

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 5

METODOLOGIA

5.1. METODOLOGÍA EN DIDÁCTICA DE LA GENÉTICA

Los métodos utilizados en trabajos relacionados con la didáctica de la genética no difieren básicamente de las que se usan habitualmente en otras investigaciones relativas a las Ciencias Sociales. En este apartado queremos analizar las diferentes metodologías empleadas en estudios similares al nuestro.

La evolución experimentada por la investigación en didáctica de las ciencias ha sido similar a la experimentada por la investigación educativa general. En relación a la metodología usada, se ha evolucionado progresivamente del uso exclusivo de métodos cuantitativos o empírico-analíticos a metodologías de tipo cualitativo hasta llegar finalmente a una combinación de ambas metodologías (Bisquerra, 1989).

La metodología empírico-analítica o cuantitativa admite la posibilidad de aplicar a las Ciencias Sociales y también a la Didáctica de las Ciencias el método de investigación de las Ciencias Físico-Naturales (Bisquerra, 1989). Necesita datos cuantitativos que son obtenidos por diferentes instrumentos, como por ejemplo test o pruebas objetivas, y los datos suelen ser analizados por procedimientos matemáticos o estadísticos.

Algunas de las características de esta metodología son las que indica Bisquerra (1989):

- a. Se aplica un método hipotético-deductivo que pretende llegar a la generalización de los resultados.
- b. Se utilizan muestras representativas de sujetos.
- c. Se realiza una medición objetiva de las variables.
- d. Los datos se obtienen a partir de diversas pruebas y son tratados estadísticamente

Presenta el inconveniente de que no puede abordar todos los aspectos de la realidad educativa, aunque sus aportaciones pueden ser tan valiosas que en determinados ámbitos educativos es la orientación predominante. De hecho así fue en los estudios en investigación educativa hasta que en los años ochenta se produjo una irrupción de la metodología cualitativa.

La necesidad de recoger datos de manera objetiva, requiere la existencia de instrumentos rigurosos. Dichos instrumentos han de tener las siguientes características (Latorre et al., 1996):

1. Validez. Ha de detectar lo que realmente buscamos
2. Fiabilidad. Debe permitir obtener resultados comparables al aplicarlo en diferentes situaciones.

3. **Practicidad.** Debe permitir obtener datos fácilmente analizables.

Campbell y Stanley (1973) hacen tres distinciones en la metodología cuantitativa: metodología preexperimental, metodología experimental y metodología cuasiexperimental.

La metodología preexperimental realiza diseños que no permiten un control necesario para asegurar la validez interna. Un ejemplo sería el estudio pretest-postest de un solo grupo.

En la metodología experimental el investigador manipula la variable independiente y le asigna niveles (la variable independiente es la variable que se modifica deliberadamente para observar como varía la variable dependiente en función de los cambios de aquélla). A continuación se observan los resultados en la variable dependiente en función de los diferentes niveles aplicados. La muestra sobre la que se actúa ha de ser al azar. Un ejemplo sería el estudio pretest-postest con un control.

La metodología cuasiexperimental pretende explicar relaciones de causalidad comparando grupos de datos procedente de situaciones provocadas por el investigador pero que carecen de un control completo. Los sujetos no se asignan al azar en cada grupo sino que han sido seleccionados. Por tanto, no existe la misma probabilidad de encontrar el mismo tipo de individuo en los grupos experimentales y control.

De entre los tipos de diseños más usuales en investigación didáctica destacamos el de dos grupos a los que se les aplica un pretest y un postest con la existencia de control, precisamente el que nosotros utilizaremos y que corresponde a la metodología experimental.

La metodología cualitativa se orienta a describir e interpretar los fenómenos sociales, y por consiguiente los educativos, y se interesa por el estudio de los significados e intenciones de las acciones humanas desde la perspectiva de los propios agentes sociales. El investigador cualitativo intenta penetrar en el interior de las personas y entenderlas desde dentro, realizando una especie de inmersión en la situación y en el fenómeno estudiado (Marshall y Rossman, 1989 citado en Latorre et al. (1996).

No se utiliza el término "sujeto" que implica una acción sobre alguien, sino el término "participantes" ya que implica un proceso de interacción con un individuo. De hecho, una de las características fundamentales de esta metodología es la interacción cara a cara. Otra característica que la diferencia de la metodología cuantitativa es que cuestiona los términos de validez, fiabilidad y practicidad, tanto en los procesos de recogida de datos como en el procedimiento de diseño de la investigación. En realidad, el proceso de investigación cualitativo es interactivo, progresivo y flexible (Latorre et al., 1996).

Entre las características comunes que tienen las investigaciones de tipo cualitativo podemos señalar las apuntadas por Bisquerra (1989):

- a. El investigador es el instrumento de medida y todos los resultados son filtrados por él y por tanto sometidos a la subjetividad.
- b. Se realizan estudios intensivos a pequeña escala, es decir, los estudios tan solo se representan a sí mismos y se estudian pocos casos.
- c. No se suelen probar teorías o hipótesis, más bien es un método para generarlas.
- d. No se especifica previamente el mecanismo de recogida de información.
- e. Abarca el fenómeno en su conjunto y por tanto no distingue variables.
- f. A medida que va evolucionando la investigación, se va modificando el diseño.

Existen diferentes tendencias en los investigadores en didáctica de las ciencias respecto de qué tipo de metodología usar. Es necesario señalar la existencia de discrepancias entre los que defienden como único modelo válido el enfoque cualitativo y aquellos que optan por un uso ponderado de una metodología cualitativa y cuantitativa. Por ejemplo, Carrascosa (1987, citado en Núñez, 1994) opina que es un error identificar en todos los casos la investigación en didáctica de las ciencias con trabajos de tipo sociológico donde se utilizan enfoques estadísticos cuantitativos, argumentando que más que obtener una serie amplia de datos, lo que realmente importa es profundizar en los problemas que se investigan. Consecuentemente, propone una metodología cualitativa y la utilización de diferentes formas de contraste, con objeto de mostrar la coherencia de los resultados. Por el contrario, otros autores (Porlan, 1989, citado en Núñez, 1994) consideran que una investigación compleja, como la educativa, necesita metodologías complejas; en este sentido, Porlan (1989) propone un enfoque plurimetodológico que sirva tanto para garantizar el poder profundizar en la comprensión de la realidad que se investiga, como para garantizar su significación y la adecuación a los problemas investigados. Jiménez Aleixandre (1990) se muestra partidaria, igualmente, de la combinación de enfoques cuantitativos y cualitativos, ya que suministran datos complementarios que proporcionan mayor riqueza en la realización de las investigaciones.

En nuestra investigación hemos optado principalmente por un enfoque metodológico cuantitativo de tipo experimental, sin dejar de lado aspectos cualitativos. Estamos de acuerdo en que algunos de los métodos investigativos en el campo de las Ciencias Experimentales y de la Salud pueden ser de aplicación en estudios sobre didáctica de las ciencias. De la misma manera que en la investigación dentro del terreno de las Ciencias se formulan unas hipótesis que han de ser comprobadas a partir de datos recogidos de manera objetiva, en nuestro trabajo operamos de forma análoga. La muestra de alumnos que se ha utilizado es lo suficientemente amplia como para ser

representativa y por tanto los resultados podrían ser generalizables. En un estudio puramente cualitativo esto no podría realizarse. No obstante, hemos tenido en cuenta algunos puntos de vista cualitativos, teniendo en cuenta que los sujetos sobre los que se ha llevado a cabo la investigación son jóvenes que no presentan todos las mismas características motivacionales y cognitivas. Creemos que la combinación de ambas metodologías, ayudará a obtener unos resultados de la investigación más completos.

5.2. INSTRUMENTOS USADOS EN LA DETECCIÓN DE CONCEPCIONES DE LOS ALUMNOS

Tal y como explicamos en capítulos anteriores, nuestro modelo educativo requiere el conocimiento de las concepciones que los alumnos tienen sobre la situación y estructura del material hereditario. Por esta razón, se han diseñado instrumentos que han permitido estructurar los esquemas conceptuales del alumnado.

5.2.1. Instrumentos utilizados para la recogida de los datos

Whandersee et al.(1987) realizaron un estudio sobre las investigaciones realizadas en el campo de las concepciones del alumnado sobre diferentes temas de biología y señalan que los procedimientos más empleados por los autores fueron las entrevistas, prueba de resolución de tareas y cuestionarios de elección múltiple, abiertos o cerrados, entre otros instrumentos. Describiremos a continuación las características de cada instrumento, sus ventajas y sus inconvenientes, con alusión a alguno de los trabajos donde han sido utilizados.

1) Cuestionarios

Novak (1988) señala que las primeras investigaciones que pretendieron averiguar qué saben el alumnos, utilizaron instrumentos donde ellos debían escribir alguna cosa. En la actualidad es uno de los mecanismos más utilizados en el campo de la didáctica de las ciencias y vamos a ver los diferentes tipos que se han utilizado.

a) Cuestionarios de respuesta abierta

Los investigadores partidarios de este tipo de cuestionario argumentan que son de gran utilidad para diagnosticar de manera fiable las ideas de los alumnos, al no utilizar distractores, que pueden condicionar los resultados y porque suministran una información de más calidad que los cuestionarios de elección múltiple.

Habitualmente se formulan una serie de preguntas abiertas en las que el alumno ha de responder a partir de los conocimientos que posea. En algunos

casos se pide que razonen la respuesta, como los que utilizan Dreyfus y Jungwirth (1989) en una investigación sobre la estructura celular de los seres vivos.

Los “problemas de respuesta abierta” (Ausubel et al. 1983) suponen una variante a este tipo de cuestionario y nos recomiendan el planteamiento de situaciones problemáticas diferentes a las que se usan en el aprendizaje, como forma de comprobación de un verdadero aprendizaje significativo. Algunos trabajos donde ha sido utilizado podrían ser los de Jungwirth (1975) sobre la adaptación, Bell (1981) sobre el concepto de animal, Whandersee (1983) sobre la fotosíntesis, Jiménez Aleixandre (1990) sobre la selección natural y Gené (1991) sobre la evolución de los seres vivos.

Los inconvenientes fundamentales que presentan estos cuestionarios de respuesta abierta son que las respuestas de los alumnos suelen ser muy breves y por otra parte se hace difícil la categorización de las respuestas, al ser muy variadas.

b) Cuestionarios de respuesta múltiple

El cuestionario de respuesta múltiple es uno de los métodos más utilizados en las investigaciones sobre las concepciones de los alumnos. Presenta la ventaja de que es fácilmente aplicable a muestras amplias de individuos y los resultados son fáciles y rápidos de analizar. Entre las investigaciones que han utilizado este instrumento en el campo de la Genética podemos señalar a Cohen et al. (1989) sobre el concepto de ADN y a Banet y Ayuso (1995, 2000) y Lewis et al. (2000) sobre conceptos de genética.

Algunos trabajos, como los de Tamir (1989), han detallado algunas de las ventajas que presentan este tipo de test:

1. Permite obtener información de una amplia variedad de temas en poco tiempo.
2. Pueden ser utilizados para medir diferentes niveles de aprendizaje.
3. Son objetivos y por tanto tienen mayor fiabilidad. Se evita el problema de la categorización de las respuestas.
4. Son fáciles y rápidos de analizar

Otras ventajas que presentan estos cuestionarios serían:

1. Objetividad de los resultados.
2. Se obtienen fácilmente datos estadísticos sobre los resultados obtenidos.

Por otra parte, podemos decir que tienen algunos inconvenientes, como coinciden en señalar Brumby (1979) y Jiménez Aleixandre (1990):

1. La forma de presentar los distractores condiciona las respuestas de los alumnos.
2. La diversidad de opciones que se da a los alumnos puede provocar que se vean forzados a responder aunque no tengan una idea clara sobre el asunto que se pregunta. Este inconveniente podría evitarse si se añade en cada pregunta la opción *No lo sé*, según propone Carrascosa (1987).

Otras dificultades añadidas que presentan podrían ser las siguientes:

1. Pueden producirse elecciones al azar.
2. Se pueden dar elecciones por eliminación.
3. Puede haber elección por respuestas de otros ítems del mismo test.
4. Falta de comprensión de la pregunta o de las respuestas.

Una última dificultad que encontramos es que si no se pide la justificación de la respuesta, puede darse una elección correcta que corresponde a un razonamiento incorrecto y que el investigador no percibe.

c) Cuestionarios de elección múltiple con justificación de respuesta

Una solución a los problemas que se plantean en los dos cuestionarios descritos anteriormente es el cuestionario de doble elección usado por Hasslam y Treagust (1987) sobre la fotosíntesis y respiración de las plantas. Estos autores proponen un cuestionario donde se presentan dos columnas de elección múltiple, una para las opciones de respuestas y la otra para indicar las razones por las que se señala una opción determinada.

Su principal ventaja es que permite obtener más información sobre las concepciones de los alumnos, ya que la combinación de respuesta-razón, en muchos casos acompañadas por preguntas referidas al grado de seguridad en las respuestas, suponen un buen elemento de diagnóstico de las mismas. La justificación de las respuestas presenta dos ventajas según Tamir (1990):

1. Permiten identificar no solo errores conceptuales sino también posibles relaciones entre conceptos, no observables con facilidad, así como el tipo de razonamiento utilizado en la respuesta.
2. Permiten una mejor comprensión de las concepciones de los alumnos derivadas de la elección de un distractor determinado, problema que ya hemos comentado con anterioridad.

2) Entrevistas

Las entrevistas personales a los alumnos han sido utilizadas como instrumento substitutivo de los cuestionarios y, según Novak (1988), son indicadores más fiables que los test de los conocimientos del alumnado, tanto en la cantidad,

como en la calidad. Como técnica utilizada para el diagnóstico de los estudiantes, son de gran utilidad en aquellos casos en que la muestra de individuos es reducida o cuando los alumnos son demasiado pequeños como para comprender la información que se les pide por escrito y se dificulta el uso de cuestionarios escritos.

