestan a la pregunta. Aunque en el grupo EB, comparable al grupo

CB, se produce también un descenso de ideas correctas, la retención obtenida ha sido significativamente mayor. En el caso de los cromosomas sexuales se ha observado la misma tendencia en las concepciones del alumnado, siendo bajo el porcentaje de alumnos del grupo CB que considera que todas las células tienen cromosomas sexuales, concretamente el 31.3%.

- 3) La mayor parte del alumnado del grupo CA considera que en todas las células los cromosomas hacen su función, mientras que en el grupo CB se produce un incremento de hasta el 83.3% de alumnos que también han manifestado una concepción correcta. Sin embargo, en este grupo el grado de retención es mínimo, muy por debajo del resto de grupos, especialmente EB que es la agrupación que en principio pudiera ser comparable por el nivel similar de concepciones en el pretest.
- 4) Cuando preguntamos a los alumnos qué células tienen genes y dónde se encuentran éstos, la tendencia que se observa es la misma que en la pregunta anterior. Si bien después de la docencia apreciamos que la mayor parte de los alumnos cree que todas las células tienen genes y que éstos se hallan en los cromosomas, se produce un retroceso hasta posiciones iniciales o incluso por debajo de ellas. En la agrupación CA sí se detectan concepciones conceptualmente correctas.

En definitiva, el modelo de enseñanza tradicional ha sido capaz de cambiar las ideas del alumnado tras la docencia en la agrupación CB en algunos aspectos, pero ha tenido poco impacto en la agrupación CA. No obstante, esta transformación de las ideas no se traduce en su retención al cabo de nueve meses de la finalización de la secuencia didáctica.

3) ¿Modelo tradicional o modelo constructivista?

La secuencia didáctica propuesta por nosotros ha sido capaz de cambiar las concepciones del alumnado sobre dónde se encontraba la información hereditaria y dónde se llevaba a cabo su función. En algunos aspectos del recordatorio, algunos alumnos vuelven a manifestar las mismas concepciones que en el pretest. No obstante, se obtienen diferencias significativas entre el recordatorio y el pretest en todas las cuestiones menos una (“¿Qué células contienen genes?”) en la agrupación Experimental Bajo, y en la mitad de las cuestiones de la agrupación Experimental Medio. Esto nos indica que se ha producido retención, aunque en menor medida de lo que sería deseable.

La secuencia didáctica tradicional ha sido capaz de cambiar las concepciones del alumnado del grupo CB en algunos aspectos, pero no se ha producido prácticamente retención ya que no existen diferencias significativas entre el pretest y el recordatorio. En el grupo CA no hay ningún cambio en las ideas del alumnado salvo en la cuestión “¿Dónde se encuentran los genes?”. Es decir, que la eficiencia del modelo tradicional ha sido diferente en las dos agrupaciones, produciendo un cierto efecto en el grupo Control Bajo, pero con baja retención y apenas ha supuesto impacto en la agrupación Control Alto.

El índice de mejora es un indicador del grado de evolución de las concepciones del alumnado y en los grupos experimentales ha tomado valores elevados, mientras que en los grupos control se encuentra en valores bajos, especialmente CA.

Ninguno de los dos modelos ha supuesto una transformación completa de las ideas del alumnado, ni ha sido capaz de provocar una retención satisfactoria. No obstante, se han producido cambios en las concepciones tras la docencia, especialmente importantes en las agrupaciones experimentales. Consideramos que el modelo constructivista ha sido más eficiente que el modelo tradicional, aunque es necesario seguir introduciendo innovaciones en la propuesta didáctica para superar los problemas detectados.

7.3.5. Análisis global

En los apartados anteriores hemos analizado el impacto didáctico de los dos modelos de enseñanza-aprendizaje de la genética que se han aplicado en las agrupaciones Control y Experimental. Se han estudiado los aspectos fundamentales en los que se ha basado nuestra investigación, como son el conocimiento de la estructura, función y localización de la información hereditaria.

En el capítulo 6 se han discutido con detalle los resultados de estos diferentes aspectos. También se ha llevado a cabo una valoración global del conjunto de las concepciones del alumnado, en lo que hemos llamado análisis global del cuestionario. Se ha cuantificado cada concepción correcta de los alumnos y la suma total de cada puntuación nos da la valoración global que tiene un estudiante del total de las cuestiones trabajadas.

De esta manera podemos tratar estadísticamente los datos que se obtienen y determinar de manera fiable la eficiencia de un modelo didáctico u otro en su conjunto. Esto no es óbice para que en determinados aspectos ambos modelos puedan ser igualmente eficaces.

Dada la especial naturaleza de este apartado, estudiaremos simultáneamente los resultados obtenidos en los dos tratamientos.

En el tratamiento Control obtuvimos diferencias significativas en el pretest que obligaron a constituir el grupo Control Alto (CA) y el grupo Control Medio (CM), mientras que en el tratamiento experimental se formaron también dos agrupaciones: Experimental Medio (EM) y Experimental Bajo (EB).

Salvo en la agrupación CA se obtuvieron diferencias significativas en las otras tres agrupaciones, es decir, se produjeron cambios en las concepciones del alumnado. Ahora bien, si observamos la evolución de las medianas, vemos que el cambio ha sido mucho más importante en el modelo constructivista, ya que se pasa de valores de la mediana de 7.5 a 20 (EM) y de 3 a 16 (EB), mientras que en CM se pasa de 7 a 14 y en CA no se varía su valor que de entrada ya es de 14.

Después de la instrucción vemos que el grupo EM se diferencia del grupo que partía de un nivel de concepciones en el pretest más correcto y, por tanto, con mayor valoración, es decir, del grupo CA. El grupo CM, no se diferencia en el postest del grupo EB, pero sí del grupo con concepciones similares en el pretest, EM. Estos datos indican que ha habido diferencias entre los dos tratamientos, es decir, aunque en el grupo CM se han observado cambios en las concepciones, la mejora de los resultados es más evidente en las agrupaciones experimentales.

En el pretest no había ningún grupo que tuviera alumnos con una valoración global del cuestionario superior a 20, encontrándose la mayoría por debajo de 15. En el postest se observan muy pocos alumnos con valoraciones inferiores a 11 en las cuatro agrupaciones, aunque el mayor porcentaje de alumnos con puntuaciones superiores a 20 se encuentra en los dos grupos experimentales (41% en EM y 20.5% en EB, frente a un 4% en CM y un 9% en CA). Por tanto, ambas secuencias didácticas han hecho que los alumnos abandonen ideas alternativas, pero es en los grupos experimentales donde los resultados son más positivos.

En el recordatorio, detectamos diferencias con respecto del pretest en CM, EB y EM, pero no en el grupo CA. Esto nos indica que las ideas del alumnado son diferentes de las detectadas antes del proceso instructor. No obstante, se produce un retroceso en todas las agrupaciones, ya que la mayoría de valoraciones se encuentran entre 11 y 20, volviendo a aparecer puntuaciones inferiores a 6, especialmente en los dos grupos control. Los dos grupos experimentales son los que conservan mayor porcentaje de valores superiores a 20 (18% en EM y 24% en EB, frente a 0% en CM y un 11% en CA). Es decir, en ambos grupos se ha producido un retorno a concepciones no correctas, pero se consigue un razonable nivel de retención, que llega a ser significativo en todos los grupos menos en CA. No obstante, en los dos grupos experimentales se detectan valoraciones superiores a los grupos sometidos a tratamiento didáctico tradicional.

El índice de mejora ha tomado valores superiores en los dos grupos experimentales, siendo la mediana de dichos grupos de 0.64 en EM y 0.58 en EB, frente a 0.28 en CM y 0.31 en CA. Detectamos diferencias significativas entre los dos grupos experimentales y los dos grupos control, mientras que no se diferencian entre sí los dos experimentales ni los dos control. Esto nos indica que el modelo didáctico aplicado a los grupos experimentales ha sido capaz de provocar una mejora en las concepciones del alumnado superior a la del modelo tradicional. El hecho de que no se detecten diferencias entre agrupaciones del mismo tratamiento nos hace pensar que se ha producido un efecto de homogeneización, ya detectado anteriormente.

En la tabla 7.2. mostramos un cuadro resumen comparativo de los dos modelos de enseñanza en cada uno de los aspectos estudiados. Al estar representado de forma esquemática, no se reflejan los matices y diferencias que hemos comentado anteriormente.

	MODELO TRADICIONAL	MODELO CONSTRUCTIVISTA
Localización de los cromosomas	<p>Se produce cambio en las concepciones, y una cierta capacidad de retención.</p> <p>Índice de mejora no satisfactorio.</p> <p>Abundan modelos de aprendizaje poco deseables</p> <p>Representaciones de los cromosomas poco correctas y simplistas.</p>	<p>Se produce cambio en las concepciones, aunque bajo nivel de retención.</p> <p>Índice de mejora satisfactorio.</p> <p>Abundan modelos de aprendizaje deseables.</p> <p>Representaciones de los cromosomas más correctas y que se relacionan con división celular.</p>
Localización de los genes	<p>No se produce cambio en las concepciones en todos los grupos y no se produce retención</p> <p>Índice de mejora no satisfactorio.</p> <p>Pocos modelos de aprendizaje deseables</p> <p>Representaciones de los genes poco correctas y simplistas</p>	<p>Se produce cambio en las concepciones y se produce retención</p> <p>Índice de mejora muy satisfactorio.</p> <p>Abundan modelos de aprendizaje deseables.</p> <p>Representaciones de los genes bastante correctas y relacionando con otras estructuras</p>
Función de los cromosomas	<p>No se produce cambio en las concepciones en todos los grupos y retención desigual en cada agrupación.</p> <p>Índice de mejora no satisfactorio.</p> <p>Modelos de aprendizaje similares al modelo constructivista.</p> <p>Concepciones menos elaboradas y con menor nivel de corrección</p>	<p>Se produce cambio en las concepciones y retención desigual en cada agrupación.</p> <p>Índice de mejora satisfactorio.</p> <p>Modelos de aprendizaje similares al modelo tradicional.</p> <p>Concepciones muy elaboradas y correctas.</p>
Célula y herencia	<p>No se produce cambio en las concepciones en todos los grupos y no se produce retención.</p> <p>Índice de mejora no satisfactorio.</p>	<p>De manera general, se produce cambio en las concepciones y retención desigual en las agrupaciones</p> <p>Índice de mejora muy satisfactorio.</p>
Análisis global	<p>No se produce cambio en las concepciones en todos los grupos y poca retención.</p> <p>Índice de mejora no satisfactorio.</p> <p>El nivel de concepciones es menos satisfactorio que en el modelo constructivista.</p>	<p>Se produce cambio en las concepciones, pero poca retención.</p> <p>Índice de mejora satisfactorio.</p> <p>Mejor nivel de concepciones que en el modelo tradicional.</p>

Tabla 7.2. Diferencias en los resultados globales entre el modelo tradicional y el modelo constructivista.

7.4. IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LA GENÉTICA

Las concepciones del alumnado sobre la naturaleza del material hereditario detectadas en el pretest coinciden con las halladas por otros investigadores (Longden, 1982; Radford y Bird-Stewart, 1982; Hackling y Treagust, 1984; Engel Clough y Wood-Robinson, 1985; Kindfield, 1991; Banet y Ayuso, 1995; Lewis et al., 2000 entre otros). Sin embargo, no existen tantas publicaciones que muestren cómo las ideas del alumnado se han transformado por la acción docente, destacando en este aspecto los estudios llevados a cabo por Ayuso (2000), Banet y Ayuso, (2000) y Ayuso y Banet, (2002).

En nuestra investigación hemos visto que las ideas del alumnado se han podido modificar tras recibir instrucción, pero que nueve meses después de la finalización de la docencia se produce un retorno parcial a posiciones iniciales, aunque también detectamos un cierto grado de retención.

En los apartados anteriores hemos comprobado que el modelo de enseñanza tradicional ha sido eficaz en la transformación de algunas ideas del alumnado, si bien en otros aspectos no se ha logrado de manera satisfactoria, especialmente la localización de los genes, pero se ha conseguido un grado de retención bajo. Entre las agrupaciones existentes en este tratamiento, el grupo Control Alto ha sido el que se ha comportado de forma más anómala, detectándose concepciones erróneas en el postest o el recordatorio que se manifestaron correctamente en el pretest.

También hemos mostrado el grado de modificación de las ideas del alumnado que ha recibido la instrucción a través de la secuencia didáctica basada en un modelo constructivista de la enseñanza-aprendizaje de la genética y diseñada por nosotros. Asimismo, se ha manifestado eficaz en provocar un cambio conceptual al acabar la acción docente, aunque hemos visto que el grado de retención ha sido desigual.

Ahora bien, comparando los resultados de los dos modelos de enseñanza, los datos cuantitativos y cualitativos nos indican que el grado de adquisición de objetivos y el nivel de transformación de las ideas ha sido superior en los alumnos de las agrupaciones experimentales. Estamos convencidos de la mayor eficiencia de nuestra propuesta didáctica, aun sin olvidar que el modelo tradicional ha sido eficaz en algunos aspectos.

De las tres fases de detección de ideas a lo largo de la investigación, la fase de recordatorio es la que ha dado resultados más inesperados. En algunos casos hemos obtenido concepciones más correctas que en el postest y en otros momentos se detectaba un grado de olvido extraordinariamente grande. Coincidimos con Ayuso (2000) en que los resultados del recordatorio pueden tener un nivel de fiabilidad inferior al del pretest y el postest, por la situación que se le plantea a un estudiante responder un cuestionario que no es evaluable. Aunque Ayuso administró el test de retención en el mismo curso

escolar y a todos los alumnos que recibieron la instrucción, nosotros hemos decidido esperar un período de tiempo largo para valorar mejor la retención. Esto ha supuesto esperar al año académico siguiente, que coincidía con el primer curso de bachillerato. Por tanto, muchos alumnos que recibieron la instrucción ya no estaban en el centro, otros cursaban bachillerato de humanidades, sociales o tecnología y manifestaban poco interés por el cuestionario. También hemos detectado poca motivación en el conjunto del alumnado al no considerar relevante el resultado que se pudiera obtener. Por otra parte, la distribución de alumnos a lo largo de la investigación fue al azar, pero los alumnos que se encuentran en bachillerato tienen una orientación personal hacia un determinado tipo de enseñanzas, por lo que alumnos que estudien bachillerato de ciencias pueden aportar información en los cuestionarios de la que carecen alumnos de otras modalidades o sentirse más fácilmente motivables.

Del positivo impacto de nuestro modelo didáctico en el aula podemos extraer algunas implicaciones didácticas para la enseñanza de la genética en la Educación Secundaria Obligatoria:

1) Utilización de modelos tridimensionales

La utilización de modelos en la enseñanza de la genética es una forma eficaz de permitir al alumnado que visualice de forma tridimensional la estructura del material hereditario y de la célula, y diversos autores han puesto en evidencia su utilidad (Nicholl y Nicholl, 1987; Pashley, 1994b; Schanker, 1999; Chinnici et al., 2004; Stavroulakis, 2005). Tenemos varias razones por las que proponemos su uso en el aula:

a) El modelo de célula eucariota permite una aproximación a la estructura tridimensional de la célula, rompiendo con la concepción derivada de los dibujos de los libros de texto de que la célula es bidimensional (Cho et al., 1985). El alumnado puede “ver” en el interior de la célula el núcleo y dentro de él la molécula de ADN.

La utilización del modelo de célula también es útil para que los alumnos sean conscientes de que todos los seres vivos están formados por células. Si no conocen este hecho, difícilmente podrán alcanzar a comprender la naturaleza del material hereditario y los procesos implicados en la herencia.

b) El modelo de molécula de ADN es muy sencillo, pero permite dar a conocer la estructura del ácido nucleico y cómo se relaciona con la estructura del cromosoma.

c) El modelo de cromosoma es capaz de dar a conocer la estructura y número de dichas partículas. También permite diferenciar entre cromátidas hermanas y cromosomas homólogos.

Este modelo también permite trabajar los conceptos de gen y alelo y las relaciones de dominancia y recesividad, así como los términos de homocigosis y heterocigosis, genotipo y fenotipo.

El uso de este modelo ha de estar ligado a la resolución de los problemas de genética, de manera que si el alumnado conoce la localización de los genes y los cromosomas correctamente y puede relacionar estas estructuras con la meiosis, podrá resolver con mayor facilidad los problemas de genética.

d) Los modelos de mitosis y meiosis son útiles si se trabajan en el mismo tema, ya que ambos procesos están muy ligados. Permite relacionar los diferentes momentos de las divisiones celulares con los términos de célula haploide y célula diploide y a continuación con cigoto y crecimiento del individuo. A partir de aquí se ha de dar a conocer al alumnado que todas las células contienen la misma información hereditaria.