En la planificación de una entrevista, Bisquerra (1989) recomienda utilizar los pasos siguientes:

1. Especificar las variables objeto del estudio, es decir, lo que se pretende medir.
2. Decidir el formato de las preguntas y el modo de las respuestas.
3. Especificar si se trata de hechos, opiniones o actitudes.
4. Construir un protocolo de entrevista y un manual de entrevistador.

En Biología han sido utilizadas, entre otros, por Deadman y Kelly (1978) sobre evolución, Cubero (1988) sobre digestión y Stewart y Dale (1989) y Banet y Ayuso (1995) sobre genética.

Para enfocar la entrevista se han usado diferentes técnicas. Acevedo et al. (1989) y Deadman y Kelly (1978) las hacen a partir de la realización de pruebas o experiencias; Bell (1981) presenta dibujos o fotografías y Ayuso et al. (1996) usan la entrevista para comentar las concepciones que los alumnos han mostrado en un cuestionario previo.

En un trabajo referido anteriormente, Tamir (1989) indica algunos inconvenientes de esta técnica:

1. El tiempo y el trabajo que requiere su aplicación dificulta que pueda ser utilizado en muestras amplias.
2. No puede ser utilizada de forma habitual por los profesores como parte de su trabajo habitual.
3. Es difícil generalizar los resultados obtenidos ya que las respuestas son personales y subjetivas.

Bisquerra (1989) señala como inconvenientes adicionales, que la información es difícil de recoger y el análisis de las respuestas laborioso.

No obstante, suelen utilizarse las entrevistas de manera combinada con otros instrumentos y raramente como única fuente de información sobre las ideas del alumnado.

3) Combinación de diferentes instrumentos

No puede decirse que haya un único instrumento óptimo para conocer las ideas de los alumnos, sino que en función del problema concreto, se han de establecer los medios adecuados para obtener la información. En la mayoría de los casos se combinan diferentes métodos como mecanismo más seguro para obtener información lo más precisa posible y que nos permita obtener conclusiones fiables.

Muchos trabajos muestran el uso combinado de instrumentos: Carrascosa (1987), Collins y Stewart (1989), Jiménez Aleixandre (1990), Banet y Ayuso (1995), entre otros.

Existen algunos otros instrumentos para la detección de concepciones alternativas que se diferencian de las entrevistas y los cuestionarios. Destacamos la técnica de los mapas conceptuales, que pueden ser complementarios a los test y entrevistas (Novak 1988). Son útiles en el sentido de que permiten seleccionar los conceptos que se van a investigar y pueden utilizarse a la hora de confeccionar el cuestionario. También pueden ser útiles como guía para la entrevista (Arnaudín y Mintzes, 1985).

Finalmente, señalaríamos la observación directa en clase, que ha sido utilizada por Granda (1988) y el análisis del material escrito por el propio alumno (Otero, 1990). También vale la pena señalar el trabajo de Garvin y Stefani (1993) a partir de un ejercicio de *role-playing*.

5.2.2. Instrumentos utilizados para el análisis de los datos

El análisis de la información recogida antes y después de la investigación es un aspecto fundamental en cualquier investigación como la que llevamos a cabo. En este sentido, no importa el instrumento que haya sido utilizado para obtener los datos sobre las concepciones del alumnado.

Giordan (1985) y Anderson et al. (1990) han propuesto unas fases en el análisis de la información:

1. Construcción de instrumentos que permitan detectar regularidades en las ideas del alumnado y a continuación establecer categorías entre las diferentes respuestas.
2. Contrastar los resultados de diferentes fuentes de investigación y presentes en la bibliografía, con los obtenidos por nosotros. Hacer comparaciones y contrastes con investigaciones similares a la llevada a cabo o incluso someter los resultados a la opinión de otros investigadores del mismo campo.
3. Clasificación de los alumnos en función de las concepciones detectadas y de los esquemas conceptuales que han sido encontrados.

4. Representación de los resultados obtenidos a través de técnicas estadísticas sencillas (porcentajes, gráficas y frecuencias de respuestas). También se usan programas estadísticos más complejos como BMDP o SPSS, usados especialmente en investigaciones con una marcada metodología cuantitativa.

Uno de los asuntos claves es la categorización de las respuestas y la dificultad de asignar alguna de las respuestas de los alumnos a un nivel establecido. La forma más habitual de operar por parte de los investigadores es el contraste de la respuesta dada por el alumnado con el conocimiento científico aceptado como correcto. Una de las aportaciones, en nuestra opinión más importantes, son las redes sistémicas propuestas por Bliss et al. (1983) y que han sido utilizadas por Albadalejo y Lucas (1988) sobre la concepción de mutación.

5.3. METODOLOGIA USADA DURANTE LA INVESTIGACIÓN

La revisión de la metodología utilizada en la investigación en didáctica de las ciencias hecha en el apartado anterior, pone de manifiesto la amplia gama de instrumentos existentes para la recogida de información. Para llevar a cabo nuestro trabajo hemos utilizado algunas de las técnicas descritas y hemos propuesto alguna variante no descrita en la bibliografía.

5.3.1. Recogida de la información

Para obtener la información sobre las concepciones del alumnado antes de la intervención didáctica, hemos administrado un cuestionario con diferentes preguntas sobre la estructura y ubicación del material genético (ver anexo 2). Tal y como explicamos en apartados anteriores, el desconocimiento de la naturaleza del material hereditario es uno de los principales problemas detectados en las investigaciones sobre didáctica de la genética. Por ello, consideramos necesario recoger toda la información posible sobre la estructura conceptual del alumnado sobre este aspecto. Antes de pasar dicho test a los alumnos, se validó en un proceso que fue descrito en el capítulo 4.

En el instrumento de recogida de información definitivo se establecían diferentes tipologías de preguntas, por lo que podemos considerar que es una combinación de diferentes metodologías. El tipo de preguntas que aparecen en el test son:

- a) *Preguntas de respuesta de elección múltiple.* Estas cuestiones estaban centradas en la ubicación del material genético en determinadas células. Un ejemplo sería:

¿Qué células tienen cromosomas sexuales?

*Espermatozoides
Células del cerebro
Células del corazón
Células musculares
Óvulo
Todas*

b) *Preguntas de respuesta abierta.* Se preguntaba sobre el concepto y función de diversos aspectos de la herencia biológica. Un ejemplo sería:

¿Qué función tienen los cromosomas?

c) *Confección de dibujos.* Se pedía a los alumnos que dibujasen alguna estructura biológica relacionada con la herencia y la localizasen. Un ejemplo sería:

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

Los dos primeros tipos de pregunta han sido comentados anteriormente y son las formas clásicas de detectar ideas alternativas en cuestionarios escritos. Ahora bien, nosotros hemos incluido dos preguntas en las que pedíamos a los alumnos que hiciesen dibujos y ha sido a través de sus propias creaciones como nosotros hemos establecido los esquemas conceptuales sobre el tema. Este tipo de cuestión en la que se pide a los alumnos que hagan un dibujo ya ha sido utilizado en otros estudios, entre los que podemos citar los llevados a cabo sobre el aparato digestivo por Giordan y de Vecchi (1988), Muñoz (1999) y Muñoz y Puigcerver (2001).

Justo después de finalizar la intervención didáctica y sin haber advertido de ello al alumnado, se volvió a administrar el mismo cuestionario. Nueve meses más tarde se pidió al alumnado que contestase de nuevo al test.

5.3.2. Tratamiento de los datos

En las investigaciones sobre didáctica de las ciencias se utiliza tanto la metodología cualitativa como la cuantitativa. Consideramos que las dos son necesarias para poder analizar los datos y poder obtener unos resultados fiables.

Nosotros hemos combinado ambas metodologías de manera que la comprensión global de los resultados se hace necesaria cuando se observan los dos enfoques, ya que no quedan desligados uno del otro.

Por una parte, hemos categorizado las respuestas obtenidas en algunas de las preguntas para poder confeccionar redes sistémicas, tal y como veremos más adelante. Son numerosos los estudios donde se llevan a cabo categorizaciones

de las respuestas de los alumnos, como por ejemplo los llevados a cabo por Albadalejo y Lucas (1988), Dreyfus y Jungwirth (1988) y Anderson et al. (1990), entre otros.

Presentaremos los resultados obtenidos en forma de red sistémica y describiremos cada categoría analizando el significado y la posible implicación didáctica. Pero también trataremos estadísticamente los datos que se obtengan a partir de dos programas estadísticos, el SPSS y el Microstat.

Además de las redes sistémicas se han utilizado otros instrumentos, algunos de ellos diseñados por nosotros (ver apartado 5.3.4 y 5.3.5.), para analizar los resultados en otras preguntas del cuestionario.

En nuestro trabajo disponíamos de cuatro grupos que hemos denominado Control y cinco grupos llamados Experimental con un tratamiento didáctico diferenciado, tal y como se explica en el capítulo 4. En ese mismo capítulo se detallan las características de las tres fases de la investigación en las que se recogieron y trataron los datos: Pretest, Posttest y Recordatorio.

A partir de los resultados obtenidos en el cuestionario en cada fase del estudio hemos utilizado diferentes pruebas estadísticas para dar respuesta a tres preguntas:

1. *¿Son homogéneos todos los grupos?* Queríamos saber si los diferentes grupos que forman parte de las agrupaciones Control y Experimental partían de un mismo nivel, es decir, si había diferencias significativas entre las concepciones de todos ellos. Para comprobarlo hemos utilizado el test de la U de Mann-Whitney para la comparación de dos grupos y el test de Kruskal-Wallis para la comparación de más de dos grupos.
2. *¿Ha habido cambio en las respuestas del alumnado?* Pretendemos averiguar si ha habido diferencias significativas en los resultados del cuestionario en el posttest en las diferentes agrupaciones y a qué pueden ser debidas. También hemos estudiado las posibles diferencias en el recordatorio. Lo hemos hecho aplicando el test de Wilcoxon de datos apareados.
3. *¿Qué grupos mejoran?* Otro de los motivos de la investigación es determinar si alguno de los dos tratamientos didácticos (Experimental y Control) se observa un cambio en las concepciones en el posttest y eventualmente en el recordatorio. Para determinarlo, hemos usado el test de la U de Mann-Whitney

Los test estadísticos que han sido utilizados pertenecen a lo que se conoce como estadística no paramétrica. Si bien es cierto que tiene menor potencia que la estadística paramétrica, hemos tenido que utilizarla porque trabajamos con variables no continuas que no siguen una distribución normal.

Al aplicar un test estadístico, obtendremos el valor de la probabilidad de ocurrencia de la hipótesis nula (p) que nos hará rechazar o aceptar la hipótesis

nula. En principio, y siguiendo la práctica habitual de la estadística inferencial, los valores por debajo de 0.05 nos harán decidir que existen diferencias significativas entre los grupos que se comparen. Sin embargo, Stoehr (1999) afirma que el hecho de decidimos a rechazar o aceptar la hipótesis nula cuando aparecen probabilidades muy cercanas a 0.05 nos puede hacer tomar decisiones no siempre acertadas. Por ejemplo, en dos experimentos similares con un tamaño muestra diferente, el valor de p puede ser diferente y por tanto hacernos tomar decisiones contrapuestas, aun evidenciándose los mismos efectos en los dos experimentos. De la misma manera, Kirk (1996) considera que intervienen valores subjetivos a la hora de tomar una decisión u otra. Por estas razones, valores de probabilidad próximos a 0.05 son considerados, marginalmente significativos.

Un nivel de significación de 0.05 supone un grado de exigencia a la significación considerablemente alto. En este sentido, vale la pena señalar que en la investigación sobre la eficacia de una unidad didáctica de genética llevada a cabo por Ayuso (2000), llegó a considerar como significativos valores de la probabilidad de hasta 0.10 siguiendo los criterios de Downie y Heath (1982).

5.3.3. Redes sistémicas

Ya comentamos en el apartado anterior que una de las formas de categorizar las respuestas del alumnado y de representar sus esquemas conceptuales son las redes sistémicas de Bliss et al. (1983). No es muy extendido su uso en investigación en didáctica de la genética, pero es destacable el trabajo de Albadalejo y Lucas (1988) sobre la idea que tienen los alumnos sobre el concepto de mutación. Nosotros hemos confeccionado redes sistémicas a partir de una pregunta abierta del cuestionario y de dos preguntas en la que se pide al alumno que dibuje:

Pregunta abierta: *¿Qué función tienen los cromosomas?*

Pregunta-dibujo: *¿Dónde se encuentran los genes? Haz un dibujo o esquema que lo muestre.*

Pregunta-dibujo: *¿Dónde se encuentran los cromosomas? Haz un dibujo o esquema que lo muestre.*

Hasta la fecha no hemos encontrado en la bibliografía ninguna referencia sobre trabajos en didáctica de la genética que hayan utilizado esta técnica en el análisis de dibujos que pretenden mostrar las concepciones del alumnado.