Es importante que los alumnos construyan su propio modelo de cromosoma, ya que de esta forma pueden ir construyendo los genotipos que se formarían de un determinado problema de genética que se plantee en una actividad.

2) Utilización de referentes cercanos al alumnado

El estudio de la genética a partir de especies vegetales o animales que son desconocidas por el alumnado y la aplicación de problemas de genética sobre ellos, no facilita el proceso de aprendizaje.

Proponemos que se utilicen referentes cercanos al alumno, como pudieran ser animales domésticos y, especialmente, aspectos relacionados con la herencia humana (Mertens, 1990; Talbot, 1991). Coincidimos plenamente con el planteamiento del programa diseñado por Llorca y García (1997), en el que se utilizan razas de perro, caballo y vacas para el estudio de la herencia.

Una propuesta más atrevida pero que ha dado resultados positivos es que los alumnos diseñen su propio organismo y le atribuyan características. No cabe duda de que no hay nada más próximo a alguien que lo que él mismo ha creado. A partir del organismo fantástico se pueden trabajar los diferentes conceptos de genética y se puede aplicar sobre él el modelo de cromosoma, además de permitir la aplicación de los problemas de genética sobre dicho organismo.

Consideramos que en el caso de los alumnos que recibieron la enseñanza a partir de nuestra secuencia didáctica, la utilización de este recurso ha sido un elemento importante de motivación en el alumnado y que ha permitido una transformación de las ideas detectadas en el pretest.

3) No comencemos por Mendel

En el análisis de los libros de texto que llevamos a cabo en el capítulo 3 pudimos comprobar que el estudio de las leyes de Mendel suele ser el inicio del tema dedicado a genética o bien concederle una gran importancia. No nos cabe duda del papel de Mendel como padre de la genética y de que el estudio de sus trabajos es realmente interesante, como demuestra el trabajo de Jiménez Aleixandre y Fernández (1987) en alumnos de Bachillerato y Universidad, pero cuestionamos que lo primero que conozca el alumno de Educación Secundaria Obligatoria sobre la herencia sean sus experimentos.

Consideramos que los estudios de los experimentos de Mendel y de las leyes que se derivan deben ser estudiados cuando el alumnado ya tiene un conocimiento suficiente de los procesos de la herencia y la resolución de problemas de genética, pudiendo ser abordados como actividades de aplicación de nuevos conceptos.

4) Estudiar meiosis y mitosis

En nuestra opinión el estudio de la mitosis y de la meiosis debe llevarse a cabo en el mismo tema y de forma relacionada, coincidiendo con la propuesta de Hackling y Treagust (1984) . En ambos casos es conveniente centrarse en su significado biológico y prescindir del detalle de sus fases.

La mitosis debe relacionarse con el proceso de crecimiento celular a partir de un cigoto y con el reparto del material hereditario entre las células hijas. De esta manera se facilita que el alumnado sea consciente de que todas las células del cuerpo provienen de una única y, por tanto, todas contienen la misma información, aunque en cada tipo celular se transcriban unos determinados genes.

El estudio de la meiosis debe centrarse en su papel como fuente de variabilidad y como proceso formador de las células sexuales haploides. Por tanto, debe relacionarse con la mitosis, ya que el momento final del desarrollo del cigoto hasta dar a un individuo adulto y fértil es la formación de gametos.

Ambos procesos se deben relacionar con la estructura y localización de los cromosomas, ya que es durante la mitosis y la meiosis cuando los cromosomas se hacen visibles al microscopio óptico.

4) Un enfoque diferente de los problemas de genética

Nuestra experiencia docente coincide con la posición que defienden diversos autores (Stewart, 1983; Stewart y Dale, 1989; Ayuso et al., 1996), en el sentido de que el alumnado no relaciona la resolución de los problemas de genética con los procesos de la meiosis ni la estructura de los cromosomas, genes o alelos.

El proceso de aprendizaje de la resolución de problemas debe iniciarse a partir de modelos de herencia conocida y con caracteres cercanos a ellos. A continuación se deben plantear situaciones en las que no se conozca la relación de dominancia ni el patrón de herencia e introduciendo el uso de pedigrís, es decir, el tipo de problema efecto-causa.

La resolución de los problemas debe relacionarse con la meiosis y la formación de gametos haploides que contienen un único alelo. Para ayudar a su comprensión es conveniente utilizar el modelo de cromosoma y el de meiosis y proponer al alumnado que intente resolver el ejercicio mientras representa en el modelo que él ha construido la situación que se le ha planteado.

El planteamiento de problemas de alelismo múltiple y de herencia ligada al sexo deben ser planteados cuando el alumno ya ha adquirido un cierto grado de destreza en la resolución de problemas y como actividades de aplicación.

5) Abordar un aproximación a la biotecnología

Una de las aplicaciones prácticas que puede tener para el estudiante el aprendizaje de la naturaleza de la información genética y los procesos de su transmisión, es poder comprender y valorar los avances en biotecnología.

Consideramos necesario que se aborden las técnicas más usuales de manipulación del material hereditario y de sus aplicaciones en agricultura y ganadería y también en medicina. El alumnado ha de conocer qué es un organismo transgénico, la terapia génica o la clonación de seres vivos para poder valorar sus implicaciones y ser un ciudadano científicamente formado capaz de tomar decisiones razonadas si alguna vez se encontrase necesitado.

El planteamiento de las actividades debe centrarse en el aprendizaje de las técnicas de biotecnología y en la constitución de debates y discusiones donde los alumnos puedan valorar las implicaciones éticas y el alcance de dichas técnicas. Es importante que el alumnado pueda discriminar las críticas que se formulan desde diferentes colectivos a las técnicas de la ingeniería genética y qué parte de verdad científica poseen.

6) Crear una cultura científica

Consideramos importante que la población tenga unos conocimientos de genética suficientes para poder valorar los beneficios o perjuicios de determinadas actividades en ingeniería genética. Es importante saber valorar las recomendaciones médicas que puedan hacernos como consecuencia de un tratamiento relacionado con terapia génica o enfermedades de transmisión hereditaria. La población debe conocer el origen de numerosos medicamentos, hormonas utilizadas en tratamientos o alimentos y los procesos científicos que han llevado a su obtención.

Una vez conocidos los procedimientos biotecnológicos que se han utilizado, la población debe saber valorar las implicaciones éticas o morales y lo que pueden representar en su conjunto.

Pero para que todo eso sea posible, se deben tener unos conocimientos en genética suficientes que permitan comprender los procesos implicados. Esto supone:

- 1) Conocer la estructura de la célula.
- 2) Conocer la estructura y localización del ADN, cromosomas y genes.
- 3) Conocer cómo se transmite dicho material hereditario, es decir, los procesos de mitosis y meiosis.
- 4) Conocer las diferencias entre célula diploide y célula haploide, y reconocer que los gametos se forman a partir de la meiosis.
- 5) Conocer las relaciones de dominancia y recesividad entre alelos y los conceptos de homocigosis y heterocigosis.

En definitiva, poseer la información suficiente para poder entender:

- 1) Una noticia publicada que informe sobre algún avance en biotecnología.
- 2) Detectar posibles errores conceptuales en los medios de comunicación, en series policíacas o películas de ciencia-ficción.
- 3) La información que un médico nos pueda facilitar sobre alteraciones genéticas, posibles tratamientos o bien consejos genéticos.
- 4) El significado de la hipotética práctica de pruebas de rastreo de determinados genes presentes en un individuo una vez se culmine el trabajo del Proyecto Genoma Humano, de interés para mutuas médicas, compañías de seguros etc.

Estamos de acuerdo con Turney (1995, citado por Wood-Robinson et al., 1998) en considerar que hay tres motivos principales para desarrollar la comprensión de la genética entre la gente: motivos utilitarios, democráticos y culturales. En nuestra opinión, la enseñanza de la genética en la actualidad ha de contribuir a crear entre la población *cultura científica*.

CONCLUSIONES

1. EN RELACIÓN A LAS HIPÓTESIS DE TRABAJO

Nuestra “primera hipótesis inicial” plantea que la enseñanza tradicional de la genética basada en un modelo de transmisión de conocimientos ya elaborados por parte del profesorado no será capaz de conseguir que el alumnado modifique sus concepciones sobre la naturaleza del material hereditario y su transmisión. También postula que no se permitirá un cambio conceptual ni aprendizaje significativo. A partir de los resultados obtenidos, podemos formular las siguientes conclusiones:

- 1.1. Los alumnos que han recibido el modelo tradicional de enseñanza han experimentado una transformación de sus ideas en algunos aspectos, mientras que en otros no se ha producido cambio en las ideas detectadas antes de iniciarse la instrucción.
- 1.2. El modelo tradicional de enseñanza ha conseguido que las concepciones del alumnado cambien en algunos aspectos, pero no en otros. No podemos decir que nuestra hipótesis inicial sea falsa, ya que de manera efectiva no se produce un cambio conceptual en el alumnado, pero por otra parte no podemos afirmar su corrección.
- 1.3. De manera global, las concepciones del alumnado sobre la localización de los genes y sobre la relación entre célula y herencia no se han experimentado una transformación suficiente como para poder considerar que ha existido cambio conceptual.
- 1.4. En el análisis global del cuestionario y en el estudio de las concepciones sobre la función del cromosoma, el grupo Control Medio ha mostrado una transformación en sus ideas, pero no tanto el grupo Control Alto.
- 1.5. Las concepciones del alumnado sobre la localización de los cromosomas sí se han modificado y mantenido en el tiempo, por lo que el modelo tradicional se ha manifestado capaz de lograr este cambio en las ideas del alumnado.
- 1.6. A la vista de los resultados consideramos que el modelo de enseñanza tradicional puede ser válido en determinadas circunstancias o para aspectos de la enseñanza de la genética en concreto, pero no es capaz de permitir una verdadera transformación de las ideas de genética del alumnado.
- 1.7. Consideramos que debe abandonarse dicho modelo de enseñanza de las aulas de Educación Secundaria Obligatoria y modificar el estilo y orientación de las actividades y estrategias de aprendizaje. Además, los libros de texto deben intentar abandonar unos posicionamientos clásicos sobre la secuenciación de los contenidos de genética.

La “segunda hipótesis inicial” afirma que una propuesta didáctica basada en los principios del constructivismo que tenga en cuenta lo que los alumnos ya saben

permitirá provocar un cambio conceptual y conseguirá un aprendizaje significativo. Del estudio del análisis global del cuestionario sobre las concepciones del alumnado sobre la naturaleza y los mecanismos de transmisión del material genético, concluimos que:

- 1.8. Las ideas de los estudiantes se han modificado después de la instrucción. El posicionamiento de los alumnos en concepciones científicamente más correctas que las manifestadas antes del inicio de la secuencia didáctica, nos permite hablar de la capacidad de nuestro modelo didáctico para provocar el cambio conceptual.
- 1.9. El modelo de enseñanza-aprendizaje constructivista ha sido capaz de transformar las concepciones del alumnado sobre la localización de los genes, así como de permitir alcanzar un grado de conocimiento elevado sobre la estructura y localización de los cromosomas. Este cambio en las ideas del alumnado se refuerza con la existencia de retención varios meses después de la finalización de la docencia que permite hablar de aprendizaje significativo.
- 1.10. El papel de los modelos de cromosoma ha sido muy importante en la transformación de las ideas del alumnado sobre la estructura y la localización de los cromosomas y de los genes. Su uso en otros aspectos del estudio de la genética ha permitido adquirir correctamente otros conceptos y procedimientos.
- 1.11. La localización y la representación correcta de los cromosomas permite una interpretación más ajustada de los procesos de división celular. El uso de los modelos durante la resolución de los problemas de genética también ha ayudado a que los alumnos resuelvan de manera razonada los ejercicios, aplicando los conceptos y procedimientos trabajados.
- 1.12. Las ideas de los alumnos sobre la función de los cromosomas se han modificado parcialmente tras la docencia, pero no se ha producido suficiente retención nueve meses después de la finalización de la docencia.
- 1.13. Las concepciones del alumnado en los aspectos relacionados con la célula y la herencia han tenido un grado de modificación diferente según de qué agrupación se trate. Mientras que en el grupo Experimental Bajo se ha producido una transformación de las ideas después de la docencia, en el grupo Experimental Medio no se observan cambios en determinados aspectos.

En base a los resultados obtenidos y considerándolos de manera global, concluimos que:

- 1.14. El modelo de enseñanza-aprendizaje de la genética basado en los principios del constructivismo ha sido capaz de conseguir un cambio conceptual en el alumnado en la mayor parte de los ámbitos trabajados en la secuencia didáctica. No obstante, presenta ciertas limitaciones

entre las que cabe citar que hay aspectos en los que no se ha manifestado capaz de provocar retención (caso de la función de los cromosomas) y en dos temas del bloque "célula y herencia" no ha permitido cambiar las ideas del alumnado.

- 1.15. Nuestra segunda hipótesis inicial se ha visto confirmada de manera parcial, ya que en su conjunto ha habido una transformación de las ideas del alumnado, tal y como demuestra el análisis global del cuestionario, y de la estructura y localización de cromosomas y genes, pero en algunos aspectos no ha sido posible alcanzar un verdadero aprendizaje significativo.

La "hipótesis principal" de nuestro trabajo establece que la secuencia didáctica propuesta por nosotros basada en los principios del constructivismo y aplicada a los grupos Experimentales es más eficiente que una secuencia basada en el modelo transmisivo y aplicada a los grupos Control. En base a los resultados obtenidos concluimos que:

- 1.16. El modelo constructivista ha sido más eficiente en transformar la ideas del alumnado después de la docencia que el modelo tradicional, aun detectando limitaciones en el primero y capacidad transformadora en el segundo:
 - a) Localización de los genes: El modelo experimental ha sido mucho más eficiente que el modelo tradicional en conseguir que el alumnado conozca la estructura de los genes y su localización. En todos los aspectos estudiados las ideas de los alumnos de grupos experimentales son mucho más correctas y las representaciones más elaboradas. Además, la secuencia didáctica y el uso de los modelos, ha permitido que las dos agrupaciones establecidas alcancen un grado de homogeneización después de la instrucción y que se diferencien estadísticamente de las agrupaciones control. Finalmente, se ha conseguido un nivel de retención que no se alcanza en los grupos control.
 - b) Localización de los cromosomas: Aunque ambos modelos son igualmente eficaces en la transformación de las concepciones del alumnado, en los grupos experimentales se detecta mucha más elaboración en los dibujos. Los estudiantes que recibieron nuestra propuesta didáctica tienen un conocimiento superior de la estructura y localización de los cromosomas, mostrando más corrección y complejidad en sus creaciones. Por tanto, valoramos la capacidad del modelo tradicional en permitir un cambio conceptual en los alumnos, pero apreciamos mayor eficiencia de nuestra propuesta en, además de provocar también un cambio conceptual, lograr que las concepciones sean más precisas y se puedan relacionar con otros aspectos de la genética trabajados durante la secuencia didáctica.
 - c) Función de los cromosomas: El modelo constructivista han sido tan eficaz como el tradicional, salvo en la agrupación Control Alto, en

permitir al alumnado cambiar sus concepciones sobre la función de los cromosomas, aunque ninguno de los dos ha sido capaz de provocar retención en el alumnado. No obstante, las concepciones mostradas por el alumnado de las agrupaciones experimentales, han tenido un mayor grado de corrección y complejidad.

- d) **Célula y herencia:** Aunque el modelo experimental no ha conseguido cambiar las ideas de algunos aspectos trabajados, sí lo ha conseguido en la mayoría, especialmente en la agrupación Experimental Bajo, y ha sido más eficiente que los grupos Control. En éstos no se ha detectado una transformación de las ideas y por tanto, ha sido menos eficiente que el modelo constructivista.
- e) **Análisis global:** En el conjunto del cuestionario, los alumnos que han recibido el modelo de enseñanza constructivista han experimentado un cambio conceptual que también se detecta en los alumnos que han recibido la docencia tradicional del grupo Control Medio, pero no en los del Control Alto. Por tanto, el modelo tradicional ha sido menos eficiente que el constructivista cuando analizamos de manera conjunta el total del cuestionario.

A tenor de lo descrito en los párrafos anteriores, se confirma la hipótesis principal de nuestra investigación, en el sentido de una mayor eficiencia de la secuencia basada en un modelo constructivista que la basada en un modelo transmisivo.

La última hipótesis planteada, "hipótesis derivada de la principal", se relaciona con la hipótesis principal, ya que si la secuencia didáctica constructivista es más eficiente que la tradicional, conseguirá en el alumnado unos valores del índice de mejora superiores. Los resultados obtenidos muestran que:

- 1.17. En todos los aspectos trabajados y en los que se ha comparado la eficiencia de un tratamiento didáctico frente al otro, el índice de mejora es siempre superior en los grupos experimentales. Los índices obtenidos por las agrupaciones que recibieron el modelo tradicional de enseñanza han sido bajos y en ningún aspecto han conseguido ni tan sólo igualar el de los grupos que recibieron nuestra propuesta didáctica.
- 1.18. Esta mayor presencia de índices de mejora en los grupos experimentales nos indica que la secuencia didáctica propuesta por nosotros ha conseguido que las concepciones del alumnado cambien después de la docencia de una forma más apreciable que en las agrupaciones control. Aunque en éstas últimas hemos comprobado la capacidad del modelo transmisivo en modificar algunas de las ideas del alumnado, el alcance de niveles conceptuales elevados ha sido menor que en el modelo constructivista.
- 1.19. Nuestra propuesta didáctica ha permitido modificar concepciones alternativas detectadas en el pretest y ha hecho que los alumnos manifiesten unas ideas más complejas, correctas y elaboradas. Además,

el modelo de enseñanza constructivista ha sido capaz de conseguir índices de mejora superiores a los obtenidos por el modelo de enseñanza tradicional por lo que podemos confirmar la hipótesis derivada de la principal.

2. EN RELACIÓN A LOS MODELOS UTILIZADOS

A partir de los resultados obtenidos por nuestra propuesta didáctica y como resultados de la utilización de modelos concluimos:

2.1. La confirmación de las hipótesis de trabajado formuladas hacen de la secuencia didáctica constructivista presentada una propuesta válida para su implantación en el aula en Educación Secundaria Obligatoria.

2.2. Algunos de los aspectos fundamentales para permitir al alumnado cambiar sus concepciones sobre la estructura, naturaleza y mecanismo de transmisión de la información hereditaria, han sido los modelos tridimensionales de célula eucariota, de molécula de ADN, de cromosoma y los modelos de los procesos de la mitosis y meiosis. Han permitido que el alumno conozca:

- a) La estructura de los cromosomas.
- b) Distinguir cromosoma homólogo de cromátida hermana.
- c) Localizar los cromosomas y los genes.
- d) Distinguir homocigosis y heterocigosis, dominancia y recesividad.
- e) Localizar y distinguir genes y alelos.
- f) Relacionar ADN, cromosoma, gen y alelo.
- g) Conocer los procesos que afectan a la célula y el material hereditario durante la división celular.
- h) Relacionar mitosis y meiosis con los procesos de crecimiento, formación de gametos y formación del cigoto.

En definitiva, han permitido al alumnado visualizar unas estructuras que tienen un elevado componente de abstracción y que los dibujos y esquemas presentes en los libros no ayudan al alumnado a conocer correctamente su estructura.

2.3. El modelo de cromosoma realizado por los propios alumnos ha ayudado a que vayan construyendo genotipos y que puedan aplicar el modelo en la resolución de problemas.

3. EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

El primer objetivo que nos propusimos en nuestra investigación era determinar si los esquemas conceptuales de nuestro alumnado sobre los procesos de la herencia biológica y la naturaleza de la información hereditaria eran similares a los detectados por otros autores.

Después de analizar las ideas que el alumnado manifestó antes del inicio de la instrucción, podemos decir que:

3.1. Éstas no han diferido de las detectadas por otros investigadores en otros estudios. Las concepciones alternativas detectadas pueden resumirse de la siguiente manera:

- a) No todos los seres vivos están formados por células. Aunque se considera que la mayor parte de animales sí lo están, hay alumnos que consideran que plantas y hongos no poseen células.
- b) No todos los seres vivos poseen información hereditaria, siendo de nuevo los humanos y la mayoría de animales sus poseedores fundamentales. Se considera que organismos de otros reinos no poseen cromosomas o genes.
- c) Hay confusión entre diferentes conceptos relacionados con la herencia, ya que se considera que los cromosomas pueden estar presentes en determinados organismos, pero no los genes, o viceversa.
- d) Problemas en localizar correctamente los cromosomas. Se considera que estas estructuras se encuentran en las células sexuales, pero no en las células somáticas.
- e) Se considera que los cromosomas sexuales se encuentran únicamente en las células sexuales. De forma más general, es frecuente que se consideren los gametos como los únicos poseedores de información hereditaria. Incluso alumnos que creen que todas las células del organismo poseen información genética, sitúan en los gametos los cromosomas sexuales.
- f) No todas las células tienen la misma información hereditaria, sino que cada una posee una parte que le permite llevar a cabo sus funciones específicas.
- g) Hay dificultad en comprender el papel de la meiosis y la necesidad de las células haploides.

- h) Hay dificultad en comprender que a partir del cigoto, el desarrollo por división mitótica implica que todas las células del organismo contienen la misma información hereditaria.
- i) Hay confusión entre términos como ADN, cromosoma, gen o información hereditaria.
- j) Desconocimiento de la localización, función y estructura del ADN, los cromosomas y genes.

Un segundo objetivo que nos propusimos alcanzar es determinar si una secuencia didáctica basada en un modelo de enseñanza-aprendizaje de transmisión de conceptos ya elaborados, era capaz de provocar un cambio en los esquemas conceptuales del alumnado. De los resultados obtenidos se concluye que:

3.2. En algunos aspectos este modelo ha sido capaz de promover un cambio en las ideas del alumnado, aunque con resultados diferentes en las diferentes agrupaciones formadas. Los estudiantes de los grupos control han conseguido modificar claramente sus ideas en relación a la localización de los cromosomas, pero en el resto de ámbitos trabajados, los resultados son menos satisfactorios, produciéndose, en términos generales, poca retención nueve meses después de la docencia.

3.3. El modelo tradicional ha sido capaz de transformar algunos esquemas conceptuales del alumnado, pero de manera desigual y con un grado de eficiencia relativamente bajo.

El tercer objetivo planteado era si una secuencia didáctica basada en los principios del constructivismo y diseñada por nosotros sería capaz de provocar un cambio en las ideas del alumnado.

Salvo en lo relativo a la función de los cromosomas, cuyos resultados no han sido del todo satisfactorios, hemos podido comprobar que:

3.4. Se ha producido un cambio en las concepciones del alumnado. Esta adaptación de las ideas a otras científicamente correctas ha sido muy evidente en la fase de posttest, mientras que la retención provocada no ha sido todo lo deseable.

Finalmente, nuestro cuarto objetivo era determinar si la secuencia constructivista es más eficiente que la secuencia tradicional a la hora de modificar las concepciones del alumnado. A la luz de los resultados obtenidos, concluimos que:

3.5. Dicho objetivo se ha visto plenamente alcanzado, ya que en todos los aspectos trabajados y analizados, el modelo constructivista se diferencia del modelo tradicional en que:

- a) La presencia de concepciones del alumnado correctas es mayor.
- b) El grado de corrección y de elaboración de las respuestas y esquemas del alumnado es superior.
- c) El índice de mejora es notablemente mayor.

3.6. El conocimiento de la naturaleza del material hereditario y los procesos de transmisión de la información genética es superior en los grupos que recibieron el tratamiento didáctico experimental frente a los alumnos de grupos control.

3.7. El modelo constructivista ha permitido que el alumnado abandone gran parte de las ideas que manifestó antes del inicio de la secuencia didáctica y logre un aprendizaje significativo. Aunque se ha mostrado débil en algún aspecto, los resultados han demostrado siempre una mayor eficiencia que el modelo tradicional. Éste también ha sido eficaz en determinados aspectos de la naturaleza del material hereditario, pero, en términos generales, no ha sido tan eficiente como el modelo experimental.

4. EN RELACIÓN A FUTURAS INVESTIGACIONES

Las conclusiones de nuestro trabajo confirman la mayor eficiencia de una secuencia constructivista frente a un proceso de enseñanza tradicional, pero tienen en consideración la validez del modelo transmisivo en determinados aspectos.

Esta memoria recoge los resultados de una investigación que ha pretendido aportar una nueva visión en la enseñanza de la genética, pero que deja la puerta abierta para nuevos trabajos que profundicen en los aspectos en los que nuestro modelo no ha sido eficiente.

Como conclusión final, podemos decir que:

4.1. Es necesario seguir investigando en los mecanismos de transformación de las ideas del alumnado sobre:

- a) La presencia de información hereditaria en todas las células.
- b) La función de los cromosomas.
- c) Los procesos de división celular, especialmente meiosis y su relación con la resolución de problemas.
- d) Las estrategias en la resolución de problemas.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (1997). Monografía "Lenguaje y comunicación". *Alambique*, 12. Barcelona: Graó.
- ABIMBOLA, I.O. (1988). The problems of terminology in the study of student conceptions in science. *Science Education*. 7 (2). pp.175-184.
- ABRAHAM, M.R. y RENNER, J.W. (1986) The sequence of learning cycle activities in high school chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*. 23(2). pp.121-143.
- ACEVEDO, J.A.; BOLIVAR, J.P.; LÓPEZ MOLINA, E.J. y TRUJILLO, M. (1989). Sobre las concepciones en Dinámica elemental de los adolescentes formales y concretos y el cambio metodológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(1), pp. 27-34.
- AGUIRRE, J.M.; HAGGERTY, S.M. y LINDER, C.J. (1990). Student-teachers' conceptions of science, teaching and learning: a case study in preservice science education. *International Journal of Science Education*, 12(4), pp. 381-390.
- ALBADALEJO, C. y LUCAS, A. (1988). Pupils' meanings for "mutation". *Journal of Biological Education*, 22(3), pp. 215-219.
- ALBADALEJO, C.; GRAU, R.; GUASCH, E. y DE MANUEL, J. (1993). *La ciència a l'aula. Activitats d'aprenentatge en ciències naturals*. Barcelona: Barcanova educació.
- ALIBERAS, J. (1989). *Didàctica de les Ciències. Perspectives actuals*. Vic: Eumo.
- ALONSO, M., GIL, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1995). Concepciones docentes sobre la evaluación de las Ciencias. *Alambique*, 4, pp. 6-15.
- ÁLVAREZ , A y DEL RIO, P. (1984). Educación y desarrollo. La teoría de Vygotsky y la zona de desarrollo próximo. En Coll c., Palacios, D. y Marchesi, A. (Comp.) *Desarrollo psicológico y educación (Vol.II)*. *Psicología de la educación*. Alianza Psicología. Madrid.
- ANDERSON, C.W.; SHELDON, T.H. y DUBAY, J. (1990). The effects of instruction on college nonmajors' conceptions of respiration and photosynthesis. *Journal of Research in Science Teaching* , 27(8), pp. 761-776.
- ARNAUDIN, M. y MINTZES, J, (1985). Students' alternative conceptions of the human circulatory system: a cross-age study. *Science Education*, 69(5)pp. 721-733.
- ASTOLFI, J.P. (1994). Didáctica plural de las ciencias. Análisis contrastado de algunas publicaciones de investigación. *Investigación en la escuela*, 24, pp.7-23
- ASTOLFI, J.P. y DEVELAY, M. (1989). *La didactique des sciences*. Paris: Presses Universitaires de France.

- AUSUBEL, D.P. (1976). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.
- AYUSO, E. (2000). *La enseñanza de la Herencia Biológica y la Evolución de los seres vivos. Fundamentación, planificación y evaluación de una propuesta didáctica para la Educación Secundaria Obligatoria*. Tesis Doctoral. Murcia. Universidad de Murcia.
- 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, A. (1997) Dificultades de los estudiantes de enseñanza secundaria para resolver problemas sobre la herencia biológica. En *Avances en la Didáctica de las Ciencias Experimentales*, Jiménez, R. y Wamba, A.M. (eds.) Universidad de Huelva.
- 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.
- AZNAR, V. (2000). ¿Qué sabemos sobre biotecnología? *Alambique* 25, pp. 9-14.
- BAHAR, M.; JOHNSTONE, A.H. y HANSELL, M.H. (1999). Revisiting learning difficulties in biology. *Journal of Biological Education* 33(2), pp.88-86.
- BAHAR, M.; JOHNSTONE, A.H. y SUTCLIFFE, R. (1999) Investigation of students' cognitive structure in elementary genetics through word association tests. *Journal of Biological Education*, 33 (3), pp.134-141.
- BANET, E. y AYUSO, E. (1995). Introducción a la genética en la enseñanza y bachillerato: I. Contenidos de enseñanza y conocimientos de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), pp. 137-153.7
- BANET, E. y AYUSO, E. (2000). Teaching Genetics at Secondary School: A Strategy for Teaching about the Location of Inheritance Information. *Science Education* 84, pp.313-351.
- BELL, B. (1981). When is an animal, not an animal? *Journal of Biological Education*, 15(3), pp. 213-218.
- BISQUERRA, R. (1989). *Métodos de investigación Educativa. Guía práctica*. Barcelona: CEAC.
- BLISS, J.; MONK M. y OGBORN, J. (1983). *Qualitative Data Analysis for Educational Research. A Guide for te Uses of Systemic Networks*. Croom Helm, Londres, 1983.
- BOHRER, J.A. (1997). Velcro DNA. Making Recombinant DNA Technology Easy to Visualize. *The American Biology Teacher*, 59(5), pp. 296-298

- BROWN, C.R. (1990). Some misconceptions in meiosis shown by students responding to an advanced practical examination question in biology, *Journal of Biological Education*, 24(3), pp. 182-186.
- BROWN, D.E. (1994). Facilitating conceptual change using analogies and explanatory models. *International Journal of Science Education*, 16, pp.201-214.
- BRUMBY, M. (1979). Problems in learning the concept of natural selection. *Journal of Biological Education*, 13(2) pp. 119-122.
- BUGALLO, A. (1995). La didáctica de la genética: revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(3), pp.379-385.
- CAAMAÑO, A. (2003) Los trabajos prácticos en ciencias. En *Enseñar ciencias*, Jiménez Aleixandre M.P, (coord.). Barcelona: Graó.
- 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.
- CAMARAZZA, A., McCLOSKEY, M. y GREEN, B. (1981) . Naive beliefs in sophisticated subjects: misconceptions about trajectories of objects. *Cognition*, 9, pp. 117-123.
- CAMINO, N. (2004). Aprender a imaginar para comenzar a comprender. *Alambique*, 42, pp. 81-89.
- CAMPANARIO, J.M. y MOYA, A. (1999) ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17, 179-192.
- CAMPBELL, D.T. y STANLEY, J. (1973). *Diseños experimentales y cuasiexperimentales en la investigación social*. Buenos Aires: Amorrortu.
- CAÑAL, P. (1990). *La enseñanza en el campo conceptual de la nutrición de las plantas verdes: un estudio didáctico en la educación básica*. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla.
- CAÑAL, P. (1997). La investigación globalizada del medio en la primaria: veinte bases. En P. Cañal, A.I. Lledó, F.J. Pozuelos y G. Travé (editores). *Investigar en la escuela: elementos para una enseñanza alternativa*. pp. 75-86.
- CAÑAL, P. (1991) Las concepciones sobre la nutrición de las plantas verdes *Investigación en la escuela*, 13.pp. 97-113
- CAÑAL, P. (2004). La enseñanza de la biología: ¿cuál es la situación actual y qué hacer para mejorarla?. *Alambique*, 41, pp. 27-41.
- CAÑAL, P. y PORLAN, R. (1987). Investigando la realidad próxima: un modelo didáctico alternativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 5(2), pp. 89-96

CAÑAL, P. y PORLAN, R. (1988). Bases para un programa de investigación en torno a un modelo didáctico de tipo sistémico e investigativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(1), pp. 54-60.

CAÑAL, P. y CRIADO, A. (2002). ¿Incide la investigación en didáctica de las ciencias en el contenido de los libros escolares? *Alambique*, 34, pp. 56-65.

CARRASCOSA, J. y GIL, D.(1985). La metodologia de la superficialitat i l'aprenentatge de les Ciències. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(2), pp. 113-120.

CARRASCOSA, J. (1987). Tratamiento didáctico en la enseñanza de las ciencias de los errores conceptuales. Tesis doctoral. Universidad de Valencia.

CAVALLO, A.M.L. y SCHAFFER, L.E. (1994). Relationships between students' meaningful learning orientation and their understanding of genetics topics. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(4), pp. 393-418.

CAWTHON, E.R. y ROWELL, J.A. (1978) Epistemology and science education. *Studies in Science Education*, 5, pp. 31-59.