La elaboración de las redes sistémicas aplicadas a dibujos es algo más compleja que las realizadas con preguntas de respuesta abierta. En este último caso la diversidad es menor y la categorización es relativamente sencilla. Mientras que en la pregunta de respuesta abierta es más fácil proceder a la categorización, el proceso se complica a la hora de estudiar los dibujos. En

cualquiera de los dos casos los pasos para construir una red sistémica son los mismos. Nosotros hemos establecido diferentes fases antes de la confección definitiva de la red sistémica. Son las siguientes:

- 1. Análisis panorámico:** En esta primera fase hemos estudiado visualmente las diferentes respuestas para poder realizar una primera aproximación que permita evitar sesgos en la categorización.
- 2. Determinación de estructuras biológicas presentes:** Una vez tenemos una visión panorámica y global de las ideas de los alumnos, buscamos aquellas respuestas que hacen referencia a estructuras biológicas que se repiten o presentan un patrón determinado o bien dibujos que muestran dichas estructuras. En el caso de las representaciones gráficas, a veces no aparecen partes de células sino órganos o incluso partes enteras del cuerpo. Por ejemplo, pueden encontrarse dibujos de todo el cuerpo y flechas que señalan las venas de los brazos o de la cabeza.
- 3. Eliminación de incongruencias:** Algunas creaciones gráficas o respuestas carecen de lógica y en lugar de aportar información sobre las concepciones de los alumnos sobre lo que se pregunta pueden suponer un estorbo a la hora de su análisis y pueden falsear los resultados. Un ejemplo sería el dibujo de un círculo en el que aparece un cuadrante en la zona superior que es señalado por el alumno como "cerebro". Este tipo de creaciones, muy poco frecuente, no aporta ningún tipo de información relevante de las concepciones del alumnado sobre la ubicación del material hereditario y no encuentra una posición en la red sistémica. Sin embargo, manifiesta una situación en los alumnos que es didácticamente conflictiva y que ha de ser tratada durante la intervención didáctica. Se ha procedido a la eliminación de incongruencias siguiendo el criterio utilizado por Albadalejo y Lucas (1988).
- 4. Agrupación de elementos comunes:** Observamos que muchas de las estructuras dibujadas pueden agruparse en base a criterios estructurales, como podría ser la aparición o no de células en los dibujos, la presencia o ausencia de núcleo en células, etc. En el caso de la pregunta de respuesta abierta también aparecen grandes conceptos repetidos y que son comunes.
- 5. Subclasificación de elementos comunes:** A partir de la agrupación de los elementos comunes se puede constatar que aparecen ramificaciones en los mismos que permiten sistematizar categorías sucesivas y de rango decreciente.
- 6. Codificación de las categorías:** Cada una de las categorías establecidas es denominada con una letra o un número. Por tanto, cada creación tendrá un código que hará referencia a todos los elementos que aparecen en el dibujo. Ello permite conocer la frecuencia de cada código y facilitará su estudio cualitativo y cuantitativo posterior.

7. **Elaboración de la primera red:** Se confecciona la red sistémica de manera que a partir de las categorías más generales se van abriendo subcategorías más específicas.
8. **Elaboración de la red sistémica definitiva:** Una vez elaborada la primera red ha de comprobarse que los dibujos se ajustan al modelo creado. Pero además ha de realizarse el proceso inverso, es decir, verificar que la red sistémica es un reflejo de las creaciones del alumnado y que cualquier respuesta puede tener cabida en ella.

1) Codificación de la red sistémica

Para poder trabajar con más comodidad las respuestas del alumnado, hemos codificado cada una de las categorías. A cada una de las diferentes categorías que se han establecido y que figuran en la red sistémica se le asigna un código que puede ser un número o una letra. El criterio para el establecimiento de los códigos es arbitrario y responde a una búsqueda de la eficacia cuando se intenta clasificar las respuestas. Valga como ejemplo el que se ha utilizado en el análisis de las concepciones del alumnado sobre la función de los cromosomas (ver capítulo 6).

CATEGORÍA	CÓDIGO
Hace referencia a información	I
No hace referencia a información	II
Utiliza conceptos científicos	A
No utiliza conceptos científicos	B
Conceptualmente correcta	1
Conceptualmente incorrecta	2
Hace referencia a llevar	P
Hace referencia a transmitir	T
Hace referencia a la célula	C
Utiliza términos de genética	G
Hacer referencia a ordenar	D
Hace referencia a la división	M
Otras	x

Tabla 5.1. Ejemplo de categorización de una red sistémica

Dado que cada respuesta se puede desglosar en diferentes categorías de las establecidas en la red sistémica, la unión de los diferentes códigos de cada categoría nos indicará el lugar exacto de cada respuesta en la red.

Aportamos ahora un ejemplo de codificación de la pregunta referida anteriormente:

Respuesta Alumno 1: *Contienen genes que contienen información hereditaria:*
IA1G

Respuesta Alumno 2: *Transmitir información:* IBT

Respuesta Alumno 3: *La formación del individuo*: IIB

2) Cuantificación de la red sistémica

Para poder obtener una aproximación más precisa y que nos permita un tratamiento estadístico más cómodo, hemos cuantificado cada una de las categorías de la red sistémica. Cada categoría ha recibido un valor numérico, mayor cuanto más se aproxime al conocimiento científico correcto. Cada respuesta o cada dibujo puede pertenecer a diferentes subcategorías y como cada una de ellas recibe un valor, la suma total de cada uno de ellos será el que finalmente tendrá asignado la respuesta que haya realizado el alumno.

Así, hemos dado los siguientes valores a algunas de las categorías mostradas en la tabla del apartado anterior:

CATEGORÍA	CÓDIGO	CUANTIFICACIÓN
Hace referencia a información	I	2
No hace referencia a información	II	1
Utiliza conceptos científicos	A	1
No utiliza conceptos científicos	B	0
Conceptualmente correcta	1	3
Conceptualmente incorrecta	2	0

Tabla 5.2. Ejemplo de categorización y cuantificación de una red sistémica.

Otras valoraciones no mostradas en la tabla pero que se derivan del análisis de la red sistémica son:

Responde: 1 punto

No responde: 0 puntos

Por otra parte, el grado de elaboración y de rigor de la respuesta del alumnado, también ha sido tenido en cuenta:

Respuesta elaborada: 1 punto

Respuesta no elaborada: 0 puntos

De esta manera, los ejemplos anteriores tendrían la siguiente valoración

Contienen genes que contienen información hereditaria: IA1G: 6 puntos

Transmitir información: IBT: 2 puntos

La formación del individuo: IIB: 1 punto

Esta valoración de cada una de las respuestas, que se ha hecho en el pretest, en el postest y en el recordatorio, la hemos definido como *Índice de la red*. Conociendo el valor del índice de la red, podremos tener una aproximación del grado de corrección de la respuesta del alumno.

Por tanto, la respuesta que más se ajuste al conocimiento científico correcto tendrá un valor máximo del índice de la red. Es de esperar, si la docencia ha tenido efectivamente un impacto, que el índice que presente un alumno en el postest sea superior a la del pretest. En capítulos posteriores se muestran las cuantificaciones de cada una de las redes sistémicas que se han elaborado en esta investigación.

5.3.4. Modelos de aprendizaje

En cada una de las tres fases de la investigación (pretest, postest y recordatorio), los alumnos pueden manifestar una misma concepción o bien pueden haberla cambiado. Esta evolución diferente del aprendizaje puede ser debida a diferentes factores, como los prerrequisitos conceptuales de que disponga, motivación por el tema en estudio, destrezas cognitivas, etc. De esta manera, las creaciones que un alumno pueda realizar en el pretest pueden verse modificadas tras la docencia. También es posible que unos meses después las respuestas que realice sean similares al pretest, al postest o difieran de ambos.

Los modelos de aprendizaje que ahora describiremos se han aplicado a las concepciones que los alumnos han manifestado en las respuestas a las cuestiones en las que se pedía al alumno que hiciera algún dibujo, como son la localización de los genes y de los cromosomas, y en la pregunta en la que se interrogaba sobre la función de los cromosomas. El estudio de las concepciones mostradas por los alumnos se ha concretado en la confección de redes sistémicas y en la determinación del índice de red, tal y como se explicó en el apartado anterior.

Hemos analizado la tendencia de cada uno de los alumnos en las tres fases comparándolas entre sí con la finalidad de detectar posibles modelos de aprendizaje en la evolución del mismo. Para ello hemos utilizado el índice de la red de cada alumno, obtenido a partir de la cuantificación de su respuesta y por lo tanto, cada alumno tiene un índice de red correspondiente al pretest, al postest y al recordatorio.

Si un alumno muestra un índice de red con un valor superior en el postest que en el pretest, nos indica un impacto positivo de la docencia. También hemos analizado qué índice de red presenta en el recordatorio, de manera que puede ser mayor o menor que en el postest y también diferenciarse del pretest.

Se ha hecho un análisis de todas las posibles tendencias del índice de red en cada una de las tres fases en todos los alumnos y se han obtenido diferentes modelos. Posteriormente hemos establecido una gradación desde el modelo óptimo y deseable hasta el menos ideal, valorándolos de mayor a menor.

A continuación presentamos a título de ejemplo los modelos que hemos detectado en el análisis de las concepciones de los alumnos sobre la cuestión

¿Dónde se encuentran los cromosomas? Haz un esquema o dibujo que lo indique. (Ver capítulo 6)

Modelo	Evolución Pretest-Postest	Evolución Postest-Recordatorio	Valoración
1	Índice mejora	Índice mejora	6 (Modelo óptimo)
2	Índice mejora	Índice se mantiene	5
3	Índice mejora	Índice empeora	4
4	Índice se mantiene	Índice mejora	3
5	Índice se mantiene	Índice se mantiene	2
6	Índice se mantiene	Índice empeora	1

Tabla 5.3. Ejemplos de modelo de aprendizaje

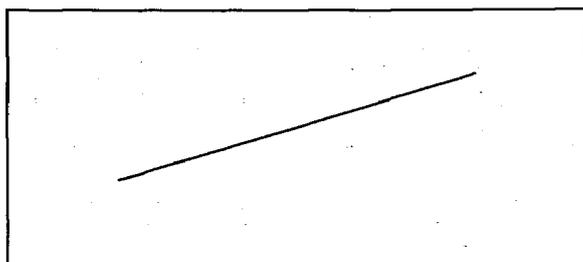
Consideramos que un modelo de aprendizaje en el que el resultado después de la instrucción es mejor que antes, y que meses después aún es mejor, indica un éxito de la propuesta didáctica y constituye el modelo óptimo. A partir de esta situación ideal, se pueden dar los casos que se muestran en la tabla mostrados de mejor a peor modelo deseable.

Una evolución positiva del índice desde el pretest al postest es siempre mejor valorada que si esta evolución se produce entre el postest y el recordatorio. Por tanto, aunque en el modelo 4 se observa una mejora postest-recordatorio, no lo hemos priorizado ante los 3 modelos que muestran una mejora del índice de la red entre el pretest y el postest.

Veamos unos ejemplos:

Alumno	Índice Pretest	Índice Postest	Índice Recordatorio	Evolución Pretest-Postest	Evolución Postest-Recordatorio	Modelo asignado	Valoración
1	2	4	4	Índice mejora	Índice se mantiene	2	5
2	3	4	5	Índice mejora	Índice mejora	1	6

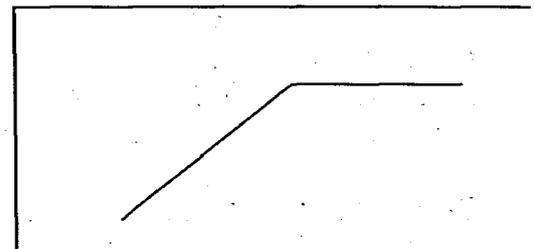
Evolución del índice



Pretest – Postest- Recordatorio

MODELO 1

Evolución del índice



Pretest - Postest -Recordatorio

MODELO 2

Análisis de los modelos de evolución del aprendizaje

Si existen diferencias en el proceso académico de los alumnos en función del tratamiento didáctico al que hayan sido sometidos, habrá modelos distintos. Por esta razón hemos analizado los diferentes tipos de modelos que se presentan en las agrupaciones establecidas, recordando que corresponden a dos tratamientos didácticos diferenciados.

El estudio lo hemos llevado a cabo de manera cuantitativa a través del test de Kruskal-Wallis, que nos permite conocer si existen diferencias significativas entre las agrupaciones. Por otra parte hemos realizado también un análisis cualitativo sobre la presencia de determinados modelos de aprendizaje en las agrupaciones de alumnos.

5.3.5. Índice de mejora

Hemos diseñado un índice que tiene como objetivo determinar el grado de mejora en las concepciones del alumnado desde el pretest hasta el postest.

Cada respuesta del cuestionario considerada científicamente correcta ha sido valorada con 1 punto, mientras que las respuestas incorrectas recibían 0 puntos. La suma de los valores nos ha dado un valor determinado, siendo el máximo 10. Por tanto, cada alumno tiene una valoración en el pretest, en el postest y en el recordatorio. Cabe esperar que después de la docencia, si ésta ha sido capaz de permitir reorganizar sus ideas al alumnado, la valoración del test mejore y que se obtengan valores superiores en el postest que en el pretest. En el caso de las redes sistémicas la valoración máxima no ha sido 10 sino la que corresponde a un índice de red máximo.

Ahora bien, el hecho de obtener un valor mayor en el postest que en el pretest, no siempre implica una mejora desde el punto de vista conceptual. Supongamos que el alumno A ha obtenido en el pretest una puntuación de 8 y en el postest de 9. Se obtiene una mejora de un punto que nosotros hemos llamado *diferencial*. Supongamos ahora que el alumno B pasa de un 2 en el pretest a un 9 en el postest: aunque llegan a un mismo valor, su diferencial es de 7. ¿Qué alumno ha mejorado más el A o el B? A pesar de que los dos llegan a un mismo punto, la evolución ha sido distinta. Para determinar qué alumno ha mejorado más, a partir del punto del que partía hemos diseñado el *Índice de mejora (IM)*.

El índice de mejora se obtiene de dividir lo que realmente ha mejorado un alumno (el diferencial entre postest y el pretest) y lo que podrían haber mejorado (10 – pretest):

$$\text{Índice de mejora (IM)} = \frac{\text{POSTEST} - \text{PRETEST}}{10 - \text{PRETEST}}$$

Veamos un ejemplo:

Valoración en el pretest = 5
 Valoración en el postest = 6.6
 Diferencial = 1.6
 IM = 0.32

Es deseable un valor próximo a 1 que representa la máxima mejora posible. Un valor de 0 indica que no ha habido ningún cambio respecto de las ideas manifestadas en el pretest. Pueden darse incluso valores negativos, que mostraría una valoración peor en el postest que en el pretest.