CHALMERS, A (1992). *La ciencia y cómo se elabora*. Madrid.Siglo XXI.

CHALMERS, A. (2000). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*. Madrid: Siglo XXI.

CHAMPAGNE, A.; GUNSTONE, R. y KLOPFER, L. (1983). Effecting changes in cognitive structure amongst physics students. Trabajo presentado al *Annual Meeting of the American Association*. Montreal.

CHEN, S. y RAFFAN, J. (1999). Biotechnology: student's knowledge and attitudes in the UK and Taiwan. *Journal of Biological Education*.34(1), pp.17-23.

CHINNICI, J., YUE, J, y TORRES, K. (2004). Students as "Human Chromosomes" in Role-Playing Mitosis & Meiosis. *The American Biology Teacher*, 66 (1), pp. 42-48.

CHO,H.; 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.

CLARK, D. y MATHIS, P. (2000). Modeling Mitosis & Meiosis. *The American Biology Teacher*, 62(3), pp.204-206.

CLEMENT, J.(1983). Student's alternative conceptions in mechanics: a coherent system of preconceptions? En HELM, H. y NOVAK, J.S. (editores): *Proceedings of the International seminar Misconception in Science and Mathematics*. New York, Cornell University.

CODINA, J.C. (2005). Aprendiendo genética con Spiderman. *Alambique*, 45, pp. 111-116.

- COHEN, A.; YAAKOBI, D.; BEN-PORAT, A. y CHALLOR, R. (1989). The effects of biology games on students' anxiety and in their achievement. *International Journal of Science Education*, 11 (4), pp.387-394.
- COLL, C. (1987). Psicología y currículum. Una aproximación psicopedagógica a la elaboración del currículum escolar. Barcelona: Laia.
- COLL, C. (1992). *Los contenidos de la reforma. Enseñanza y aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes*. Santillana: Madrid.
- COLLINS, A. y STEWART, J.H. (1989). The knowledge structure of Mendelian Genetics, *The American Biology Teacher*, 51(3), pp. 143-149.
- CORDON, R., JUÁREZ, M.L., CASCALES, A. y MANRESA, A. (2005). Construcción de maquetas de ADN. *Alambique*, 45, pp. 71-76.
- CUBERO, R. (1988). Los esquemas de conocimiento de los niños. Un estudio del proceso digestivo. *Cuadernos de Pedagogía*, 165, pp. 57-60.
- CUSTODIO, E. (2001). La justificació de les idees científiques a l'aula: el cas de la generació espontània. *Ensenyanza de las Ciencias*, núm. Extra, 2001.
- CUSTODIO, E. y SANMARTÍ, N. (1997). Aprender a justificar científicament: el cas de l'origen dels éssers vius. *Temps d'Educació*, 18, pp.17-40.
- DEADMAN, J.A. y KELLY, P.J. (1978). What do secondary boys understand about evolution and heredity before they taught the topics? *Journal of Biological Education*, 12, pp. 7-15.
- DEL CARMEN, L. (1990). La elaboración de proyectos curriculares de centro en el marco de un currículo de ciencias abierto. *Ensenyanza de las Ciencias.*, 8(1), pp.37-45.
- DEL CARMEN, L. (2000). Los trabajos prácticos. En *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, F.J. Perales y P.Cañal (eds.). Alcoy: Marfil.
- DEL CARMEN, L. y JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (1997). Los libros de texto: un recurso flexible. *Alambique*, 11, pp. 7-14.
- DEGC (DEPARTAMENT D'EDUCACIÓ DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA) (1992). Decret 96/1992 de 28 de abril de Ordenación de la Educación Secundaria Obligatoria.
- DEGC (DEPARTAMENT D'EDUCACIÓ DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA) (2002). Decret 179/2002 de 25 de junio de Ordenación de la Educación Secundaria Obligatoria.
- DÍAZ DE BUSTAMANTE, J. y JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (1999). Aprender ciencias, hacer ciencias: resolver problemas en clase. *Alambique*, 20, pp. 9-16.

DOWNIE Y HEATH (1982). Métodos estadísticos aplicados. Ed. Del Castillo: Madrid.

DREYFUS, A. y JUNGWIRTH, E. (1988). The cell concept of 10th graders: curricular expectations and reality, *International Journal of Science Education*, 10, pp. 221-230.

DREYFUS, A., JUNGWIRTH, E. y ELIOVITCH, R. (1990). Applying the "cognitive conflict" strategy for conceptual change. Some implications, difficulties and problems. *Science Education*, 74, pp. 555-569.

DRIVER, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias* 4(1) pp 3-15.

DRIVER, R. y EASLEY, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5, pp.64-84.

DRIVER, R. y ERICKSON, G. (1983). Theories-in-action: some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in science. *Studies in Science Education*, 10, pp.37-60.

DRIVER, R., GUESNE, E. y TIBERGHIE, A. (1985). Ideas científicas en la infancia y la adolescencia. Madrid, MEC/ Morata

DURFORT, M. (1999). Consideraciones en torno a la enseñanza de la biología celular en el umbral del siglo XXI. *Alambique*, 16, pp. 93-108.

ENGEL CLOUGH, E. y WOOD-ROBINSON, C. (1985). Children's understanding of inheritance. *Journal of Biological Education*, 19(4), pp. 304-310.

ECHEVARRIA, J. (1999). Introducción a la metodología de la ciencia. La filosofía de la ciencia en el siglo XX. Madrid: Cátedra.

ESCUADERO, T. (1995). La evaluación de las actitudes científicas. *Alambique*, 4, pp.33-41.

FERNÁNDEZ URÍA, E. (1979) Estructura y didáctica de las ciencias. Madrid: Servicio de Publicaciones del Ministerio de Educación.

FERNÁNDEZ, J., GONZÁLEZ, B.M. y MORENO, T. (2003). Las analogías como modelo y como recurso en la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 35, pp. 82-89.

FEYERABEND, P.K. (1983). Tratado contra el método: esquema de una teoría anarquista del conocimiento. Madrid: Tecnos.

FINLEY, F.N., STEWART, J. y YARROCH, W.L. (1982). Teacher's perceptions of important and difficult science content: The report of a survey. *Science Education*, 66(4), pp. 531-538.

FURIÓ, C. (1986) Metodologías utilizadas en la detección de dificultades y esquemas conceptuales en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 2(2), pp 73-77.

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.

GAGNÉ, R.M. (1971). Las condiciones del aprendizaje. Aguilar. Madrid.

GANDARA GÓMEZ, M.; GIL, M.J. y SANMARTÍ, N. (2002). Del modelo científico de "adaptación biológica" al modelo de "adaptación biológica" en los libros de texto de ESO. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(2) pp. 303-314.

GARCÍA, P. y SANMARTÍ, N. (2001). Aprender a escribir sobre genética. *Enseñanza de las Ciencias*, núm. Extra. 2001.

GARCÍA BAQUERO, P., NIEDA OTERINO, J. y AGUIRRE DE CÁRCER, I. (1985) Conocimientos de Biología al terminar el curso de orientación universitaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 1, pp173-180.

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.

GARVIN, W. y STEFANI, L. (1993). Genetics-genetic disorder and diagnosis: a role-play exercise. *Journal of Biological Education*, 27(1), pp.51-57

GELI, A.M. (1992). L'avaluació de l'ensenyament de les ciències: una renovació necessària. En Geli, A.M. y Terradellas, M.R. (eds.). *Reflexions sobre l'ensenyament de les Ciències Naturals*. Eumo Editorial. Barcelona.

GELI, A.M. (2000). La evaluación de los procesos y de los resultados en la enseñanza de las ciencias. En F.J. Perales y P. Cañal, (eds.) *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Alcoy: Marfil.

GENÉ, A. (1991). Cambio conceptual y metodológico en la enseñanza y el aprendizaje de la evolución de los seres vivos. Un ejemplo concreto. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), pp.22-27

GENÉ, A. y GIL, D. (1982). Els treballs pràctics de Biologia i la metodologia científica. I. ¿Constatació d'un fracàs?. Actes de las *Primeres Jornades de Recerca educativa*. Lleida. pp. 135-149

GENTIL GONZALEZ, C.; IGLESIAS BLANCO, a. y OLIVA MARTÍNEZ, J.M. (1989). Nivel de apropiación de la idea de discontinuidad de la materia en alumnos de Bachillerato. Implicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), pp.126-131.

- GIL, D. (1986). La metodología científica y la enseñanza de las ciencias. Unas relaciones controvertidas. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(2), pp. 111-121.
- GIL, D. (1987) Los programas-guía de actividades: Una concreción del modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 3, pp.3-12.
- GIL, D. (1993a). Contribución de la Historia y de la Filosofía de las Ciencias en el 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: procesos de enseñanza/aprendizaje como lugar de encuentro. *Infancia y aprendizaje*. 62-63, pp.171-185.
- GIL D. (1994) Relaciones entre conocimiento escolar y conocimiento científico. *Investigación en la Escuela*, 23, 17-32.
- GIL, D.; CARRASCOSA, J.; FURIÓ, C.; MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1991) La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria, ICE, Universitat de Barcelona: Barcelona.
- GIL, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1999). ¿Cómo evaluar si se "hace ciencia" en el aula? *Alambique*, 20, pp.17-27.
- GIL, D.; FURIÓ, C.; VALDÉS, P.; SALINAS, J.; MARTÍNEZ-TORREGROSA, J.; GUIASOLA, J.; GONZÁLEZ, E.; DUMAS-CARRÉS, A.; GOFFARD, M. y PESSOA DE CARVALHO, A. (1999) ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio?. *Enseñanza de las Ciencias*, 17, pp. 311-320.
- GIL, D., CARRASCOSA, J. y MARTÍNEZ, F. (2000). Una disciplina emergente y un campo específico de investigación. . En Perales F.J. y Cañal. P. (eds): *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Alcoy: Marfil.
- GILBERT, J.K. y WATTS, D.M. (1983). Concepts, misconceptions and alternative conceptions: changing perspectives in science education. *Studies in Science Educatio*, 10, pp.61-98.
- GILBERT, J.K., OSBORN, R., y FENSHAM, P. (1982) Children's science and its consequences for teaching. *Science Education*, 66(4), pp.623-633.
- GIORDAN, A. (1985) Interés didáctico de los errores de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(1), pp.11-17.
- GIORDAN, A. (1989). Representaciones sobre la utilización didáctica de las representaciones. *Enseñanza de las Ciencias*. 7(1), pp. 53-62.
- GIORDAN, A. y DE VECCHI, G. (1988). *Los orígenes del saber*. Sevilla: Diada.

- GONZÁLEZ EDUARDO, M. (1992) ¿Qué hay que renovar en los trabajos prácticos? *Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), pp. 206-211.
- GONZÁLEZ, B.M. y MORENO, T. (1998). Las analogías en la enseñanza de las ciencias. *II Simposio: la docencia de las ciencias experimentales en la educación secundaria*. Madrid. pp. 204-206.
- GOW M.M. y NICHOLL, D.S. (1988). Tetrad analysis: a practical demonstration using simple models. *Journal of Biological Education*, 22(1), pp. 51-54.
- GRANDA, A. (1988). Esquemas conceptuales de los alumnos en Geología. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), pp. 239-243.
- GUTIÉRREZ, R. (1987a) La investigación en Didáctica de las Ciencias: elementos para su comprensión. *Bordón*, , 268, pp. 339-362.
- GUTIÉRREZ, R. (1987b) Psicología y aprendizaje de las Ciencias: El modelo de Ausubel. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), pp. 145-157.
- GUTIÉRREZ, R. (1989). Psicología y aprendizaje de las Ciencias. El modelo de Gagné. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), pp. 147-157.
- GUTIÉRREZ, R.; MARCO, B.; OLIVARES, E. y SERRANO, T.(1990). Enseñanza de las Ciencias en la educación intermedia. Madrid: Rialp.
- HACKLING, M.W. y TREAGUST, D. (1984). Research data necessary for meaningful review of grade ten high school genetics curricula. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(2) pp. 197-209.
- HAFNER, R.S. (1992). Constructing explanatory models for anomalous genetic phenomena: Problem solving in the "Context of Discovery, NARST.
- HALEY, S.B. y GOOD, R.G. (1976). Concrete and formal operational thought: implications for introductory college biology. *The American Biology Teacher*, 38(7), pp.407.
- HALLDEN, O. (1988). The Evolution of Species: pupils perspectives and school perspectives. *International Journal of Science Education*, 10(5), pp. 541-552.
- HASLAM, F. y TREAGUST, D.F. (1987). Diagnosing secondary students' misconceptions of photosynthesis and respiration in plant using a two-tier multiple choice instrument. *Journal of Biological Education*. 21(3), pp. 203-211.
- HELM, H. (1980). Misconceptions about physical concepts among South Africa pupils studying science. *South African Journal of Science*, 74, pp.285-290.
- HERREZUELO, J. y MONTERO, A. (1988). *La Ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la Física y la Química*. Madrid: Laia/MEC.

- HEWSON, P.W. y BEETH, M.E. (1995). Enseñanza para un cambio conceptual: ejemplos de fuerza y movimiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 13, pp. 25-35.
- HILDEBRAN, A.C. (1989). Pictorial representation and understanding genetics: An expert/novice study of meiosis knowledge. Tesis Doctoral. University of California, Berkeley (Citado en Kindfield, 1991).
- HILL, R.; O'SULLIVAN H.; STANISSTREET, M. y BOYES E. (1998). Biology students' understanding of cystic fibrosis, gene therapy and gene screening. *Journal of Biological Education*, 32 (2), pp.103-110.
- HODSON, D. (1992). Redefining and reorienting practical work in school science. *School Science Review*, 73 (264), pp.65-78.
- HODSON, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), pp. 299-313.
- ÍÑIGUEZ, F.J. (1997). El role-playing como mecanismo de aprendizaje de las ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias, núm. Extra.*, pp. 87-88.
- ÍÑIGUEZ, F.J. (1999). Concepcions dels estudiants d'Educació Secundària sobre la reproducció. En *Recerca i Innovació a l'Aula de Ciències de la Naturalesa*. Manresa, 1999, pp. 167-172.
- ÍÑIGUEZ, F.J. (2005). On creuen els alumnes que es troben els gens? En *VII Simposi sobre l'ensenyament de les Ciències Naturals*, pp. 193-197. Tortosa.
- ÍÑIGUEZ F.J. y PUIGCERVER, M. (1997). Una propuesta de cambio conceptual referida a algunos aspectos de genética. En Banet y de Pro (coords.) *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias*, II. Murcia.
- ÍÑIGUEZ F.J. y PUIGCERVER, M. (2001). ¿Qué opinan los alumnos sobre la ubicación de los cromosomas? *Enseñanza de las Ciencias*, núm. Extras, 2001, pp. 31-32.
- IZQUIERDO, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. En *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (Perales, F.J. y Cañal, P.) Alcoy: Marfil.
- IZQUIERDO, M y SANMARTÍ, N. (2001). Hablar y escribir para enseñar ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, núm. Extra, 2001.
- IZQUIERDO M. y RIVERA, L. (1997). La estructura y comprensión de los libros de texto de ciencias. *Alambique*, 11, pp.24-34.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (1990). Los esquemas conceptuales sobre la selección natural: análisis y propuestas para un cambio conceptual. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.

- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, 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 ALEIXANDRE, M.P. (2000a). Modelos didácticos. En F.J. Perales y P. Cañal, (eds.) *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Alcoy: Marfil.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2000b). Nuevas técnicas biológicas, antiguas explicaciones. *Alambique*, 25 pp. 5-8.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2003). El aprendizaje de las ciencias: construir y usar herramientas. En *Enseñar Ciencias*. M.P. Jiménez Aleixandre (coord.). Barcelona: Graó.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. y FERNÁNDEZ PÉREZ, J. (1987). El "desconocido" artículo de Mendel y su empleo en el aula. *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (3), 239-246.
- JIMÉNEZ VALLADARES, J.D. (2000). El análisis de los libros de texto. En Perales F.J. y Cañal. P. (eds): *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Alcoy: Marfil.
- JIMÉNEZ VALLADARES, J.D. y PERALES, F.J. (2004). Ilustraciones que representan fuerzas: un análisis en libros de texto de ESO. *Alambique*, 42, pp. 91-102
- JIMENO, A. (1999). Els conceptes de reproducció sexual i asexual: errors més freqüents en els llibres de text. A *Recerca i Innovació a l'Aula de Ciències de la Naturalesa*. Manresa, 1999.
- 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.
- JOHNSON, S.K. y STEWART, J. (1990). Using philosophy of science in curricula development: an example from high school genetics. *International Journal of Science Education*, 12(3), pp. 297-307.
- JORBA, J. y SANMARTÍ, N. (1994). Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua. Barcelona.
- JOYCE, B. y WEIL, M. (1985). Modelos de enseñanza. Madrid: Anaya.
- JUNGWIRTH, E. (1975). Preconceived adaptation and inverted evolution: a case of distorted concept formation in high school biology. *The Australian science Teacher's Journal*, 21(2), pp. 95-100.
- KARGBO, D.N., HOBBS, E.D. y ERICKSON, G.L. (1980). Children's beliefs about inherited characteristics. *Journal of Biological Education*, 14(2), pp. 137-146.