Consideramos que este índice nos da una idea más exacta de la verdadera mejora en la concepciones del alumno después del proceso de enseñanza-aprendizaje. Mostramos ahora el caso de los alumnos A y B comentados anteriormente:

	Pretest	Postest	Diferencial	Índice de mejora
Alumno A	8	9	1	0.50
Alumno B	2	9	7	0.87

A partir de los valores de los índices de mejora se han aplicado los mismos tests estadísticos que se detallan en el apartado 5.3.2.

5.4. JUSTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA UTILIZADA

La orientación de la metodología utilizada a lo largo de la investigación es de tipo experimental. Hemos seleccionado dos muestras que han sido sometidas a diferente tratamiento didáctico, una es la llamada Control y la otra la Experimental.

El tratamiento y análisis de las datos se ha llevado a cabo desde una perspectiva cuantitativa, estando plenamente de acuerdo con Bisquerra (1989) en su consideración de que esta metodología es perfectamente aplicable a la didáctica de las ciencias y también desde una perspectiva cualitativa. Consideramos que ambas metodologías son complementarias y pueden y

deben usarse conjuntamente. En este sentido, las redes sistémicas constituyen una técnica cualitativa realmente eficaz.

Los datos cuantitativos obtenidos corresponden a las concepciones del alumnado sobre diferentes aspectos de la naturaleza del material hereditario y los mecanismos de transmisión de la herencia biológica. El tratamiento de estos datos con diferentes instrumentos que hemos diseñado permite su análisis por procedimientos matemáticos y estadísticos. En este sentido, la utilización del paquete estadístico SPSS nos ha parecido lo más acertado, dada la gran potencia de los test que permite aplicar, la versatilidad del programa y la fiabilidad que nos proporciona el haber trabajado en este entorno informático desde hace años.

Consideramos que los resultados que se pueden obtener con la metodología que hemos utilizado son perfectamente objetivables y permiten una comparación de las diferentes muestras entre sí y a lo largo del tiempo.

Ahora bien, en nuestra opinión, el uso de la metodología cuantitativa debe ir acompañado de un análisis cualitativo de los resultados. En este sentido, consideramos necesario estudiar detenidamente las concepciones del alumnado y cómo se modifican a lo largo del tiempo por la acción educativa o bien determinar qué razones hacen que persistan en el alumnado ideas alternativas.

Este estudio cualitativo debe realizarse comparando los dos tratamientos didácticos en cada una de las muestras de alumnos. De esta manera, los resultados obtenidos a partir de la metodología cuantitativa se verán completados o matizados por este análisis cualitativo, fundamentalmente el análisis de las redes sistémicas.

A lo largo de nuestra investigación hemos utilizado diferentes instrumentos y técnicas de obtención y análisis de los datos. En los siguientes apartados detallamos las razones que nos han decidido a utilizarlos.

1) Cuestionario

Es fundamental que un cuestionario pueda recoger datos de manera rigurosa y objetiva, además de proporcionar validez, fiabilidad y practicidad (Latorre et al., 1996).

El cuestionario que hemos diseñado se compone de tres tipos de pregunta diferente:

- pregunta de respuesta múltiple.
- pregunta de respuesta abierta.
- pregunta de respuesta en forma de dibujo.

La combinación de estos tres tipos de cuestión nos da una gran cantidad de información sobre las concepciones del alumnado acerca de la genética. Otro

aspecto a favor del tipo de cuestionario que hemos diseñado consiste en que permite un tratamiento estadístico fácil y ágil, además de una gran fiabilidad.

Las preguntas de respuesta abierta a contestar de forma escrita o bien en forma de dibujo, permite detectar errores conceptuales y también la relación con otros conceptos que pudieran pasar desapercibidos.

Las preguntas en las que se pide al alumnado que dibujen dónde se localiza el material hereditario también suministran mucha información y por eso hemos considerado importante su inclusión. Existen algunos trabajos que utilizan esta técnica en la detección de concepciones alternativas como los de Giordan y de Vecchi (1988), Muñoz (1999), Muñoz y Puigcerver (2001), Íñiguez y Puigcerver (2001) o Íñiguez (2005). Ahora bien, no se utiliza de forma general en investigaciones que estudian las concepciones del alumnado sobre diferentes aspectos de la Ciencia y nos ha parecido oportuno apuntar una posibilidad más en esta línea investigadora.

2) Redes sistémicas

Uno de los formatos más utilizados para mostrar las ideas de los alumnos y cómo se relacionan entre ellos son los mapas de conceptos (Novak, 1982). Pero existen otros instrumentos que permiten representar los esquemas conceptuales del alumnado, como las redes sistémicas (Bliss et al., 1983), que ya ha sido utilizado en estudios sobre el concepto de mutación (Albadalejo y Lucas, 1988). Nos hemos decidido a utilizar este tipo de instrumento por varias razones:

- Ha sido poco utilizado en investigaciones sobre concepciones del alumnado y creemos que nosotros podemos aportar nuevos puntos de vista para posteriores estudios.
- Permite una visualización rápida y sencilla de las estructuras conceptuales del alumnado.
- Nos da información sobre cómo se encuentran jerarquizados y relacionados los conceptos en los esquemas conceptuales del alumnado.
- Permite una categorización sencilla de las concepciones del alumnado.
- Es posible una codificación de las categorías que facilita su tratamiento estadístico.

En suma, es un instrumento realmente potente, y que nos ha permitido relacionar con facilidad las concepciones del alumnado, su categorización y su tratamiento estadístico, aspecto este último que no hemos encontrado publicado durante nuestra búsqueda bibliográfica.

Otro aspecto que queremos destacar es la utilización de las redes sistémicas en la representación de las concepciones del alumno, obtenidas a partir de la elaboración de dibujos sobre la ubicación del material hereditario.

3) Modelos de aprendizaje

Las concepciones que el alumnado ha presentado antes de la docencia pueden acercarse a la corrección científica gracias a la acción educativa o bien permanecer inalterables. En algunos casos, hemos detectado nuevos errores conceptuales o bien una profundización en los ya manifestados después de la docencia.

Por tanto, las concepciones del alumnado pueden cambiar hacia una corrección científica, permanecer inalterables o bien aumentar. Para determinar con claridad la evolución de las ideas del alumnado a lo largo de las fases de la investigación, hemos analizado los diferentes modelos de aprendizaje, entendidos como las diferentes posibilidades de evolución del rendimiento académico y de las concepciones del alumnado a lo largo del periodo de toma de datos.

Al estar basado en el índice de la red, nos sitúa numéricamente cada alumno en un punto determinado y bastante exacto, dentro de los esquemas conceptuales del conjunto del alumnado.

Cada alumno sigue un modelo de aprendizaje determinado y, por consiguiente, podemos estudiar fácilmente la evolución que las concepciones del alumnado han seguido en los diferentes grupos y en los diferentes tratamientos.

Finalmente, es fácil estudiar la presencia de determinados modelos en las diferentes agrupaciones desde el punto de vista estadístico. Al tener cada modelo una cuantificación, podemos aplicar los tests estadísticos utilizados en otros momentos de la investigación y obtener orientaciones bastante precisas sobre la evolución de las ideas del alumnado en el tiempo.

4) Índice de mejora

Estamos convencidos de que una metodología cuantitativa en un tipo de investigación como el que llevamos a cabo, puede darnos una gran cantidad de información que debe ser complementada con una abordaje cualitativo de los resultados.

Otro de los aspectos de nuestro trabajo donde se refleja esta convicción es en el diseño del índice de mejora. Nos indica cuánto han mejorado las concepciones del alumnado después de la aplicación de una secuencia didáctica. Ahora bien, no debe entenderse el término mejora desde el punto de vista de que una concepción sea mejor que otra, sino de qué manera las concepciones del alumnado se acercan a las consideradas científicamente correctas.

El valor de este índice, cuyo valor máximo es de 1, nos indica hasta qué punto el impacto docente ha sido lo suficientemente potente. Cada alumno ha recibido un valor del índice de mejora y, por tanto, podemos determinar la eficacia de un modelo didáctico u otro en cada individuo.

Con el índice de mejora evitamos la posible tendencia a considerar que un alumno que en el postest haya obtenido una positiva valoración del cuestionario indique necesariamente eficacia del modelo de enseñanza. El índice de mejora relativiza la valoración numérica de las concepciones y nos da una información más precisa del impacto del modelo de enseñanza.

El índice de mejora también puede ser objeto de tests estadísticos que permitan determinar las posibles diferencias significativas entre las agrupaciones en estudio en función del tipo de secuencia didáctica (tradicional o constructivista) llevada al aula.

5.5. UNA PROPUESTA DIDÁCTICA INNOVADORA

En el capítulo 3 describimos las características fundamentales de las secuencias didácticas que tratan sobre los mecanismos de la herencia basadas en un modelo tradicional de enseñanza.

Nuestra propuesta didáctica se fundamenta en un modelo de enseñanza-aprendizaje que tiene como referente los principios del constructivismo. En un primer apartado analizamos algunas de las sugerencias que proponen diversos autores sobre aquello que debe tenerse en cuenta para planificar una secuencia didáctica.

A continuación presentamos los objetivos didácticos que consideramos que deben alcanzar los alumnos una vez han finalizado los procesos de enseñanza-aprendizaje de la genética. Para determinar estos objetivos hemos tenido en consideración las referencias normativas, pero también nuestra propia experiencia profesional. Los objetivos que formulamos hacen referencia a conceptos, procedimientos y actitudes.

En un tercer apartado presentamos los modelos que hemos diseñado y utilizados durante la implantación de la secuencia didáctica.

Finalmente describimos las unidades en las que hemos dividido la secuencia y se explican de forma detallada cada una de las actividades propuestas.

5.5.1. FUNDAMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

En el capítulo 1 comentamos ampliamente el consenso existente entre los investigadores en didáctica de las ciencias, al cual nos sumamos, en abandonar los enfoques de enseñanza basados en la transmisión de información por parte del profesorado. Las actuales orientaciones en didáctica de las ciencias tienen el modelo constructivista como referente en lo que Novak (1988) denomina *consenso emergente*, aun estando en continua revisión y recibiendo diferentes aportaciones (Gil et al., 1999).

Coincidimos con Campanario y Moya (1999) cuando recomiendan el abandono de la noción de *método de enseñanza* y cambiarla por *estrategia de enseñanza*. Las estrategias de enseñanza que nosotros proponemos se concretan en unas determinadas actividades de enseñanza ubicadas a lo largo de la secuencia de contenidos.

Sánchez y Valcárcel (1993) proponen una estrategia para el diseño de unidades didácticas de Ciencias Experimentales. Estos autores consideran que deben acometerse cinco acciones cuando se pretende diseñar unidades didácticas:

- 1) *Análisis científico*. Tiene como objetivos estructurar los contenidos de enseñanza y la actualización científica del profesorado. Esta primera tarea incluye la selección de los contenidos y definir los conceptos, procedimientos y actitudes que se pretenden trabajar a lo largo de la unidad.
- 2) *Análisis didáctico*. En este segundo momento se debe llevar a cabo una exploración de las concepciones alternativas de los alumnos. Hay que tener en cuenta estas ideas al planificar la unidad didáctica y también prever qué conceptos que no forman parte de la unidad son requisitos conceptuales previos del aprendizaje de los nuevos conocimientos.
- 3) *Selección de objetivos*. Se deben tener en cuenta los objetivos que son prescriptivos desde el punto de vista de la Administración Educativa y aquellos que nosotros pretendemos que los alumnos alcancen, a partir de la determinación de los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales. Por tanto, esta selección de objetivos debe tener en cuenta el análisis científico y el análisis didáctico.
- 4) *Selección de estrategias didácticas*. Consiste en la concreción de la unidad didáctica en el aula a partir de unas normas que el profesor establece. Engloba cuatro aspectos: planteamientos metodológicos, secuencia de enseñanza, actividades de enseñanza y materiales de aprendizaje.
- 5) *Selección de estrategias de evaluación*. En esta última fase se delimitan los contenidos a evaluar, así como el momento y el instrumento para llevarla a cabo. Sánchez y Valcárcel citan a Coll et al. (1992), coincidiendo con ellos en que la función formativa de la evaluación debe tener en cuenta la situación de partida del alumnado, los progresos en la construcción de conocimientos y los conocimientos científicos adquiridos. En cualquier caso, las actividades de evaluación tienen que tener en cuenta los objetivos establecidos previamente.

Las unidades didácticas definidas a partir del modelo explicado se basan en el modelo del cambio conceptual de Posner et al. (1982) y tienen en el constructivismo su referente teórico.

Aliberas (1989) destaca algunas de las recomendaciones prácticas para el profesorado que se derivan del modelo de Posner et al. (1982):

1. Prestar atención a los procesos de asimilación y acomodación y no tanto a la extensión de los contenidos.
2. Proponer actividades que sean capaces de crear conflictos cognitivos para generar insatisfacción con las ideas previas.
3. Ayudar al alumnado a ser conscientes de sus propios esquemas conceptuales.
4. Utilizar modelos y metáforas a lo largo de la secuencia didáctica para favorecer la significación del concepto.

En este tipo de secuencias didácticas se proponen una serie de experiencias y actividades de enseñanza, a través de las cuales el alumno construye concepciones más próximas a la corrección científica. En estas actividades los alumnos y los profesores son elementos activos e interactúan de manera constante. Los alumnos no son meros receptores de información y los profesores animan a los estudiantes a explicitar sus ideas (Driver, 1986). Esta misma investigadora propone algunos pasos que una orientación didáctica basada en el modelo de cambio conceptual debe tener:

1. Identificación y clarificación de las ideas que ya poseen los alumnos.
2. La puesta en cuestión de las ideas de los estudiantes a través de contraejemplos.
3. Invención o introducción de conceptos.
4. Proporcionar oportunidades a los estudiantes para usar las nuevas ideas.