- KERSEY J. y TURNER, S. (1999). How useful are the figures in school biology teachers? *Journal of Biological Education*, 33 (2), pp. 87-94
- KINDFIELD, A. (1991). Confusing chromosome number and structure: a common student error. *Journal of Biological Education*, 25(3), pp.193-200.
- KINDFIELD, A. (1994). Understanding a Basic Biological Process: Expert and Novice Models of Meiosis. *Science Education*, 78 (3), pp. 255-283
- KINNEAR, J. (1983). Identification of misconceptions in genetics and the use of computer simulation in their correction. *Proceedings of the International Seminar on Misconceptions and educational strategies in Science and Mathematics*, Nova York: Cornell University, Ithaca.
- KIRK, R.E. (1996). Practical significance: a concept whose time has come. *Educational and Psychological Measurement*, 56, 746-759.
- KOULAIDIS, V. y OGBORN, J. (1989). Philosophy of science: an empirical study of teacher's views. *International Journal of Science Education*, 11(2), pp. 173-184.
- KUHN, T. (1975). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- LAKATOS, I. (1983). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza.
- LATORRE, A.; del RINCÓN, D. y ARNAL, J. (1996). *Bases metodológicas de la investigación educativa*. Barcelona: Hurtado.
- LAW, N. y LEE, Y. (2004). Using an iconic modelling tool to support the learning of genetics concepts. *Journal of Biological Education*, 38(3)
- LAWSON, A.E. (1979). The developmental learning paradigm. *Journal of Research in Science Teaching*. 16(6) pp.501-515
- LAWSON, A.E. (1994). Uso de los ciclos de aprendizaje para la enseñanza de destrezas de razonamiento científico y de sistemas conceptuales. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), pp.165-187.
- LEWIS, J.; LEACH J. y WOOD-ROBINSON C. (2000). All in the genes? What young people's understanding of the nature of genes. *Journal of Biological Education*, 34 (2), pp. 74-79.
- LEWIS, J. y WOOD-ROBINSON C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance: do students see any relationship? *International Journal of Science Education*, 22(2), pp. 177-195.
- LLORT, J.M. y GARCÍA, P. (1997). El juego de los genes. *Resúmenes del V Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias*. Murcia.

- LONGDEN, B. (1982). Genetics: are there inherent learning difficulties? *Journal of Biological Education*, 16(2), pp.137-146.
- LÓPEZ-GAY, R. (2001). Una reflexión crítica sobre el estado de la enseñanza de las ciencias de la naturaleza en la ESO. *Alambique*, 27, pp. 19-30.
- LÓPEZ RODRÍGUEZ, R. (2001). De la teoría a la práctica: valores, actitudes y comportamiento acerca del cuidado del agua. *Enseñanza de las Ciencias*, núm. Extra, 2001.
- LUCAS, A.M. (1971). The teaching of "adaptation". *Journal of Biological Education*, 5, pp. 86-90.
- MARCO-STIEFEL, B. (2000). La alfabetización científica. En F.J. Perales y P. Cañal, (eds.) *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Alcoy: Marfil
- MARSHALL, C. y ROSSMAN, G.M. (1989). *Designing qualitative research*. Londres:Sage.
- MARTIN, M. (1983). An examination of students misconceptions in genetics. En Helm y Novak (eds.) *International Seminar on Misconceptions in Science and Mathematics*. pp.,218-225. Cornell.
- MARTINEZ TERRADES, S.F. (1998). *La didáctica de las ciencias como campo específico de conocimientos. Génesis, estado actual y perspectivas*. Tesis doctoral. València. Universitat de València.
- MELLADO, V. y CARRACEDO, D. (1993). Contribuciones de la filosofía de la ciencia a la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(3), pp.331-339.
- MEMBIELA, P. (2002). Las temáticas transversales en la alfabetización científica. *Alambique*, 32, pp.17-23.
- MENDEL, G. (1866). Versuche über Pflanzen-Hybriden. *Verhandlungen des Naturforschenden Vereines in Brunn*. B.4: 3-47. En E. von Tschermak (Ed). Leipzig, 1913 (Hay versiones en castellano traducidas del inglés).
- MERTENS, T. (1990). Using Human Pedigrees to Teach Mendelian Genetics. *The American Biology Teacher*, 52(5) pp.288-290.
- MIGUENS, M y GARRETT, R.M. (1991). Prácticas en la enseñanza de las ciencias. Problemas y posibilidades. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(3), pp. 229-236.
- MILLAR, R. y DRIVER, R. (1987) Beyond process. *Studies in Science Education*, 14, pp.33-62.

- MITCHELL, A. y LAWSON, A.E. (1988). Predicting genetics achievement in nonmajors college Biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(1), pp.23-27.
- MOLL, M.B. y ALLEN, R.D. (1987). Student difficulties with Mendelian genetics problems. *The American Biology Teacher*, 49, pp. 229-233.
- MORENO,V. (2001). Concepcions errònies de la població sobre conceptes científics. Treball de Recerca de Batxillerat. No publicado.
- MUÑOZ, X. (1997). *Musca virtualis 1.0*. Programa d'Informàtica Educativa. Departament d'Ensenyament. Generalitat de Catalunya.
- MUÑOZ, X. (1999). A la recerca del fil d'Ariadna. Memòria Ajuts per a Joves Investigadors. Universitat de Barcelona.
- MUÑOZ, X. Y PUIGCERVER, M. (2001). Interactions between students' conceptions of the digestive system and the teaching process. En *Proceedings of the III Conference of European Researchs in Didactic of Biology (ERIDOB)*, pp. 101-111. Santiago de Compostela.
- NEWTON SMITH, W.H. (1987). La racionalidad de la ciencia. Paidós. Barcelona
- NICHOLL, D.S. (1986). The use of simple models in the teaching of genetic engineering. *Journal of Biological Education*, 20(1). pp. 12-13.
- NICHOLL, L.A. y NICHOLL, D.S. (1987). Modelling the eukaryotic chromosome: a stepped approach. *Journal of Biological Education*, 21(2).pp.99-103.
- NIEDA J. (2001). Las ciencias en la ESO: una mirada particular. *Alambique*, 27, pp. 9-18.
- NOVAK, J.D. (1982) *Teoría y práctica de la educación*. Alianza Editorial: Madrid.
- NOVAK, J.D. (1988). Constructivismo humano: un consenso emergente. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), pp. 213-223.
- NUNZIATI, G. (1990). Pour construire un dispositif d'évaluation formatrice. *Cahiers Pédagogiques*, 280, pp. 47-60.
- NÚÑEZ, F. (1994). Constructivismo y enseñanza de las ciencias. Aplicación al estudio de la nutrición humana en Educación Secundaria. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. Murcia.
- NÚÑEZ, F. (2002). Proyecto docente. Univerdad de Murcia. Murcia. No publicado.
- OKEKE, E.A.C. y WOOD-ROBINSON, C. (1980). A study of Nigerian pupils' understanding of selected biological concepts. *Journal of Biological Education*, 14(4), pp. 329-338.

- OLIVA, J.M. (1999). Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), pp. 93-107
- OÑORBE, A. (2003). Resolución de problemas. En *Enseñar ciencias*, M.P. Jiménez Aleixandre (coord). Barcelona: Graó.
- OSBORNE, R. y WITTROCK, M. (1983). Learning science: a generative process. *Science Education*, 67(4), pp. 489-508.
- OSBORNE, R. y FREYBERG, P. (1991). El aprendizaje de las ciencias. Implicaciones de la Ciencia de los alumnos. Madrid: Narcea.
- OTERO, J. (1990). Variables cognitivas y metacognitivas en la comprensión de textos científicos: el papel de los esquemas y el control de la propia comprensión. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(1), pp. 17-22.
- PASHLEY, M. (1994a). A-level students: their problems with gene and allele. *Journal of Biological Education*, 28(2), pp. 120-126.
- PASHLEY, M. (1994b). A chromosome model. *Journal of Biological Education*, 28(3), pp.157-161.
- 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.
- PERALES, F.J. (2000). La resolución de problemas. . En Perales F.J. y Cañal. P. (eds): *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Alcoy: Marfil.
- PÉREZ DE EULATE, L. (1992). *Utilización de los conceptos previos de los alumnos e la enseñanza/aprendizaje de conocimientos en Biología. La nutrición humana: una propuesta de cambio conceptual*. Tesis doctoral. Universidad del País Vasco.
- PFUNDT, H. y DUIT, R. (1994). Bibliography. Students' alternative frameworks and science education. Kiel: Institut for Science Education.
- PIAGET, J. (1970). *La epistemología genética*. Redondo: Barcelona.
- PINTÓ, R. (1983) Anàlisi de programes de física per a l'ensenyament elemental. Universitat Autònoma de Barcelona. Bellaterra.
- PINTRICH, J.; MARX, R.W. y BOYLE, R.A. (1993). Beyond cold conceptual change. The role of motivational beliefs and classroom conceptual factors in the process of conceptual change. *Review of the Educational Research*, 63, pp. 167-199 (Citado por Pozo y Gómez Crespo, 1998).
- POPPER, K.R. (1976). Conjeturas y refutaciones. El desarrollo del conocimiento científico. Barcelona: Paidós.

- PORLAN, R. (1989). Teoría del conocimiento, teoría de la enseñanza y desarrollo profesional. Las concepciones epistemológicas de los profesores. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla.
- PORLAN, R. (1995). Las creencias pedagógicas y científicas de los profesores. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 3(1), pp.7-13.
- PORLAN, R. (1998). Pasado, presente y futuro de la Didáctica de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), pp.175-185.
- PORLAN, R.; RIVERO, A. y MARTÍN DEL POZO, R. (2000). El conocimiento del profesorado sobre la ciencia, su enseñanza y aprendizaje. En *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (Perales, F.J. y Cañal, P.) Alcoy: Marfil.
- POSADA, J.M. (2000). El estudio didáctico de las ideas previas. En *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (Perales F.J. y Cañal, P.) Alcoy: Marfil.
- POSNER, G.J.; STRIKE, K.A.; HEWSON, P.W. y GERTZOG, W.A. (1982). Acomodation of a Scientific Conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, pp.211-227.
- POZO, J.I. (1987). *Aprendizaje de las ciencia y pensamiento actual*. Madrid: Morata.
- POZO, J.I. (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata.
- POZO, J.I. y GÓMEZ CRESPO, M.A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.
- POZO, J.I.; SANZ, A.; GÓMEZ CRESPO, M.A. y LIMÓN, M. (1991). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 9, pp. 83-94.
- PRIESTLAND, R.N. (1982). A method for demonstrating genetic principles using an imaginary organism. *Journal of Biological Education*, 16(2), pp.141-143.
- PUGLIESE, S. (2002). Argumentar sobre temas científicos en la escuela. *Alambique*, 31, pp.61-72.
- PUIGCERVER, M y SANZ, C. (1997). Les idees prèvies dels alumnes i la seva importància en el procés d'ensenyament-aprenentatge de les ciències experimentals. *Temps d'Educació*, 18 pp.65-81
- PUIGCERVER, M. (2003). *Genètica: el llenguatge de la vida*. En : Ribes, I. (ed): *Idees i vincles en el segle XX: la ciència*. (www.xtec.es/aulanet/segleXX/catCUUU.index.htm)
- 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. 60-71.
- RAY, C. (1991). Breaking free from dogma: Philosophical prejudice in Science Education. *Science Education*, 75(1), pp.87-93.
- RESNICK, L.B. (1983). Mathematics and science learning: a new conception: *Science*, 220 pp. 477-478.
- RODRIGO, M.J. y CUBERO, R. (2000). Constructivismo y enseñanza de las ciencias. En *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (Perales F.J. y Cañal, P.). Alcoy: Marfil.
- RODRÍGUEZ, L.M., GUTIÉRREZ, F.A. y MOLLEDO, J. (1992). Una propuesta integral de evaluación en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(3), pp. 254-267.
- RUMELHART, D.E. y NORMAN, D.A. (1981). Analogical processes in learning. En Anderson J.R. (ed.). *Cognitive Skills and their Acquisition*. Hillsdale, Nueva Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- SARDÀ, A. y SANMARTÍ, N. (2000) Enseñar a argumentar científicamente: un reto en las clases de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), pp.405-422.
- SARDÀ, A. (2001) Ensenyar a argumentar en temàtiques ambientals: anàlisi dels resultats d'una experiència a ESO. *Enseñanza de las Ciencias*, núm. Extra, 2001.
- SÁNCHEZ, G. y VALCÁRCEL, M.V. (1993). Diseño de unidades didácticas en el área de Ciencias Experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(1), pp. 33-44.
- SANMARTÍ, N. (2000). El diseño de unidades didácticas. En F.J. Perales y P. Cañal, (eds.) *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Alcoy: Marfil.
- SANMARTÍ, N. y JORBA, J. (1995). Autorregulación de los procesos de aprendizaje y construcción de conocimientos. *Alambique*, 4 , abril, pp. 59-77.
- SANMARTÍ, N. y IZQUIERDO, M. (1997). Reflexiones en torno a un modelo de ciencia escolar. *Investigación en la Escuela*, 35, pp. 51-62.
- SATIEL, E. y VIENNOT, L. (1985). ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los alumnos? *Enseñanza de las Ciencias*, 3(2) pp. 137-144.
- SCHANKER, N. (1999). Meiosis, Genes & Popscile Sticks. *The American Biology Teacher*, 61 (4), pp. 284-286.
- SEBASTIÁ, J.M. (1984). Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 2, pp 161-169.

SEGURA, D. (1991). Una premisa para el cambio conceptual: el cambio metodológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), pp. 175-180

SHAYER, M. (1974). Conceptual demand in the O-level Nuffield Biology Course. *School Science Review*, 56(195) pp. 381-388.

SHAYER, M. y ADEY, P.S. (1992). *La ciencia de enseñar ciencias*. Madrid: Narcea.

SHULMAN, L. (1986). Paradigmas y programas de investigación en el estudio de la enseñanza: una perspectiva contemporánea, en Wittrock, *La investigación de la enseñanza, I. Enfoques, teorías y métodos*. Barcelona: Paidós.

SIGÜENZA, A.F. 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.

SKINNER, B.F. (1977). *Sobre el conductismo*. Fontanella: Barcelona.

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. (1988). Successful and unsuccessful problem solving in classical genetic pedigrees. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(6), pp. 411-433.

SMITH, M.U. y GOOD, R. (1984) Problem solving and classical genetics: successful versus unsuccessful performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(9), pp. 895-912.

SMITH, M. y KINDFIELD, A. (1999). Teaching Cell Division. *The American Biology Teacher*, 61 (5), pp.366-371.

SMITH, M.U. y SIMS, O.S. (1992). Cognitive development, genetics problem solving, and genetic instruction: A critical review. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(7), pp.701-713.

SOLOMON, J. (1988). Una perspectiva social de los esquemas conceptuales. *Investigación en la Escuela*, 5, pp. 17-20.

SOLSONA, N. (2001). La habilidad lingüística de explicar en función del modelo de cambio químico. *Enseñanza de las Ciencias*, núm. Extra, 2001.

STAVROULAKIS, A.M. (2005). Meio-socks and other genetics yarns. *The American Biology Teacher*, 67(4), pp. 233-238.

STEWART, J. (1982). Difficulties experienced by high school students when learning basic Mendelian genetics. *The American Biology Teacher*, 44(2), pp. 80-84.

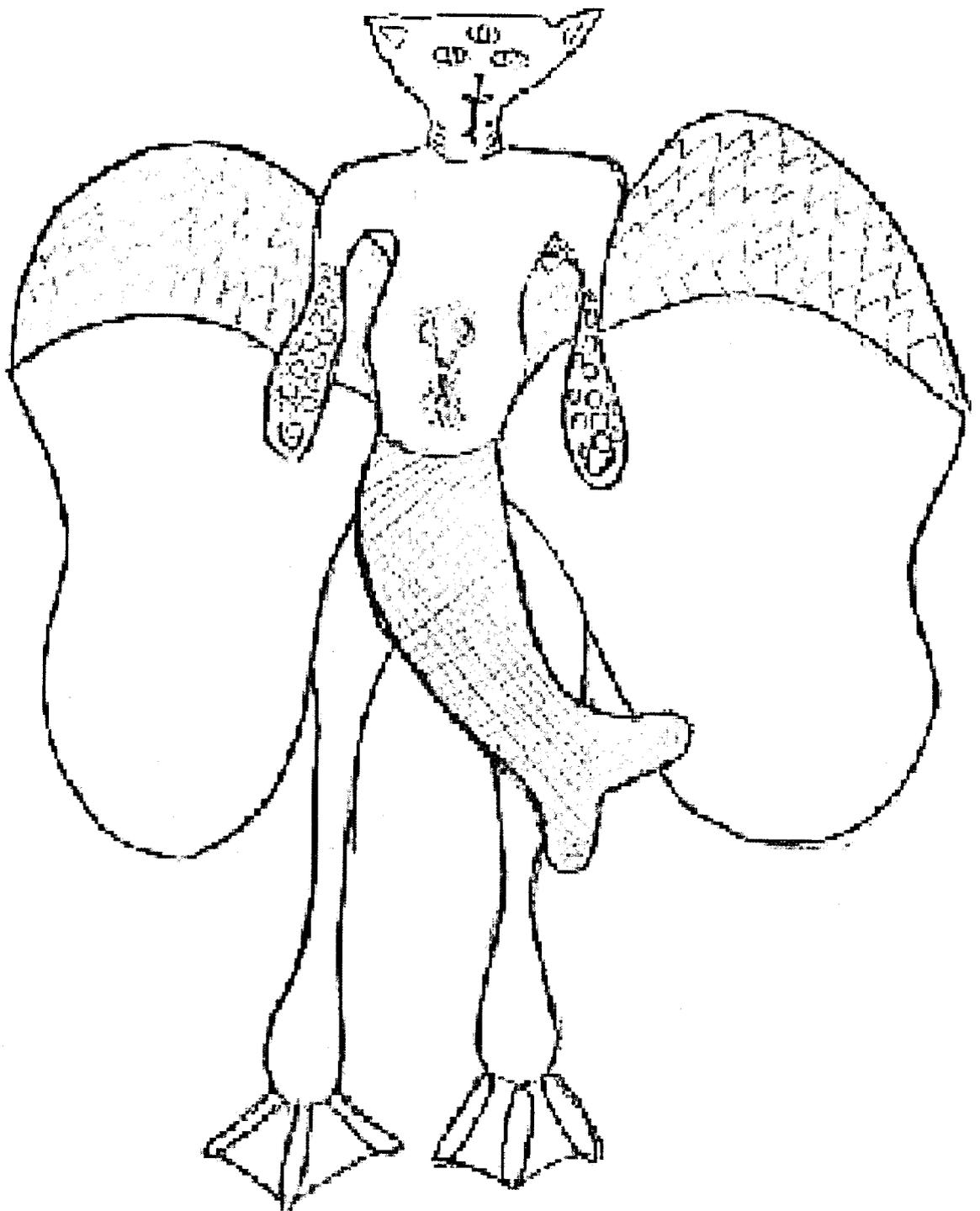
- STEWART, J. (1983). Students problem solving in high school genetics. *Science Education*, 67(4), pp. 523-540.
- STEWART, J.H. y ATKINS, J.A. (1982). Information processing psychology: a promising paradigm for research in science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 19(4), pp.321-332.
- STEWART, J. y DALE, M. (1989). High School Students' Understanding of chromosome/gene behavior during meiosis. *Science Education*, 73(4) pp. 501-521.
- STEWART, J., HAFNER, R. y DALE, M. (1990). Students' alternative views of meiosis. *The American Biology Teacher*, 52(4) pp.228-232.
- STEWART, J. y VAN KIRK, J. (1990). Understanding and problem-solving in classical genetics, *International Journal of Science Education*, 12(5), pp.578-588.
- STEWART, J. y DALE, M. (1991). Solutions to genetics problems: Are they the same as correct answers? *The Australian Science Teacher*, 27 pp. 59-64.
- STOEHR, A.M. (1999). Are significance thresholds appropriate for the study of animal behaviour?. *Animal Behaviour*, 57, F22-F25
- TALBOT, C. (1991) Teaching genetics: a review of selected human characteristics. *Studies in Science Research* .73(263)
- TAMIR, P. (1989). Some issues related to the use of justifications to multiple choice answers. *Journal of Biological Education*, 23(4), pp. 285-292.
- TAMIR, P. (1990). Characteristics of senior high school science teachers in Israel as related to their educational goals and their perception of the implemented curriculum. *Science Education*, 74(1), pp. 53-68.
- TAMIR, P. y GARCÍA ROVIRA, M.P. (1992). Características de los ejercicios de prácticas de laboratorio incluidos en los libros de texto de ciencias utilizados en Cataluña. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(1), pp. 3-12.
- THOMSON, N. y STEWART, J. (1985). Secondary school genetics instruction: making problem solving explicit and meaningful. *Journal of Biological Education*, 19(1), pp. 53-62.
- TOLMAN, R.R. (1982). Difficulties in genetics problem solving. *The American Biology Teacher*, 44(9), pp.,525-527.
- TOULMIN, S. (1977). *La construcción humana, I. El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Alianza Universal: Madrid.
- TURNEY, J. (1995). The public understanding of genetics-where next? *European Journal of Genetics and Society*, 1(2), pp. 5-20.

- TSUI, C. Y TREAGUST, D. (2004). Motivational Aspects of Learning Genetics with interactive multimedia. *The American Biology Teacher*, 66(4), pp. 228-232
- VALADÉ DEL RÍO, E. (1999). Nombres y símbolos en genética de eucariotas. *Alambique*, 20, pp. 85-90.
- VIENNOT, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1 (2), pp. 202-222.
- VILA, I. (1996). Lev S. Vigotski: una perspectiva sobre les relacions entre desenvolupament i aprenentatge. *Guix*, 228, pp.13-15.
- VILCHES, A., SOLBES, J. y GIL, D. (2004) Alfabetización científica para todos contra ciencia para futuros científicos. *Alambique*, 41, pp. 89-98.
- VYGOTSKY, L.S. (1988). *Pensamiento y lenguaje*. Vic: Eumo.
- VYGOTSKY, L.S. (1962). Aprendizaje y desarrollo intelectual en la edad escolar. En Luria, Leontiev, Vygotsky et al. (compilación) *Psicología y Pedagogía*. Madrid: Akal.
- WATSON, J.D. y CRICK, F.H.C. (1953). Molecular structure of nucleic acids. A structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature* 171, pp. 737-738.
- WHANDERSEE, J.H. (1983) Student's misconceptions about photosynthesis: a cross-age study. En Helm, H. y Novak, J.D. (eds.) *Proceedings of the International Seminar: Misconceptions in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, N.Y. pp. 441-466.
- WHANDERSEE, J.H.; MINTZES, J.J. y ARNAUDIN, M.W. (1987). Children's biology: a content analysis of conceptual development in the life sciences. En Novak, J.D. (eds). *Proceeding of the Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, N.Y.: Cornell University.
- WALKER, R.A., HENDRIX, J.R. y MERTENS, T.R. (1980). Sequenced instruction in genetics and Piagetian cognitive development. *The American Biology Teacher*, 42, pp.104-108.
- WILCOXSON, C.; ROMANEK, D. y WIVAGG, D. (1999). Setting the Stage for Understanding DNA. *The American Biology Teacher*, 61 (9), pp 680-683.
- WOOD-ROBINSON, C. (1994). Young people's ideas about inheritance and evolution. *Studies in Science Education*, 24. Pp. 29-47.
- WOOD-ROBINSON, C; LEWIS, J.; LEACH, J y DRIVER, R. (1998). Genética y formación científica: resultados de un proyecto de investigación y sus implicaciones sobre los programas escolares y la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), pp. 43-61.

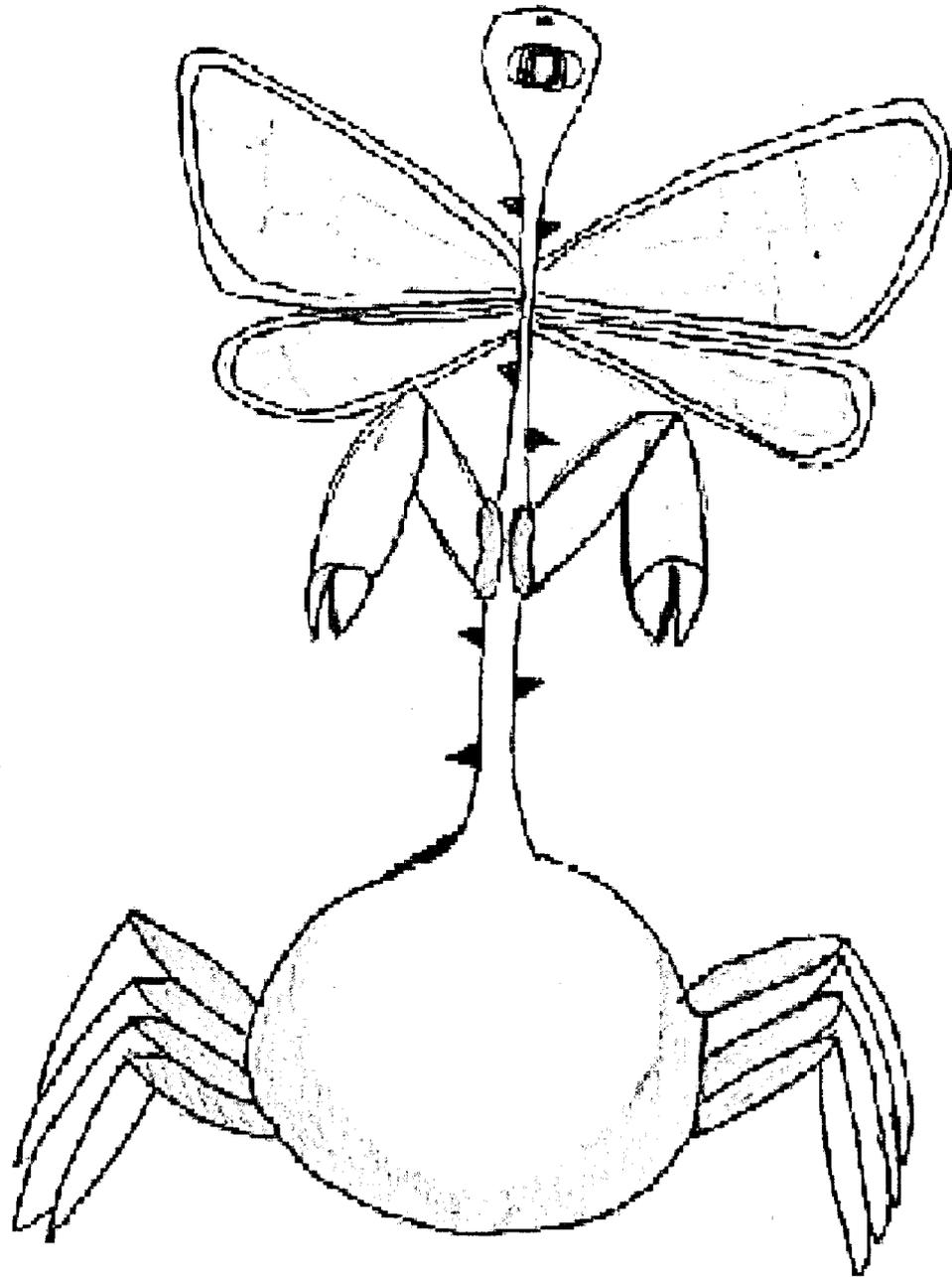
ZAR, J.H. (1996). *Biostatistical analysis*. Prentice Hall, New Jersey.

ANEXO I

**ORGANISMOS FANTÁSTICOS DISEÑADOS POR EL
ALUMNADO**



Airus marusterrus (Adriana, Aransa y Fran, 2000)



Ampullus ulli (Arnau, Alex, Xavi y Esteve, 2000)*



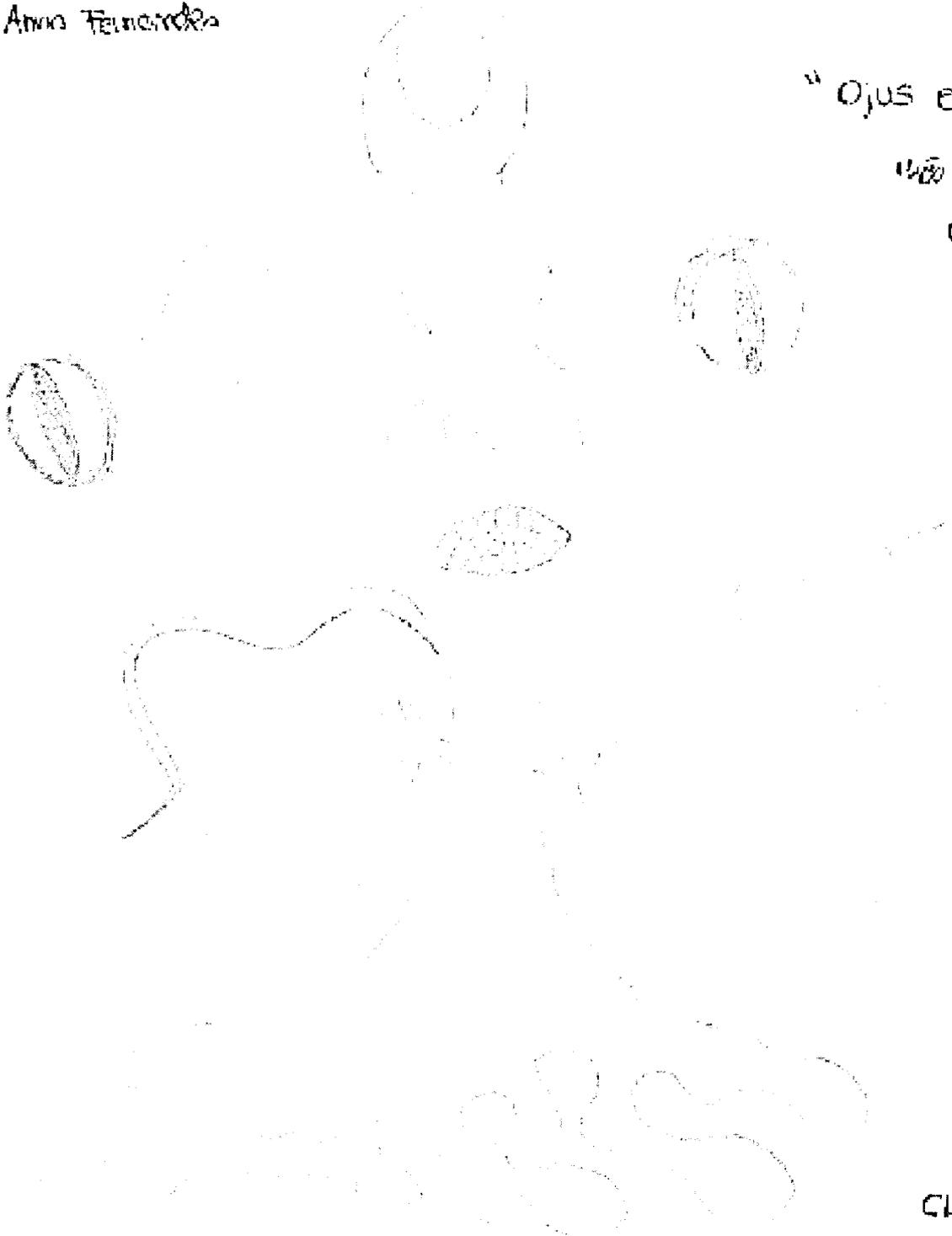
Aliens mosquisocellseyes (David, Marta, Sandra y Noemí, 2000)