Por su parte, Hewson y Beeth (1995) proponen algunas recomendaciones que deberían incluirse en los programas de enseñanza que tengan como referente el modelo de cambio conceptual:

- 1) *Explicitar las ideas del alumnado.* Las ideas del alumnado han de ser expuestas en el aula de forma clara y al mismo nivel que las del profesor.
- 2) *Discusión del estatus de las ideas.* Una vez dadas a conocer las diferentes ideas se debe producir una discusión y negociación sobre el estatus de cada idea, teniendo en cuenta las opiniones propias y del resto de alumnos.
- 3) *Justificación de las ideas.* Los alumnos han de ser conscientes de que las nuevas concepciones son plausibles y útiles para aplicarlas a nuevas situaciones.

- 4) *El debate ha de considerar la metacognición.* Según los patrones metacognitivos del alumnado se aceptarán o no las nuevas ideas, es decir, si le ofrece respuestas a aspectos que las anteriores no le proporcionaban.

Entre las estrategias didácticas recomendadas por estos autores en el aula se encuentra el uso de analogías, modelizaciones, discusiones guiadas o comparaciones.

A pesar de que existen propuestas didácticas basadas en el modelo de cambio conceptual o bien otras orientaciones constructivistas, Campanario y Moya (1999) consideran que no se han observado resultados verdaderamente espectaculares. Entre las razones que apuntan destacaríamos algunas:

- a) las ideas previas son suficientemente resistentes incluso contra un modelo de enseñanza especialmente diseñado para erradicarlas.
- b) los cambios conceptuales no pueden considerarse sobre una población, sino sobre los individuos.
- c) los conflictos cognitivos que se quieren provocar en el alumnado no son lo suficientemente potentes como para que abandone sus concepciones iniciales.

Nosotros destacamos de manera especial un postulado de Dreyfus et al. (1990), con el que coincidimos plenamente, en gran parte por nuestra propia experiencia, según el cual las condiciones de conflicto cognitivo son bien recibidas por los alumnos más brillantes, mientras que en alumnos con dificultades en el aprendizaje no se da la misma situación o incluso la contraria.

Otro modelo para el diseño de unidades didácticas en ciencias basado en principios constructivistas son los programas-guía propuestos por Gil (1987). El principio básico es hacer que los alumnos se familiaricen con las características del trabajo y el razonamiento científico. En los programas-guía se plantea el aprendizaje como el "tratamiento de situaciones problemáticas abiertas que los alumnos pueden considerar de interés" (Gil et al., 1999). Gil y sus colaboradores proponen la metáfora del estudiante como "investigador novel", en el sentido de un joven científico que se integra en un equipo de expertos y que a partir de situaciones sencillas va adquiriendo destreza, siendo siempre guiado por el investigador experto, es decir, el profesor.

Un programa-guía incluye tres tipos de actividades:

- 1) *Actividades de iniciación.* Incluye la explicitación de las ideas del alumnado, las de sensibilización sobre el tema, etc.
- 2) *Actividades de desarrollo.* Se introducen los conceptos científicos y se plantean situaciones que requieran la emisión de hipótesis, diseños experimentales, manejo de los conceptos introducidos, etc.

- 3) *Actividades de acabado*. Se elaboran esquemas, mapas conceptuales y se lleva a cabo la evaluación del aprendizaje.

También tenemos que hacer referencia a la propuesta de los ciclos de aprendizaje de Lawson que Aliberas (1989) resume en tres fases:

1. *Exploración*. Consiste en actividades en las que los alumnos investiguen algún fenómeno y aporten diferentes puntos de vista que lo expliquen, verbalizando sus ideas.
2. *Invencción*. Se introducen los conceptos relacionados con las actividades de exploración.
3. *Descubrimiento*. Se aplica el nuevo concepto a diferentes situaciones cotidianas.

Por su parte, Sanmartí (2000) propone una serie de criterios que el enseñante debe tener en cuenta a la hora de diseñar las secuencias didácticas:

1) Criterios para la definición de objetivos.

Las prioridades que el enseñante tenga sobre qué deben aprender los alumnos hará que se diseñen actividades encaminadas a reforzar los contenidos curriculares que son fundamentales para el profesor. El profesorado parte de unas ideas propias acerca de las finalidades de la enseñanza científica y sobre qué considera importante enseñar y cómo hacer posible que el alumnado aprenda.

Los objetivos de una unidad didáctica deben ser pocos, realistas y aquéllos que se consideren básicos, de manera que se diseñen actividades que permita al alumnado alcanzar dichos objetivos.

2) Criterios para la selección de contenidos.

Los contenidos a seleccionar deben hacer referencia a conceptos; procedimientos y actitudes, de manera que el profesorado ha de ser consciente que la enseñanza de la ciencia no consiste tan sólo en la enumeración de hechos y teorías.

La selección de los contenidos y las actividades propuestas deben tener en cuenta esta clasificación para que el alumnado pueda alcanzar objetivos no únicamente de tipo conceptual.

3) Criterios para organizar y secuenciar los contenidos.

Para organizar y secuenciar los contenidos deben tenerse en cuenta los objetivos establecidos en la secuencia didáctica. Sanmartí propone el uso de mapas conceptuales, tramas de contenidos u otros esquemas para poder mostrar cómo se organizan los contenidos seleccionados.

Es necesario tomar decisiones fundamentadas didácticamente acerca del orden en el que los contenidos son presentados al alumnado. En este sentido, puede tenerse en cuenta la dificultad conceptual que entrañan algunos de ellos, el grado de abstracción que implica, su carácter más general o particular, etc.

4) Criterios para la selección y secuenciación de actividades.

A pesar de la importancia de la definición de objetivos y contenidos, se ha de tener en cuenta que el alumnado aprende a partir de las actividades. Ahora bien, no se construyen nuevos conocimientos a partir de una sola actividad sino a través de un conjunto de actividades organizadas y secuenciadas que permiten interacción entre el alumnado y el profesorado.

Sanmartí considera que las actividades no deben plantearse como porciones de información que se suministra al alumnado y que éste asimila, sino como el planteamiento de situaciones que permitan al alumnado actuar y que sus ideas evolucionen.

5) Criterios para la selección y secuenciación de las actividades de evaluación.

En el diseño de una unidad didáctica se debe tener en cuenta qué actividades de evaluación introducir, en qué momento y qué aspectos deben ser evaluables.

6) Criterios para la organización y gestión del aula.

Cuando se diseña una unidad didáctica también se debe prever el modelo de organización y de gestión del aula donde se desarrollará la unidad. Esto implica que el profesorado ha de decidir de qué manera se organiza el aula para que las ideas del alumnado puedan ser explicitadas, se produzca suficiente comunicación en el aula entre alumnos y entre éstos y el profesorado.

Durante las sesiones de clase se han tomado datos sobre el seguimiento de la secuencia didáctica a partir de diferentes elementos:

- 1) Observaciones llevadas a cabo durante la clase.
- 2) Interacción entre el profesor el alumno.
- 3) Respuestas obtenidas a las actividades o las preguntas que se formulaban.
- 4) Estrategias que utilizaban los alumnos para afrontar las actividades.
- 5) Manera con la que percibían e interpretan los modelos tridimensionales.

La información recogida en el diario del profesor se ha tenido en consideración para modular la secuencia didáctica a lo largo de su implantación. Pero además, ha servido para modificar actividades que no eran bien interpretadas por el alumnado, enfatizar aspectos que se han manifestado más resistentes al cambio conceptual, redefinir algunas actividades y problemas que se sugerían

y también para confeccionar unos modelos de cromosoma y mitosis y meiosis fácilmente comprensibles por el alumnado.

Otro aspecto que queremos destacar es el referente a la participación activa del profesorado durante la docencia. En un modelo de enseñanza tradicional, basado en la transmisión de información ya elaborada, el alumno tiene un papel pasivo. En un modelo constructivista como el nuestro, el papel del estudiante ha de ser protagonista y elemento activo en la construcción de nuevos conocimientos. Durante todo el proceso de enseñanza-aprendizaje, la interacción con el alumnado era continua, se pidió en múltiples ocasiones su participación en clase y se intentaba que verbalizase sus ideas. Sin embargo, no ha sido fácil conseguir este papel activo en los estudiantes, tal vez por la falta de experiencia en clases en las que ellos son los protagonistas, quizá por temor a manifestar en público concepciones que creen erróneas o incluso por vergüenza a hablar en público. Durante las primeras fases del proceso de enseñanza-aprendizaje hemos tenido que estimular a los estudiantes para que adquieran un papel más activo en la dinámica de la clase, lo que conseguíamos en los últimos momentos de la secuencia didáctica.

Es bien cierto que los aspectos emocionales del alumnado han de tenerse en consideración en todo proceso de enseñanza-aprendizaje. No todos los alumnos y alumnas de un mismo grupo tienen la misma confianza para expresarse en público y participar de manera activa en una clase. A nuestro juicio, también pueden intervenir otros elementos al margen de la actividad docente, como pudiera ser la ausencia de interés por el ámbito escolar.

En las actividades de debate no hemos querido centrarnos en un planteamiento clásico, sino que hemos propuesto diferentes modalidades, como el *role-playing* o el panel de expertos. Pretendíamos con ellos involucrar a alumnado que en otro formato de debate no participaría y proporcionar a la discusión una vitalidad y agilidad mayor. Hemos detectado que, mientras algunos alumnos siempre participan y manifiestan sus puntos de vista, otros alumnos presentan más reticencia a la hora de expresar sus opiniones.

Hemos visto algunas de las posibilidades que los investigadores en didáctica de las ciencias plantean y que tienen en común proporcionar enfoques alternativos a la enseñanza tradicional. Estos planteamientos se han concretado en algunas secuencias didácticas que consideramos de especial interés, como la propuesta por Núñez (1994) sobre la nutrición humana o Ayuso (2000) y Ayuso y Banet (2002) en el campo de la genética.

La propuesta didáctica que presentamos en este capítulo está basada en enfoques constructivistas y pretende conseguir un cambio conceptual en el alumnado a partir de una serie de estrategias didácticas. Pretendemos que el alumnado sea consciente de las concepciones que tiene sobre la estructura, naturaleza, ubicación y mecanismos de transmisión de la información hereditaria. Con el uso de analogías, modelos diseñados por nosotros, discusiones guiadas, planteamiento de problemas y otras estrategias que detallaremos más adelante, pretendemos provocar situaciones en los estudiantes que desemboquen en un cambio en sus ideas. Pretendemos que, a

partir de los esquemas conceptuales de partida, se produzca una adaptación a las concepciones científicamente correctas y que además persistan en el tiempo.

Si echamos un vistazo a las principales revistas de didáctica de las ciencias como *Science Education*, *International Journal of Science Education*, *Enseñanza de las Ciencias*, *Journal of Biological Education*, *Alambique*, entre otras, encontramos gran número de propuestas didácticas basadas en el modelo constructivista. Coincidimos con Campanario y Moya (1999) en que no hay una única receta para llevar al aula una secuencia didáctica alternativa al modelo tradicional y con un enfoque constructivista.

A la hora de diseñar nuestra secuencia didáctica no nos hemos ceñido estrictamente a ningún esquema concreto, sino que hemos tenido en cuenta aquellos aspectos que, en nuestra opinión, pueden ser útiles de las diferentes propuestas existentes.

5.5.2 Objetivos didácticos de nuestra propuesta didáctica

En el capítulo 3 comentamos ampliamente los objetivos didácticos que el currículum oficial establece en la Educación Secundaria Obligatoria. A partir del análisis científico y didáctico que proponen Sánchez y Valcárcel (1993), nosotros hemos establecido los objetivos referidos a conceptos, procedimientos y actitudes que consideramos imprescindibles en un programa de enseñanza-aprendizaje de genética.

Dado que el estudio de la herencia biológica incluye diferentes aspectos, como la estructura del material hereditario, su función, su localización, los mecanismos de transmisión, entre otros, hemos agrupado los objetivos referidos a conceptos en base a dichos elementos unificadores.

1) Objetivos de los contenidos conceptuales

Al acabar la secuencia didáctica los alumnos deberían haber alcanzado los siguientes objetivos:

a) Objetivos referidos a la estructura celular de los seres vivos

Antes de iniciar el estudio propiamente dicho de la genética es necesario abordar algunos aspectos de la Teoría Celular. Muchos alumnos no conocen la presencia de células en determinados organismos ni tampoco la existencia de información hereditaria. Por esta razón los primeros objetivos a conseguir son los referidos al conocimiento de la presencia de células en todos los seres vivos y la existencia de una información hereditaria presente en el núcleo de las células eucariotas.

1. Reconocer que todos los seres vivos están formados por células.

2. Reconocer que la célula es la unidad funcional y estructural de los seres vivos.
3. Distinguir la existencia de organismos unicelulares y organismos pluricelulares.
4. Conocer que todos los seres vivos contienen información hereditaria.
5. Conocer que todas las células de un mismo organismo contienen la misma información hereditaria.

b) Objetivos referidos a la estructura del material hereditario

Una vez que los alumnos conocen la estructura celular de los seres vivos y la presencia de núcleo, deben conocer cómo se estructura y organiza la información hereditaria. Por esa razón, deben conocer conceptos como ADN, cromosoma y gen y relacionarlos estructuralmente.

1. Conocer, como primera aproximación, la estructura de la molécula de ADN.
2. Conocer la estructura de los cromosomas y su relación con la molécula de ADN.
3. Distinguir los conceptos de cromosoma y cromátida.
4. Conocer la estructura de los genes y su relación con el ADN y los cromosomas.
5. Conocer los conceptos de genotipo y fenotipo.

c) Objetivos referidos a la localización de la información hereditaria

Además de conocer la estructura de la información hereditaria, los alumnos han de saber localizarla en el contexto celular y en los diferentes momentos del ciclo celular, como la mitosis o meiosis.

1. Conocer la localización de la molécula de ADN.
2. Conocer la localización de los genes y su relación con los cromosomas y ADN
3. Conocer la localización de los cromosomas, reconociendo la estructura de una célula en división celular.

d) Objetivos referidos a la función del material hereditario

Un paso más en el conocimiento de la información hereditaria es saber qué función tiene y de qué manera se expresa dicha información. Conocer la

función del material hereditario el alumnado también implica relacionar las estructuras implicadas y su localización.

1. Conocer la función de la molécula de ADN.
2. Distinguir genes y alelos y conocer su función.
3. Conocer los conceptos de homocigoto y heterocigoto.
4. Distinguir los conceptos de dominancia, recesividad, codominancia y herencia intermedia.

e) Objetivos referidos a los mecanismos de transmisión de la información hereditaria

Para acabar de cerrar el círculo del conocimiento del material hereditario, es necesario que el alumno conozca los mecanismos de transmisión de la información hereditaria. No puede concebirse una secuencia didáctica para la enseñanza de la genética si no se incide en los mecanismos celulares que hacen posibles la transmisión de dicha información. Esto implica el estudio de la mitosis y la meiosis, así como los procesos de fecundación y formación del cigoto.

1. Conocer el concepto y función de los gametos.
2. Distinguir entre célula haploide y célula diploide.
3. Conocer el concepto de cigoto.
4. Reconocer los procesos de división celular de mitosis y meiosis como mecanismos de transmisión de información hereditaria.
5. Conocer el papel de la mitosis como forma de división asexual.
6. Conocer el papel de la meiosis como proceso de formación de gametos y de origen de diversidad genética.

f) Objetivos referidos a la resolución de problemas

Los procesos de resolución de problemas son imprescindibles en una propuesta de enseñanza aprendizaje de la genética. Los problemas pueden suponer ejercicios de aplicación de conceptos y también el planteamiento de situaciones en las que el alumno puede desarrollar pequeñas investigaciones.

1. Conocer y saber utilizar la nomenclatura utilizada en la resolución de problemas de genética.
2. Aplicar los procesos de meiosis en la resolución de problemas.

3. Resolver problemas de genética con un patrón de herencia conocida.
4. Resolver problemas de genética en los que se desconoce el patrón de herencia.

g) Objetivos referidos a las técnicas de manipulación genética

En los inicios del siglo XXI no puede entenderse un estudio de la genética sin hablar de aspectos relacionados con la manipulación genética. Los objetivos descritos con anterioridad deben servir para poder alcanzar otros objetivos relacionados con el conocimiento de las técnicas más habituales de ingeniería genética, al menos a un nivel de iniciación.

1. Conocer las técnicas más habituales de reproducción asistida.
2. Conocer algunas de las técnicas de obtención de organismos transgénicos y su aplicación en agricultura, ganadería y medicina.
3. Conocer algunas de las posibilidades de la terapia génica.
4. Conocer algunas de las técnicas para la obtención de clones.
5. Conocer las investigaciones relacionadas con el Proyecto Genoma Humano.

2) Objetivos de los contenidos procedimentales

Los objetivos referidos a contenidos procedimentales no han sido desglosados de la misma manera que los objetivos conceptuales, ya que los procedimientos pueden ser trabajados a lo largo del desarrollo de toda la secuencia.

Los objetivos procedimentales que al acabar la secuencia didáctica los alumnos deberían haber conseguido son los siguientes:

1. Poder diseñar protocolos de pequeñas investigaciones en las que se deban plantear hipótesis, distinguir y aislar variables y obtener conclusiones.
2. Saber construir árboles genealógicos o pedigrís.
3. Saber interpretar textos científicos, determinando las ideas principales.
4. Interpretar la información recogida en esquemas, gráficos y cuadros.
5. Saber expresar de forma correcta la información recogida de manera escrita, oral y gráficamente.
6. Conocer la terminología científica sobre la herencia biológica y saber aplicarla a nuevas situaciones.

7. Ser capaz de obtener información sobre aspectos relacionados con la genética y compilarla de forma ordenada y clara.
8. Participar de forma activa en debates, utilizando los términos y conceptos estudiados.
9. Poder construir modelos de estructuras biológicas y aplicar los conceptos estudiados sobre ellos.

3) Objetivos de los contenidos actitudinales

En los objetivos referidos a contenidos actitudinales tampoco podemos distinguir claramente entre diferentes aspectos, ya que algunos de los contenidos actitudinales se pueden trabajar a lo largo de toda la secuencia didáctica.

El trabajo de los contenidos actitudinales en el aula a lo largo de la implantación de nuestra secuencia didáctica, no ha sido llevado a cabo con la misma intensidad que los contenidos conceptuales y procedimentales. A nuestro juicio, las actitudes requieren un intervención mucho más prolongada en el tiempo y ejercitada de manera transversal. No obstante, se han propuesto actividades en las que los objetivos a alcanzar son básicamente actitudinales, especialmente aquellas que hacen referencia a las técnicas de manipulación genética.

Los objetivos actitudinales que los alumnos deberían alcanzar al acabar la docencia son:

1. Reconocer la existencia de diversidad entre los miembros de una misma especie.
2. Valorar la importancia de estar bien formado en genética para valorar las noticias que los medios de comunicación difunden sobre los avances en ingeniería genética.
3. Valorar el papel de las investigaciones en genética en campos como la agricultura, medicina o ganadería.
4. Valorar la importancia de las técnicas de reproducción asistida.
5. Valorar de manera crítica las implicaciones de la obtención de organismos y alimentos transgénicos.
6. Valorar de manera crítica las técnicas de manipulación genética y la terapia génica.
7. Identificar y valorar los problemas y ventajas de la clonación y de todas las técnicas de ingeniería genética.

8. Valorar la importancia del conocimiento del Genoma Humano y sus repercusiones en medicina

5.5.3. Una propuesta didáctica innovadora

La secuencia didáctica que hemos diseñado pretende que el alumnado pueda alcanzar los objetivos didácticos que han sido descritos en el apartado anterior. En este apartado describiremos las características de las estrategias didácticas de la secuencia y los contenidos que la conforman. En todo momento, el alumno es protagonista del proceso de enseñanza-aprendizaje y el profesor adquiere un papel de orientador, de moderador de las discusiones y de introductor de nuevas ideas. Es necesario que las ideas de los alumnos se expliciten en el aula y que las actividades que se propongan sean puestas en común. También es necesario la explicitación de ideas y conceptos nuevos por parte del profesor de manera oral y con el apoyo de material escrito de soporte.

Las estrategias didácticas presentes en la secuencia que proponemos se pueden concretar en tres fases que presentamos en el siguiente cuadro original a partir de Sánchez y Valcárcel (1993) y Ayuso y Banet (2002).

FASE	ACTUACIÓN
<i>Iniciación</i>	Utilización de instrumentos para la detección de las ideas de los alumnos. Explicitación de las ideas de los alumnos. Discusión en el grupo-clase de las diferentes ideas mostradas. Sensibilización y motivación sobre el tema.
<i>Reestructuración de ideas</i>	Introducción de conceptos. Planteamiento de situaciones conflictivas o problemáticas. Búsqueda de información. Confrontación de las ideas del alumnado con las nuevas informaciones.
<i>Aplicación de las nuevas ideas</i>	Planteamiento de actividades donde poner en práctica las nuevas ideas. Realización de debates.

Tabla 5.4. Fases de la secuencia didáctica.

La detección de las concepciones alternativas del alumnado nos ayudará a seleccionar los contenidos y las actividades de enseñanza-aprendizaje. No obstante, la abundante bibliografía existente sobre las ideas que los alumnos tienen sobre los mecanismos de la herencia biológica descrita en el capítulo 2, nos indica que los estudiantes no llegan al aula sin ninguna concepción. En

todo caso, es necesario utilizar instrumentos de detección de ideas previas y someterlas a discusión en el aula.

La enseñanza de la genética ha de formar parte del proceso de alfabetización científico-biológica que debe ser predominante en toda la educación secundaria, no únicamente en este campo de la biología, sino de todas las ciencias en general (Cañal, 2004). Por eso, coincidimos con Wood-Robinson et al. (1998) en la importancia de que los conocimientos en genética juegan un papel importante en la formación científica de la población. Estos reputados investigadores en didáctica de la genética de la Universidad de Leeds, consideran que la formación en ciencias en general y en genética en particular, ha de ser *útil* para que pueda aplicarse a situaciones cotidianas (reproducción asistida,...), ha de ser *democrática*, para que permita tener un criterio sobre debates o informaciones de interés público relacionados con la ciencia (terapia génica, alimentos transgénicos,...) y ha de proporcionar *cultura*, considerando que tal vez es igual de valioso conocer que Mendel es el padre de la genética como que Dante es el autor de *La divina comedia*. Por esto, consideramos que una propuesta didáctica para la enseñanza de la genética ha de tener en cuenta estos aspectos y han de trabajarse a lo largo de su implementación en el aula.

a) Fase de iniciación

En las actividades de la fase de iniciación se pretende que el alumnado conozca sus ideas sobre los contenidos que se van a trabajar. Una de las estrategias que llevamos a cabo es la explicitación directa por parte del profesor de las respuestas que se obtuvieron en el cuestionario inicial. A partir de esta presentación de las concepciones de los estudiantes, el propio alumnado puede aportar elementos de discusión durante la puesta en común.

Es preciso hacer constar la dificultad que tienen los alumnos en verbalizar sus ideas y participar de manera activa en la clase. En este sentido, el papel del profesor ha sido muy importante para animar a los estudiantes a participar y ser conscientes de que las concepciones que puedan tener, a menudo son compartidas por otros compañeros. Tal vez haya que buscar la explicación a esto por la falta de experiencia de los alumnos en una dinámica de clase como la que hemos propuesto.

Otro tipo de actividades de iniciación pretenden constituir un elemento de motivación o sensibilización sobre el tema que se estudiará, como los diálogos entre supuestos alumnos de un instituto que hemos introducido.

b) Fase de reestructuración de ideas

En esta segunda fase se produce la introducción de conceptos a través de la explicitación por parte del profesor de manera oral, con el soporte de la pizarra y con la ayuda de documentación escrita.

Además de la introducción de nuevas ideas por parte del profesor, se pide al alumnado que busque por su cuenta información que ayude a completar los conceptos trabajados.

También se plantean situaciones en las que las ideas del alumnado deban confrontarse con las nuevas ideas aportadas y científicamente correctas. Esta confrontación puede plantearse también a través de situaciones conflictivas o problemáticas.

c) Fase de aplicación de las nuevas ideas

En esta última fase se proponen actividades en las que deban ponerse en práctica las nuevas ideas. Por tanto, el alumno debe aplicar sobre situaciones nuevas, los conceptos científicamente correctos y que han sido trabajados en la fase de reestructuración de ideas. En una situación didácticamente ideal, el alumno debería abandonar sus ideas alternativas y experimentar un proceso de acomodación a la nueva situación conceptual.

5.5.3.1. Contenidos de la secuencia didáctica

Antes de describir los contenidos de la secuencia didáctica, consideramos necesario comentar algunos de los aspectos metodológicos que hemos introducido.

1) Modelos y analogías utilizados

a) Organismo fantástico

Es bien sabida la dificultad de los alumnos en identificar que todos los seres vivos están formados por células (Banet y Ayuso, 1995). Por otra parte, las propuestas didácticas recogidas en los libros de texto, suelen iniciar el estudio de la genética con las investigaciones de Mendel (ver capítulo 3). Por tanto, al iniciar el tema de la herencia biológica, los alumnos se encuentran con algunas preconcepciones que no encuentran en los modelos de enseñanza tradicional la forma de ser substituidas. Algunos libros de texto inician la unidad con el análisis de la diversidad entre organismos o en la especie humana, tal y como proponen Ayuso y Banet (2002).

Sin embargo, nosotros proponemos otra forma diferente de iniciar los estudios de la herencia. Habiendo tenido en cuenta la dificultad de los alumnos en reconocer que todos los seres vivos tienen células, también hemos querido que el inicio de la secuencia sea motivador y que las actividades iniciales puedan seguir siendo utilizadas, ampliadas y que puedan ser objeto de aplicación de conocimientos.

La secuencia didáctica se inicia con la creación de grupos de trabajo de cuatro a seis alumnos, a los que se les pide que ideen un organismo fantástico e inventado por ellos. Los alumnos deben atribuir a este organismo fantástico

cinco caracteres, susceptibles de presentar dos o más manifestaciones posibles. Finalmente, los alumnos deben dibujar dicho ser y asignarle un "nombre científico" siguiendo la nomenclatura binomial. En el anexo 1 aparecen muchos de los organismos que los alumnos crearon a lo largo de nuestra investigación. Priestland (1982) también propone la creación de un modelo imaginario para el aprendizaje de la genética, que denomina *Geometricus trentii* pero difiere mucho de nuestra idea. En el caso de *Geometricus* se trata de una estructura que presenta diferentes manifestaciones geométricas (cuadrados, puntos, rayan, círculos, etc) y que es propuesta por el profesor. En nuestro caso, son los propios alumnos los protagonistas y los que diseñan su propio ser imaginario al que atribuyen caracteres que han quedado reflejados en el dibujo. Otra propuesta sobre la utilización de modelos para el uso de la genética es el propuesto por Law y Lee (2004), aunque en este caso usa iconos a través de un programa informático.

Para poder percibir más claramente las características de esta estrategia, presentamos uno de los ejemplos de organismo fantástico creado por los alumnos y que se utilizó a lo largo de toda la secuencia didáctica, tal y como se describirá más adelante.

Unimatripus alus, Cabezas, Carretero, Cirera, Gutiérrez, Rodríguez y Salvatierra (1997)

El Unimatripus alus es un organismo con el cuerpo recubierto de plumas, tiene alas, patas con varios dedos, brazos, pico y carece de ojos.

Unimatripus Alus.



A partir del dibujo y la descripción que han realizado los componentes del grupo, se seleccionan cinco caracteres que puedan presentar varias manifestaciones. En el caso de este organismo son los siguientes:

CARACTER	MANIFESTACIONES	REPRESENTACIÓN
Número de patas	2 ó 3	P= 2 p =3
Número de dedos	5 ó 6	D= 5 d =6
Número de alas	1 ó 2	A= 1 a =2
Número de brazos	1 ó 2	B= 1 b =2
Color del plumaje	Azul, amarillo y verde	Z= Azul G=Amarillo

Tabla 5.5. Características del organismo fantástico diseñado por los alumnos.

Los alumnos han de decidir cuál de estas manifestaciones se presenta de forma salvaje y a partir de aquí se determinan los fenotipos, es decir, puede existir un *Unimatripus* con 2 patas, 6 dedos, 2 alas, un brazo y plumaje azul. Por tanto, existen tantos fenotipos de *Unimatripus* como combinaciones existan entre las posibles manifestaciones.

A partir de este organismo se trabajan conceptos como carácter, manifestación, gen, alelo, dominancia, recesividad, codominancia, entre otros. Es posible su utilización en problemas de genética a partir de caracteres y seres que les son próximos a los alumnos y permite superar la problemática que comentan Ayuso et al. (1996) cuando plantean las dificultades de los alumnos en resolver problemas de genética sobre organismos que desconocen, como el dondiego de noche (*Myrabilis jalapa*).

El planteamiento de problemas a la largo de la secuencia ha girado en torno a caracteres hereditarios humanos y al organismo fantástico inventado por el alumnado. El primer aspecto no plantea problemas, pero el segundo era algo más delicado. En un principio, el profesor tenía que superar las sorpresa que produce en el alumnado el tratar un ser inventado por ellos como algo real y al que atribuimos características genéticas comunes al resto de organismos. Esta sorpresa a menudo se traducía en comentarios más o menos jocosos, por lo que el papel del profesor en que el alumnado asumiera el organismo como algo propio fue importante durante los primeros días. Sin embargo, en todos los grupos en estudio se consiguió el objetivo de que el ser fantástico formara parte de los alumnos y se pudiera trabajar con ellos sin ninguna dificultad, hasta el punto de atribuir un nombre vulgar a algunos de ellos. A título de ejemplo, *Unimatripus alus*, fue bautizado con el nombre de Trypi, dejando al margen cualquier interpretación sobre otras connotaciones del nombre vulgar.

Dado que se implantó la secuencia didáctica en cinco agrupaciones, fueron cinco los organismos fantásticos creados y, por tanto, los problemas que íbamos planteando cambiaban de grupo a grupo con el fin de adaptarse a las características que el ser inventado presentaba.

Los alumnos mostraron gran interés en la invención del organismo fantástico que se les pidió que diseñaran. La dinámica del grupo-clase siempre se basaba en el trabajo en pequeño grupo y detectamos una cierta pugna entre los alumnos en proponer organismos más ingeniosos, ocurrentes y con frecuencia

provocadores. Era el gran grupo el que decidía en votación el ser que sería objeto de estudio durante las semanas siguientes, por lo que toda la clase podía asumirlo como propio. No hemos hecho un análisis ni clasificación de las creaciones, ya que las posibles conclusiones que se obtuviesen escapan al objeto de nuestra investigación, pero sin duda serían interesantes y nos acercarían a comprender un poco más los estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria de comienzos del siglo XXI.

b) Modelos tridimensionales

El uso de analogías y modelos como recurso en la enseñanza de las ciencias está estrechamente relacionado con las estrategias didácticas basadas en un modelo constructivista de la enseñanza (Brown, 1994; González y Moreno, 1998; Fernández et al., 2003). Recientemente, Camino (2004) propone y defiende firmemente el uso de los modelos tridimensionales, por ejemplo, en la enseñanza de la astronomía.

Existen diferentes propuestas para el uso de modelos en la enseñanza de la genética: Pashley (1994b) y Nicholl y Nicholl (1987) muestran un modelo de cromosoma; Chinnici et al. (2004) y Stavroulakis (2005) proponen un modelo de cromosoma que permite ilustrar la meiosis; Wilcoxon et al. (1999) y Cordón et al. (2005) han diseñado un modelo de ADN construido por los propios alumnos; Gow y Nicholl (1988), Schanker (1999) y Clarck y Mathis (2000) proponen diferentes modelos para la enseñanza de la meiosis; Nicholl (1986) y Bohrer (1997) han elaborado modelos para iniciar el estudio de las técnicas de ingeniería genética.

Nosotros hemos construido diferentes modelos que han sido utilizados a lo largo de la instrucción para la enseñanza-aprendizaje de diferentes conceptos y procesos. En el anexo 3 se pueden observar imágenes de los modelos.

Modelo de célula eucariota

Uno de los errores conceptuales de los alumnos referidos a la estructura de la célula es que se trata de un elemento plano, bidimensional, ya que los dibujos que se muestran en los libros no suelen acentuar el carácter tridimensional de la célula. Otro elemento de confusión que también fue comentado en el capítulo 2 es el papel del profesorado, ya que los esquemas que se hacen en la pizarra suelen reforzar la idea preconcebida en el alumnado. Además, suele presentarse la célula de forma esférica, sin hacer notar al alumno que son pocas las morfologías celulares que presentan dicha forma (Durfort, 1999).

Por estas razones, nos parece necesario presentar un modelo que ilustre el aspecto tridimensional de la célula y que muestre la situación del material hereditario. El modelo de célula se muestra durante la primera unidad didáctica, aunque puede ser utilizado en otros momentos de la secuencia.

El modelo que hemos construido está formado por una esfera hueca de poliestireno expandido que en su interior contiene otra esfera, también hueca.

Es imprescindible hacer notar al alumnado que son pocas las formas celulares esféricas, señalando, por ejemplo, los ovocitos o los adipocitos. La segunda esfera corresponde al núcleo y en su interior se encuentran unos filamentos enrollados que corresponden a la molécula de ADN.

Con este modelo se pretende que el alumnado sea consciente de la naturaleza tridimensional de las células y localice la molécula de ADN en el núcleo. Evidentemente, se habla en todo momento de células eucariotas. (Ver fotografía en el anexo 3).

Modelo de cromosoma

Consideramos que en la etapa de Educación Secundaria Obligatoria el conocimiento de la estructura del ADN y empaquetamiento para formar cromosomas no debe ser muy profundo desde el punto de vista bioquímico. Sí que es importante que el alumnado identifique la relación existente entre estas dos estructuras, en el sentido de que el cromosoma está formado, *sensu lato*, de ADN.

Un primer modelo de cromosoma es el que hemos construido con el mismo tipo de filamento que aparece en el núcleo del modelo de célula. De esta manera, los alumnos identifican la estructura del cromosoma con el filamento que aparece en el núcleo de la célula. Este modelo de cromosoma construido con filamento trenzado no se ubica nunca dentro del núcleo para no reforzar la idea de que los cromosomas se encuentran allí, ya que cuando el ADN se condensa para formar cromosomas, el núcleo desaparece, puesto que nos encontramos en un momento de división celular.

Un segundo modelo de cromosoma nos permite ilustrar los conceptos de locus, gen, alelo, dominancia, recesividad, homocigosis y heterocigosis. Este modelo ha sido construido en una primera versión en cartón pluma, pero el modelo definitivo es en madera. Cada cromosoma tiene unos 40 cm de largo por 7 cm de ancho y se halla dividido en cinco segmentos, sobre los que se pueden colocar y sacar unas placas más pequeñas que corresponden con las dimensiones de cada uno de los cuadrados en los que se ha dividido el cromosoma. Se dispone de dos modelos de cromosoma idénticos para poder representar las células diploides, uno de origen materno y otro de origen paterno.

Los segmentos corresponden a los diferentes loci en los que se encuentran los genes correspondientes a los caracteres del organismo fantástico que los alumnos definieron. Cada una de las placas que se ubica sobre los segmentos corresponde a los alelos de los genes en cuestión.

Con este modelo de cromosoma los alumnos pueden aplicar los conocimientos que han adquirido y utilizar los caracteres del organismo que han creado para usar el cromosoma. Este modelo de cromosoma permite la visualización de las situaciones que se plantean en algunos de los problemas de genética, especialmente en los primeros que se proponen al alumnado, es decir, problemas con patrón de herencia conocido. (Ver fotografía en el anexo 3).

A continuación mostramos un pequeño esquema del modelo de cromosoma con la estructura delimitada en cinco segmentos, correspondientes a los cinco loci y a su lado las placas que pueden colocarse encima y que representan los alelos. Mostramos el ejemplo del organismo *Unimatripus alus* y podemos ver que en cada locus se encuentra el gen correspondiente que se muestran en la tabla 5.4. y en las placas se encuentran los alelos posibles de cada gen. Se representan los dos cromosomas y todos los alelos posibles. Los alumnos pueden construir el genotipo de un determinado individuo de *Unimatripus alus* en el modelo de cromosoma colocando los alelos que correspondan.

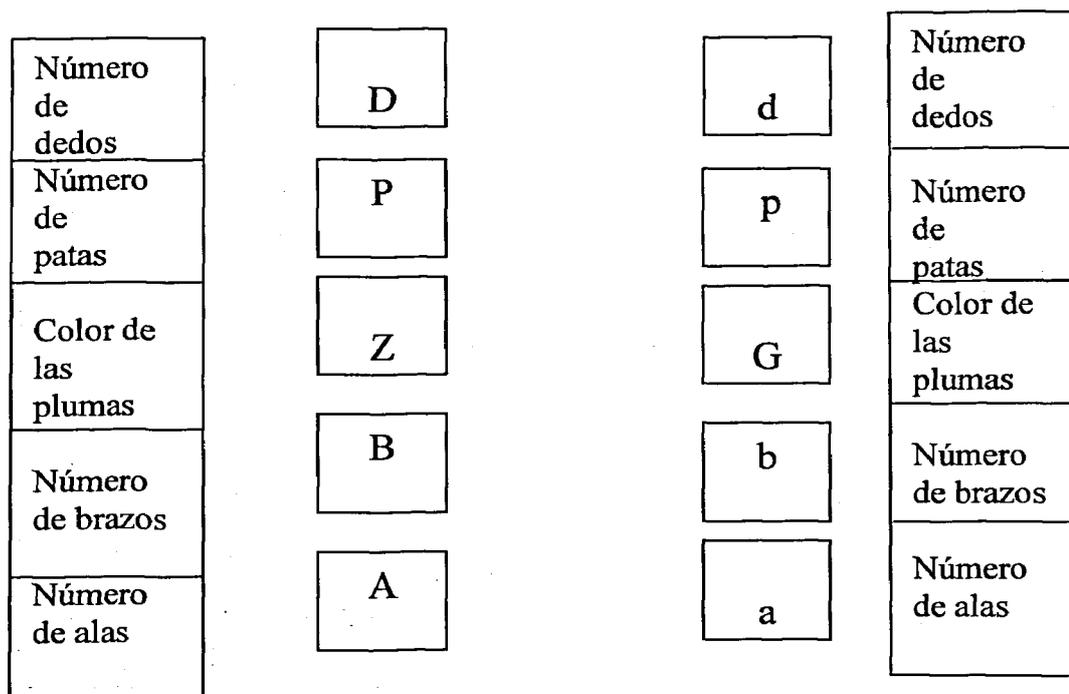


Figura 5.1. Ilustración de los modelos de cromosoma

Modelo de mitosis y meiosis

Para que los alumnos pudieran acercarse más al proceso de división celular, se construyeron fichas en cartón que representaban las células en cada momento de la división mitótica o meiótica (ver fotografía en el anexo 3). No consideramos necesario, en este momento de la Educación Secundaria, un estudio detallado de los procesos de división celular que incluya las fases. En nuestra opinión, es más importante que el alumnado aprenda el significado biológico de cada uno de los procesos, en qué se diferencian ambos y en qué momentos del ciclo celular se dan.

Por estas razones, las fichas construidas inciden más en el significado biológico y en la dotación cromosómica en la que se encuentran las células en cada fase de la división. Este modelo permite ver claramente, a partir de un código de colores que es explicitado al alumnado, en qué momento se

encuentra duplicado el material hereditario, cuándo la célula es haploide y cuándo diploide.

El modelo de mitosis y meiosis incluye la formación de gametos a partir de la meiosis y la formación de un cigoto por fecundación a partir del cual se desarrolla un individuo adulto por mitosis. De esta manera, los dos procesos se encuentran relacionados pero a la vez se evidencian las diferencias.

Este modelo a partir de fichas es reproducible por el alumnado, con lo que el estudiante es una parte activa en la construcción de significados.

Como comentario final nos ha parecido oportuno destacar algunos de los cambios que los modelos han experimentado con el tiempo, que podemos considerar "mejoras técnicas":

- 1) En un principio, la molécula de ADN estaba representada por hilos de lana, que se agrupaban y formaban cromosomas. Notamos la dificultad en interpretar correctamente su significado, por lo que lo sustituimos por los hilos de plástico que fueron los que finalmente se utilizaron. No obstante, continuaban presentándose problemas con la identificación del ADN duplicado y de las cromátidas hermanas, por lo que fue preciso confeccionar un modelo de cromosoma en el mismo hilo de plástico que permitiese identificar correctamente el cromosoma duplicado y su homólogo correspondiente.
- 2) El cromosoma fue confeccionado en primer lugar con cartón-pluma, material muy ligero que permite fácil manipulación, cortar y añadir fragmentos y escribir sobre él. El alumnado no tenía dificultad en interpretar el cromosoma, los alelos y los conceptos que se estudian, como homocigosis, dominancia, etc. Sin embargo, fue decisión nuestra substituir este modelo por otro de madera. Las diferentes piezas fueron recubiertas por material plástico que permite escribir encima y modificar la información que contienen y diseñamos un mecanismo adherente para colocar los correspondientes alelos o cambiarlos por otros fácilmente.
- 3) El modelo de mitosis y meiosis fue diseñado sobre piezas de cartón-pluma que representaban diferentes momentos de la división celular unidos a una gran superficie de madera. Pero a continuación decidimos confeccionar otro modelo de división celular de cartón, que permitía que los alumnos pudiesen ir construyendo la secuencia de momentos de las divisiones celulares en estudio.

2) Secuenciación de los contenidos de nuestra propuesta didáctica

En la primera de las cinco unidades en las que se ha estructurado la secuencia didáctica, se estudian algunos aspectos de la teoría celular y se introduce el estudio de los caracteres. En ocasiones el estudio de la célula en la educación secundaria no se relaciona con otros aspectos estrechamente relacionados, como es el de la herencia biológica. A nuestro entender y, teniendo en cuenta

el desconocimiento que presentan los estudiantes sobre la estructura de los seres vivos, antes de iniciar propiamente el estudio de la genética es preciso que el alumnado conozca la presencia de células en todos los seres vivos. En esta primera unidad también se estudia la variabilidad y el concepto de carácter biológico.

En la segunda unidad se aborda el estudio de la estructura, función y localización de la información hereditaria. Por tanto, se detalla la relación existente entre ADN y cromosomas, utilizando algunos de los modelos que hemos diseñado.

En la tercera unidad se profundiza en el estudio de la información genética y se acaban de introducir todos los conceptos relacionados con la estructura, función y localización de la información hereditaria. En este sentido, el uso de los modelos diseñados por nosotros y la aplicación sobre el organismo fantástico inventado por los alumnos, es un elemento que se ha manifestado extraordinariamente útil. La tercera unidad se concluye con el inicio de la resolución de problemas de genética.

En la unidad cuarta se estudian los mecanismos de transmisión de la información hereditaria, es decir, mitosis y meiosis. Nos ha parecido conveniente iniciar el desarrollo conceptual a partir de la formación de un cigoto hasta la formación de individuos adultos capaces de realizar la meiosis, para de nuevo cerrar el ciclo vital con la formación de gametos y un nuevo cigoto. En una distribución curricular tradicional, el estudio de la división celular no se incluye en las secuencias didácticas de genética. Nosotros sí hemos introducido el estudio de la mitosis y la meiosis en nuestra propuesta por convicción en base a nuestra experiencia profesional como profesor de biología y también siguiendo las propuestas de investigadores en didáctica de la genética, destacando, a nuestro parecer, la de Ayuso (2000).

La unidad finaliza con la resolución de problemas que implica relacionar su resolución con la meiosis y con la puesta en práctica de habilidades de resolución de pequeñas investigaciones. Muchos de los problemas planteados se refieren al organismo fantástico inventado por el alumnado.

Finalizamos la secuencia con una unidad dedicada a la biotecnología y las aplicaciones de la genética. Consideramos que para entender estos procesos es preciso poseer ciertos conocimientos de genética que ya han sido trabajados en las unidades anteriores. No es habitual en las secuencias didácticas de genética dedicar un tema a abordar estos temas, siendo más frecuente la introducción de algunos aspectos como la clonación o el Proyecto Genoma Humano como actividades de aplicación o complementarias. Pensamos que el conocimiento de las técnicas de manipulación genética deben ser bien estudiados desde un punto de vista conceptual y especialmente actitudinal, dada la dimensión ética que adquieren. Por otra parte, es cada vez más habitual tener acceso a noticias que difunden los medios de comunicación y sobre las cuales los ciudadanos deberían estar lo suficientemente formados para poder formarse una opinión sobre las repercusiones o implicaciones para la vida.

Unidad	Contenidos
1. ¿DE QUÉ ESTÁN FORMADOS LOS SERES VIVOS?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Todos los seres vivos están formados por células. 2. La célula como unidad funcional y morfológica de los seres vivos. 3. ¿Qué son los caracteres?
2. ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN HEREDITARIA: ADN Y CROMOSOMAS.	<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Qué es la información hereditaria? 2. Estructura, función y localización del ADN. 3. ¿Qué son los cromosomas? Células haploides y diploides.
3. GENES Y HERENCIA.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Genes y alelos: ¿Qué son y de qué están formados? 2. Homocigosis y heterocigosis. 3. Genotipo y fenotipo. 4. Problemas de genética.
4. TRANSMISIÓN DE LA INFORMACIÓN HEREDITARIA: MITOSIS Y MEIOSIS.	<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Cómo se desarrolla un cigoto? Mitosis. 2. Meiosis: La formación de los gametos. 3. Resolución de problemas y meiosis.
5. BIOTECNOLOGÍA. APLICACIONES DE LA GENÉTICA.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Proyecto Genoma Humano 2. ¿Qué son los transgénicos? 3. Otras aplicaciones de la genética: terapia génica y usos en medicina. Clonación.

Tabla 5.6. Unidades didácticas de nuestra propuesta y los apartados que las conforman

UNIDAD 1. ¿DE QUÉ ESTÁN FORMADOS LOS SERES VIVOS?

En la primera unidad de la secuencia didáctica queremos hacer hincapié en la necesidad de que los alumnos sean conscientes del papel de la célula como unidad funcional y morfológica de los seres vivos. También se estudiará el concepto de carácter y se aplicará sobre un organismo fantástico que los alumnos tienen que diseñar.

En la primera sesión se distribuye el cuestionario inicial de detección de concepciones.

Las secciones en las que se divide esta unidad son:

- 1.1. *TODOS LOS SERES VIVOS ESTÁN FORMADOS POR CÉLULAS.*
- 1.2. *LA CÉLULA COMO UNIDAD FUNCIONAL Y MORFOLÓGICA DE LOS SERES VIVOS.*
- 1.3. *¿QUÉ SON LOS CARACTERES?*

Objetivos de la Unidad 1

Los objetivos que deben alcanzarse al finalizar la unidad 1 son:

1. Reconocer que todos los seres vivos están formados por células.
2. Reconocer que la célula es la unidad funcional y estructural de los seres vivos.
3. Distinguir la existencia de organismos unicelulares y organismos pluricelulares.
4. Conocer que todos los seres vivos contienen información hereditaria.
5. Conocer que todas las células de un mismo organismo contienen la misma información hereditaria.
6. Conocer la localización de la molécula de ADN.
7. Conocer la función de la molécula de ADN.

1.1. TODOS LOS SERES VIVOS ESTÁN FORMADOS POR CÉLULAS

Las actividades que se proponen son de iniciación y de explicitación de las concepciones del alumnado. Pretendemos con ello que sean conscientes de que todos los seres vivos están formados por células.

Actividades de iniciación

Comunicación de los resultados del cuestionario inicial.

En este apartado se comunica a los alumnos los resultados del cuestionario inicial por lo que hace referencia a qué organismos están formados por células. Esta difusión sobre las concepciones de los compañeros ayuda a la generación de un debate y a que el alumnado sea consciente de sus ideas.

Actividad 1

Lee atentamente el siguiente diálogo y a continuación contesta las preguntas.

A Juan y a Miguel les gustan los reportajes de animales y naturaleza que dan por televisión. Una tarde, al acabar uno de estos programas, tienen la siguiente conversación:

Juan: ¿Has visto cómo el león se comía la cebra?

Miguel: Sí, ha sido impresionante. Mientras lo veía me ha venido a la cabeza lo que esta mañana comentábamos en clase de Ciencias. Una vez que el león haya digerido la carne, los nutrientes llegarán a las células.

Juan: Pues claro, lo mismo que les pasa a las cebras con la hierba que comen. También llegarán sus nutrientes a sus células.

Miguel: Por cierto, ¿cómo conseguirán las células de las plantas que les lleguen los nutrientes necesarios?

Juan: No, Miguel, ¡que las plantas no tienen células!

Miguel: ¿Cómo que no? Pues claro que tienen. Leones, cebras, plantas, todos ellos tienen células.

Juan: ¡Imposible! Las plantas no se mueven, no sienten, no pueden tener hambre. No creo que tengan células.

Miguel: Estás equivocado. De hecho todos los seres vivos deben estar formados por células.

Juan: No sé, no sé. Yo entiendo que los animales tienen células, pero no creo que las plantas tengan, ni mucho menos las setas que me comeré este otoño. ¿O es que te crees que los granos de trigo tienen células?

1. ¿Quién crees que tiene razón?
2. ¿Por qué crees que tiene razón?

Con esta actividad de iniciación se pretende que las diferentes ideas que han manifestado los alumnos queden patentes en un diálogo en el que pueden verse reflejados.

Actividad 2

De la misma manera que un edificio está hecho de ladrillos, los seres vivos están formados de células. Intenta responder a las siguientes preguntas:

1. ¿Qué crees que caracteriza los seres vivos?
2. ¿Los animales son seres vivos? Razona la respuesta.
3. ¿Los humanos son animales? ¿Por qué?
4. ¿Los seres humanos están formados por células? ¿Por qué?
5. ¿Cualquier animal estará formado por células? Razona la respuesta.
6. Si una planta o un hongo son seres vivos, ¿estarán formados por células? Razona por qué.

Esta actividad pretende que los alumnos cuestionen sus ideas sobre qué es un ser vivo y qué tienen en común todos los seres vivos. Además de las funciones vitales de nutrición, relación y reproducción, es necesario resaltar el hecho de que todos estén formados por células.

Actividad 3

Observación de epitelio de cebolla

Vamos a observar epitelio de cebolla al microscopio óptico con tinción en azul de metileno. Sigue los siguientes pasos para hacer la preparación.

1. Coloca una pequeña porción de epitelio de cebolla sobre el portaobjetos y cubre con azul de metileno durante 1 minuto.
2. Lava con abundante agua hasta que no se desprenda colorante.
3. Coloca un cubreobjetos y observa al microscopio.

Contesta ahora las siguientes cuestiones:

1. Realiza un dibujo de lo que ves indicando el aumento con el que estás observando.
2. ¿Qué representan las porciones de color azul que se observan?
3. ¿Qué representan las esferas coloreadas más intensamente que se observan dentro de cada porción?

microscopio con la correspondiente guía del profesor, puede hacer sembrar la duda de sus concepciones entre el alumnado.

1.2. LA CÉLULA COMO UNIDAD FUNCIONAL Y MORFOLÓGICA DE LOS SERES VIVOS

Después de haber trabajado el papel universal de la célula como elemento común en todos los seres vivos, necesitamos introducir las características más importantes de las células. Pretendemos que el alumno conozca la estructura celular y dónde se localiza el material hereditario.

Actividades de reestructuración de ideas

Presentación del modelo de célula

Se presenta el modelo de célula insistiendo en el aspecto tridimensional y la presencia de núcleo en el interior celular, así como del material que contiene.

Introducción de conceptos

Se muestra el contenido del núcleo indicando que se trata básicamente de la molécula de ácido desoxirribonucleico y se introducen los conceptos de material hereditario como sinónimo de información hereditaria o información genética. No obstante, no se entra a detallar la naturaleza del material hereditario, ya que en la unidad 2 se estudiará ampliamente. Nos ha parecido interesante iniciar en esta primera unidad algunos conceptos que serán detallados con posterioridad, ya que son algunos de los que los alumnos mostraban más concepciones alternativas. Esta introducción de conceptos se hace a partir de las explicaciones del profesor.

Actividades de reestructuración de ideas

Diseño de un organismo fantástico

En apartados anteriores explicamos en qué consiste el organismo fantástico y cómo los alumnos lo ideaban y le atribuían características absolutamente inventadas. En pequeños grupos se construyen diferentes propuestas y entre todo el grupo clase se decide cuál será el organismo fantástico sobre el que se aplicarán los conceptos trabajados.

Actividad 4

En la Naturaleza hay más de un millón y medio de especies identificadas y aún quedan muchas por describir. A lo largo de la historia de la Tierra han ido apareciendo y extinguiéndose muchas de ellas. ¿Qué os parece hacer el papel de protagonista de la Naturaleza e "inventar" una nueva especie de ser vivo? Pensad en cómo podría ser un organismo inventado por vosotros: ¿sería un animal? ¿Una planta? ¿Cuántas extremidades tendría? ¿De qué color sería? ¿Se parecería a un pulpo o a un pájaro? Ahora tenéis la ocasión de hacer de inventores de la Naturaleza. Tenéis que seguir el siguiente proceso:

1. Hablad entre los componentes del grupo para decidir como podría ser este organismo fantástico.
2. Pensad en cinco características que tenga y puedan presentar alternativas (si por ejemplo tiene alas, que tenga dos o tres).
3. Dibujad algunos esbozos.
4. Una vez decidido como será vuestro organismo dibujadlo e indicad las características que tendrá. ¡No olvidéis ponerle nombre científico!
5. ¿Este organismo estará formado por células? Razona por qué.

1.3. ¿QUÉ SON LOS CARACTERES?

En este apartado se proponen tres tipos de actividades: de iniciación, de reestructuración de ideas y de aplicación de ideas.

Actividades de iniciación

A partir de algunas características que tenemos los seres humanos y que pueden presentar variaciones, se introduce a los alumnos en el concepto de carácter y además se evidencia la variabilidad dentro de la especie humana.

Actividad 5

Si observas a los compañeros y compañeras de clase verás que no hay dos iguales. Distribuidos por parejas y observad algunas de las características que se indican a continuación. Haz un círculo donde corresponda.

Lóbulo de la oreja	Enganchado	Desenganchado
Lengua en forma de U	Sí	No
Barbilla con agujero	Sí	No
Pelos en la 2ª falange	Sí	No
Incisivos	