Anna Felicitas

"OJUS EN

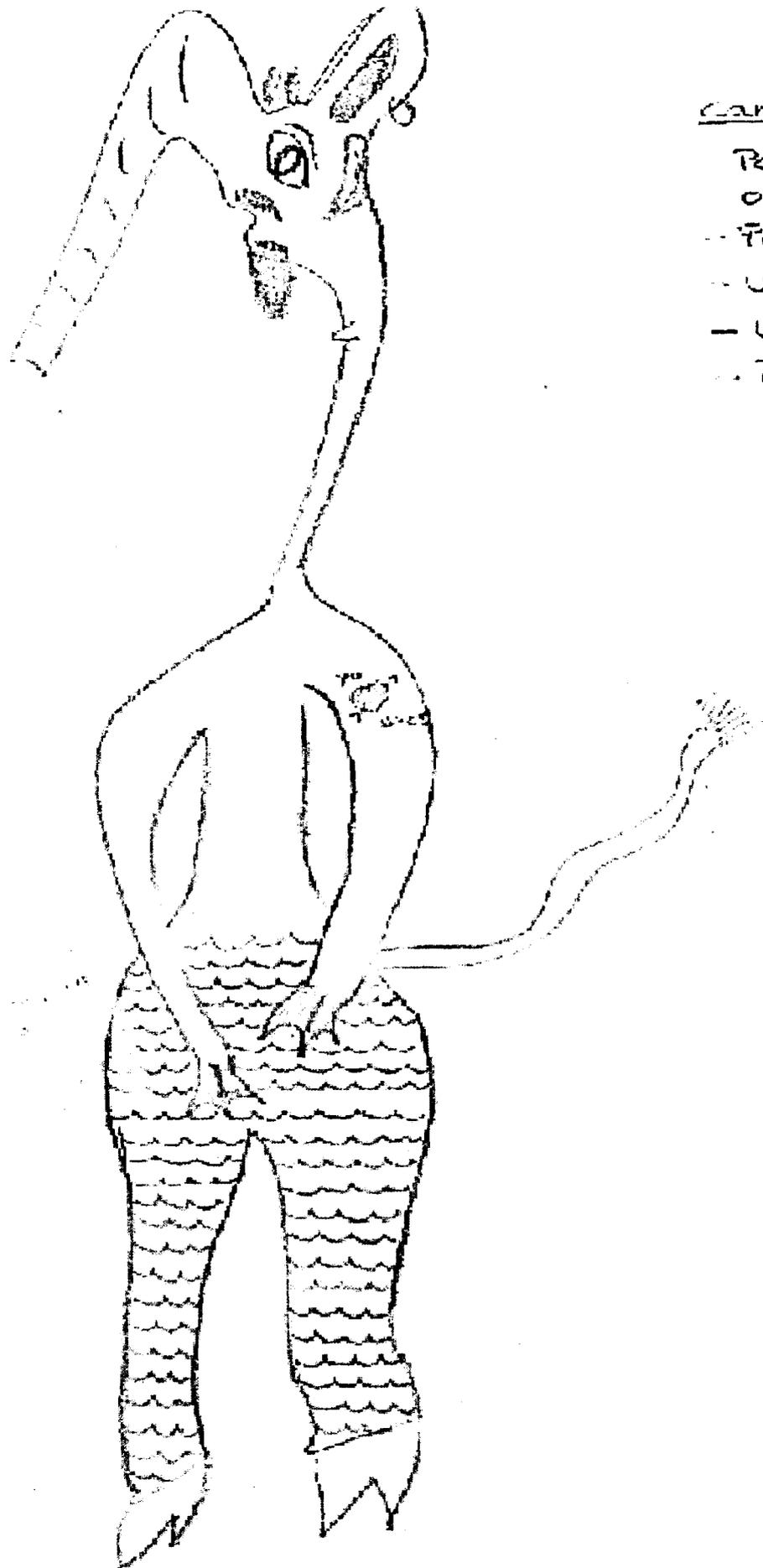
1300 C

64



CWE

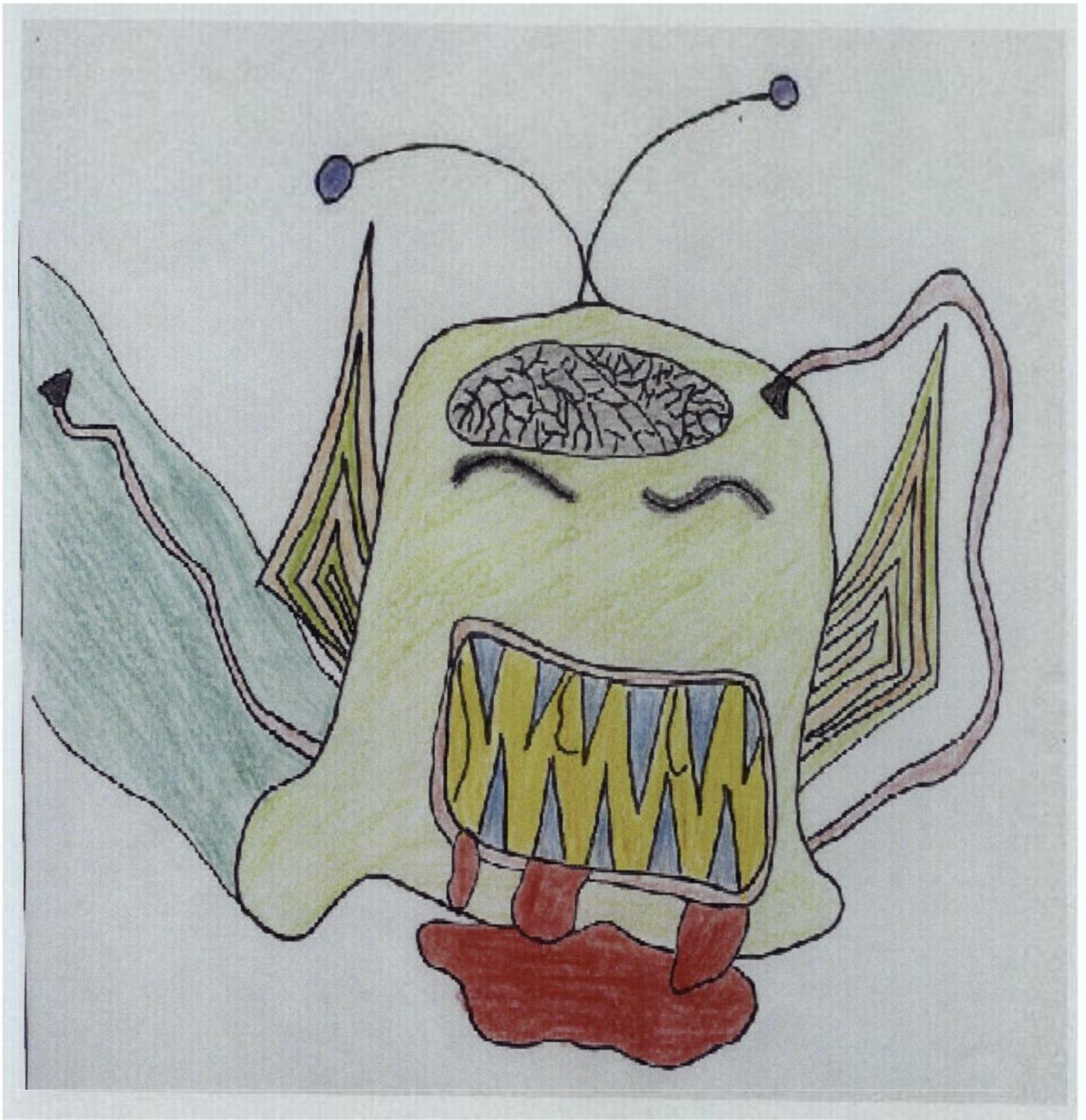
Ojus enormus (Ester, Mar, Montse y Anna, 1998)*



Homnimus mutamtumus (Ester, Montse, Mar y Anna, 1998)



Chuky sp. (Isabel, Patricia y Sergi, 2000)



Mocus babosus (Iván, Manel, Ana y Mireia, 2000)

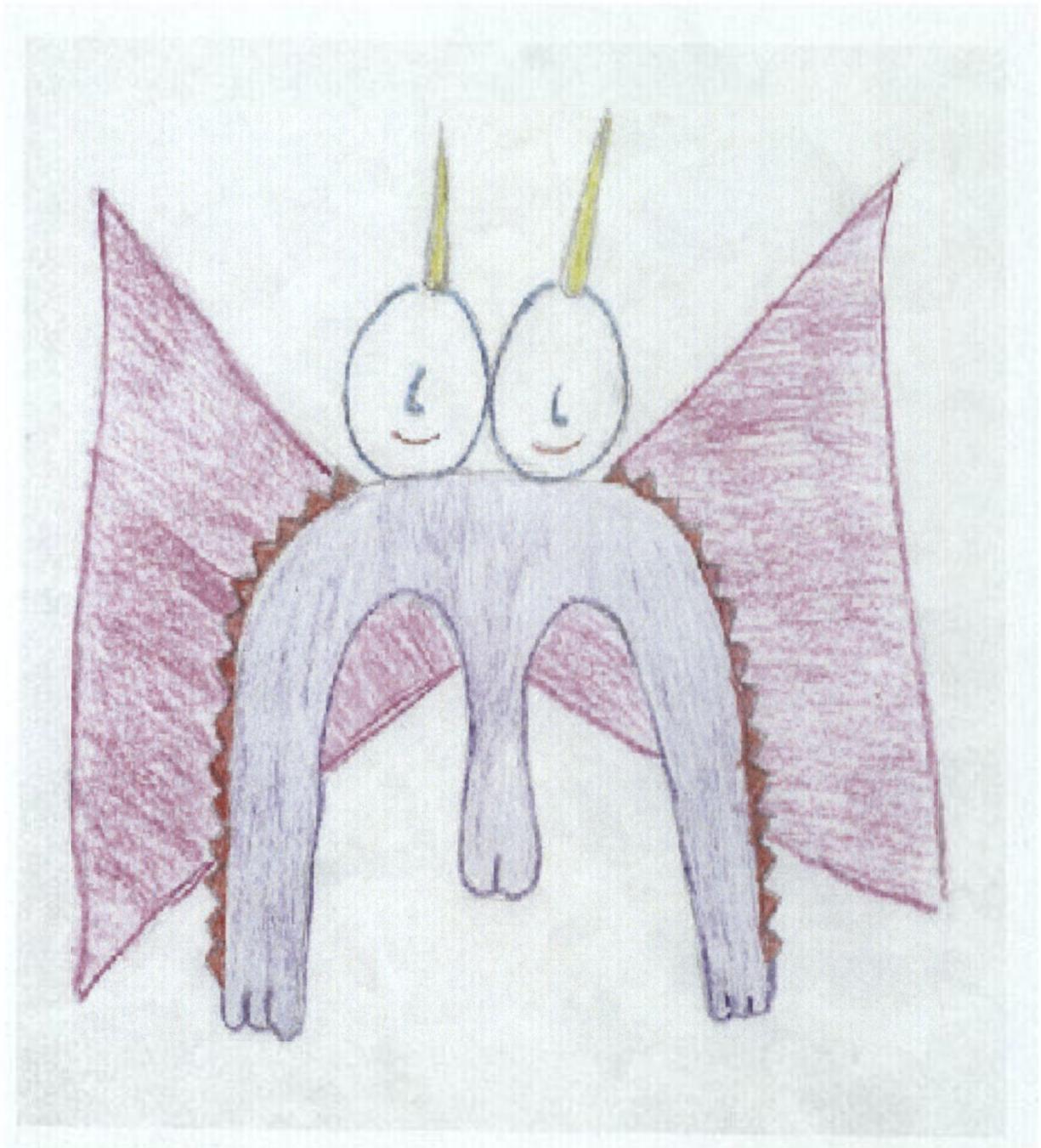


Corazus herbivorus (Jaume, Pau, Marc y David, 1999)

Nom: Guerrerius



Guerrerius sp. (Joel, Francesc y Eloi, 2000)



Alidus ducefalo (Lucía, Eric y Mireia, 1998)

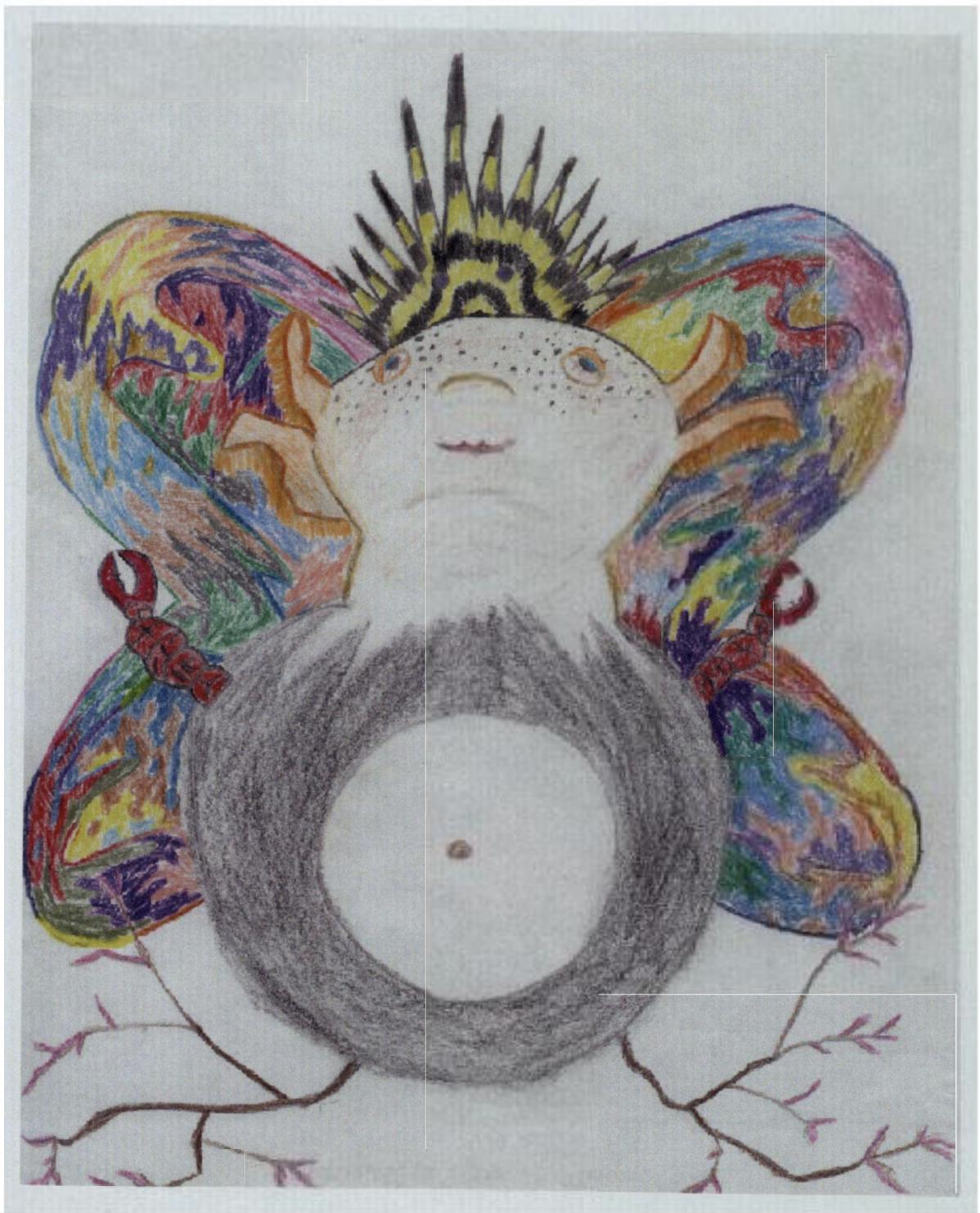


Moelanimmi rosplantus (Miriam, Inma, Ana y Mónica, 1999)*

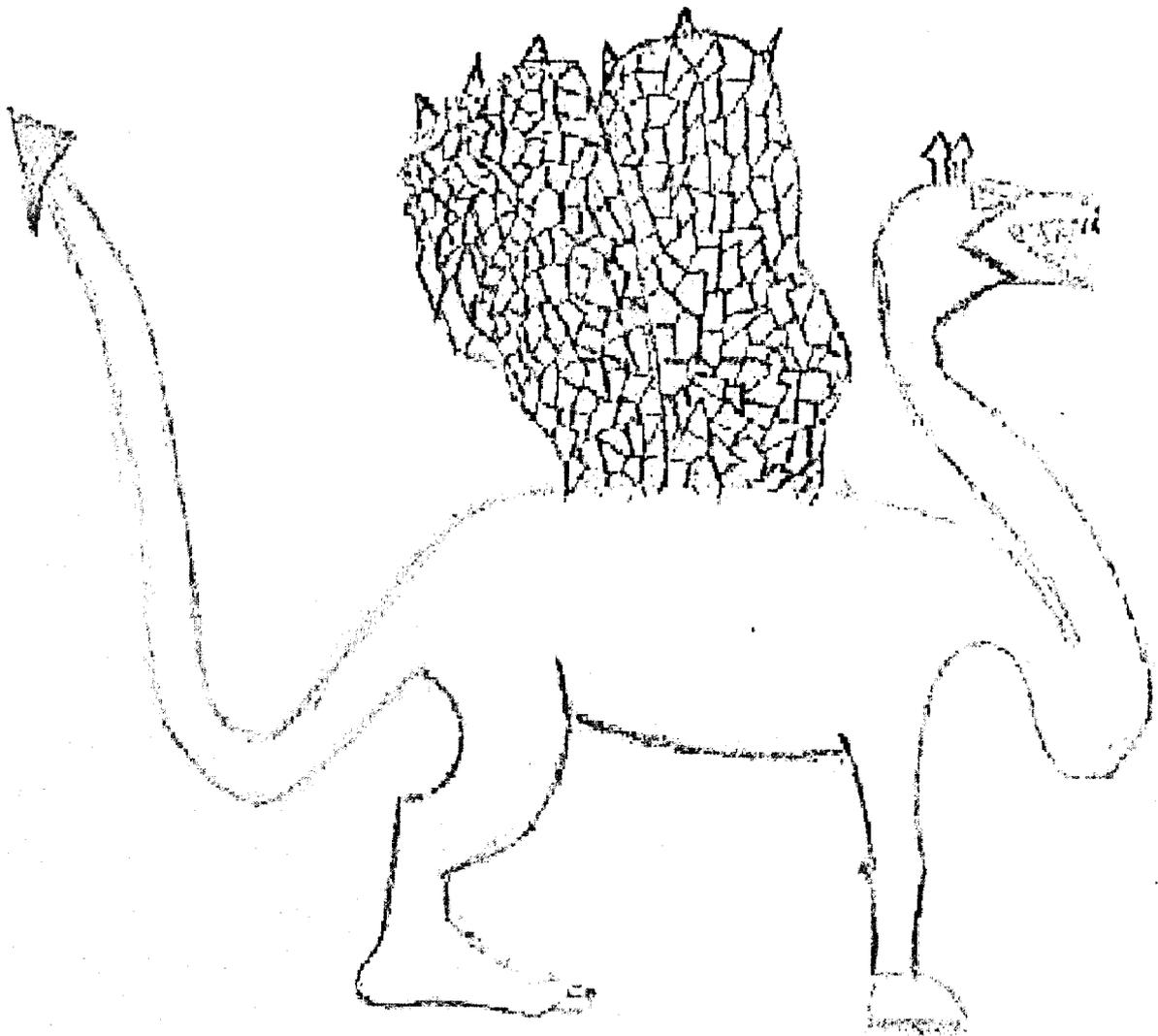
Unimatripus Alus.



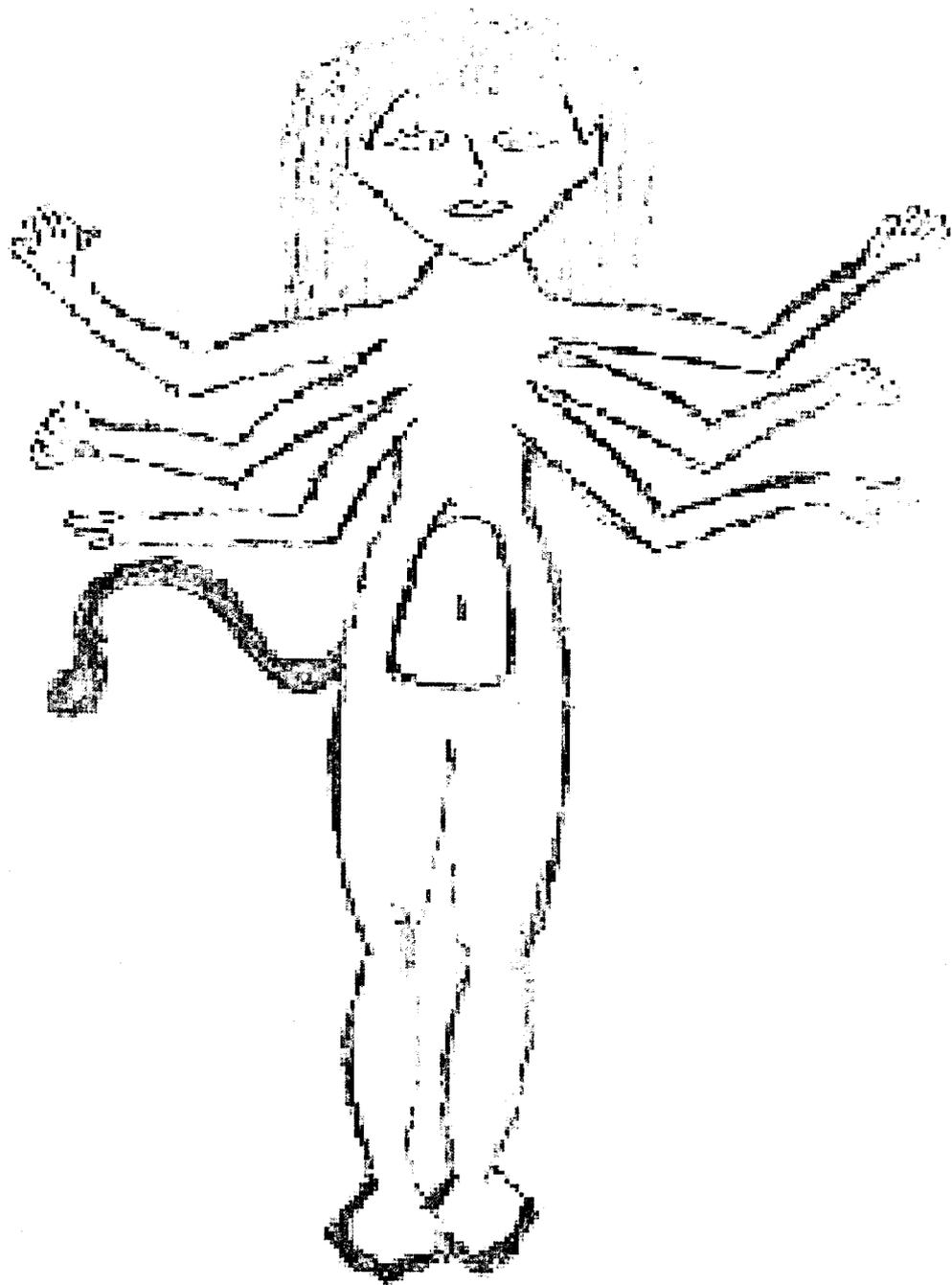
Unimatripus alus (Noel, Carlos, Raúl y Xavi, 1997)*



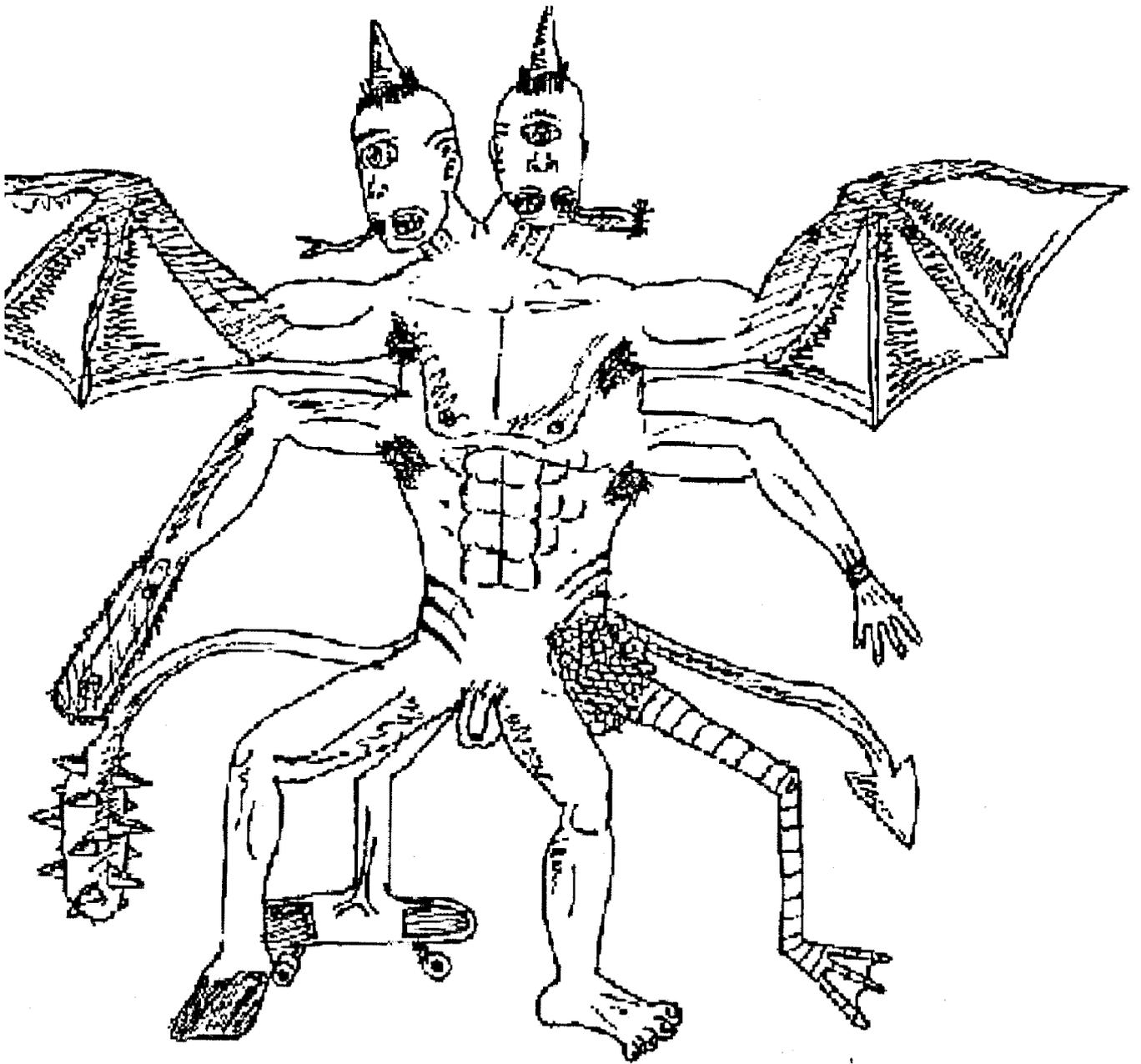
Arete sp. (Raquel, Lidia, Sandra y Vanessa, 2000)



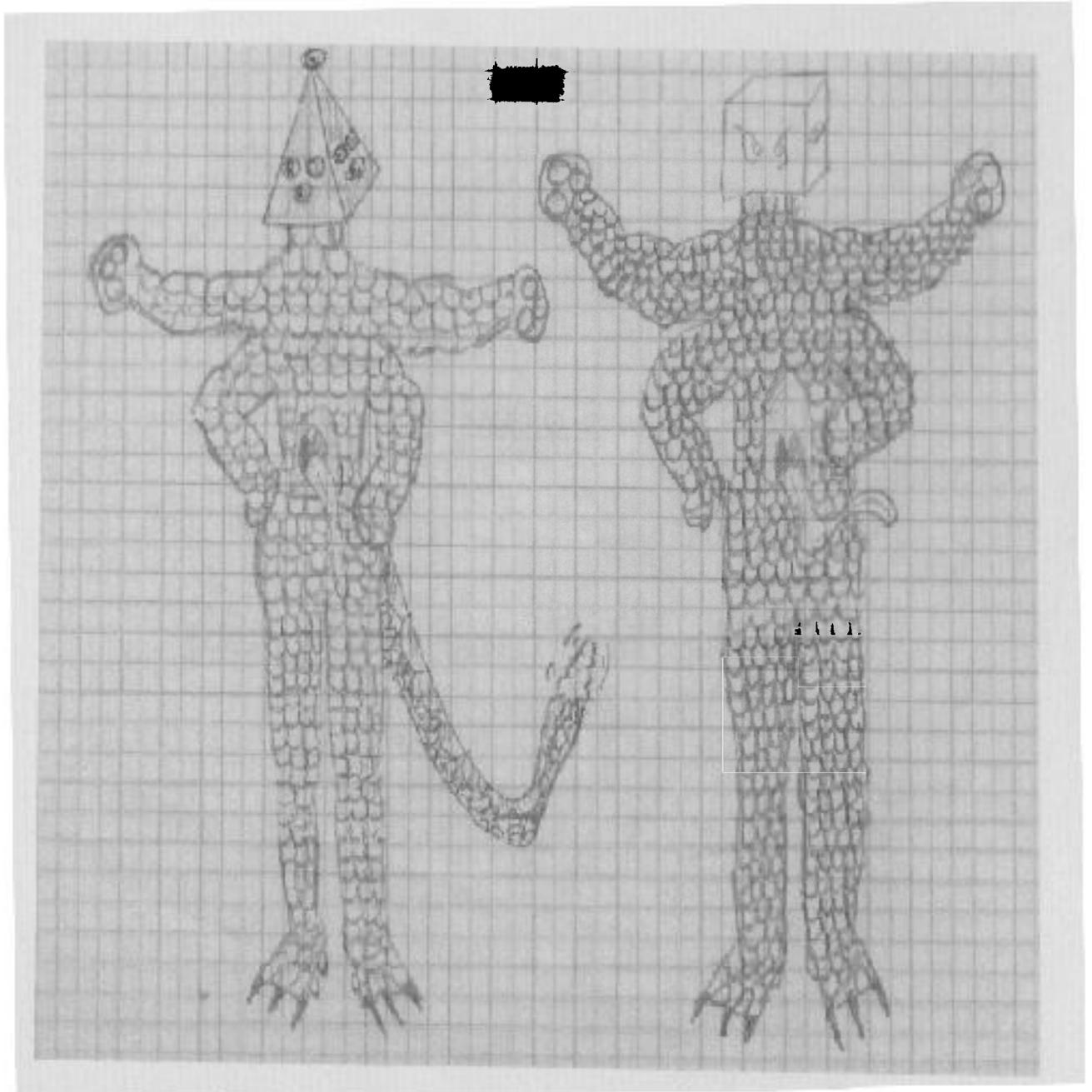
Flymatalizos sp. (Roberto y Antonio, 2000)



Cromos sp. (Sara, Xavi, Exter y Gabi, 1997)



Doscapus quatropernus (Victor, Jordi, Antic y José, 1997)



Tetrapops sp. (Loli, Ferran, Cristina y Miriam, 1997)*

ANEXO 2

CUESTIONARIO DE DETECCIÓN DE CONCEPCIONES

ESTRUCTURA CELULAR DE LOS SERES VIVOS

1. Indica con un cruz los organismos del cuadro que creas que tienen células.

	Todos	Algunos	Ninguno	No lo sé
Plantas				
Animales				
Setas				

2. Indica con un cruz los organismos del cuadro que creas que tienen cromosomas.

	Todos	Algunos	Ninguno	No lo sé
Plantas				
Animales				
Setas				

CONCEPTO DE INFORMACIÓN HEREDITARIA

3. ¿Qué células tienen ADN?

4. ¿Qué entiendes por información hereditaria?

5. Indica qué células contienen información hereditaria.

Espermatozoides
Células del cerebro
Células del corazón
Óvulos
Células musculares
Todas

FUNCIÓN DE LOS CROMOSOMAS

6. ¿Qué son los cromosomas?

7. ¿Qué función tienen los cromosomas?

8. ¿En qué células hacen su función los cromosomas?

Espermatozoides
Células del cerebro
Células del corazón
Óvulos
Células musculares
Todas

ESTRUCTURA Y LOCALIZACIÓN DE LOS CROMOSOMAS

9. Indica qué células tienen cromosomas

Espermatozoides
Células del cerebro
Células del corazón
Óvulos
Células musculares
Todas

10. ¿Dónde se encuentran los cromosomas? Haz un dibujo o esquema que lo muestre.

11. ¿Qué células tienen cromosomas sexuales?

- Espermatozoides
- Células del cerebro
- Células del corazón
- Óvulos
- Células musculares
- Todas

12. ¿En qué células hacen su función los cromosomas sexuales?

LOCALIZACIÓN Y ESTRUCTURA DE LOS GENES

13. ¿Qué son los genes?

14. ¿Qué células contienen genes?

- Espermatozoides
- Células del cerebro
- Células del corazón
- Óvulos
- Células musculares
- Todas

15. ¿Dónde se encuentran los genes? Haz un esquema o dibujo que lo muestre.

ANEXO 3

FOTOGRAFIAS DE LOS MODELOS UTILIZADOS

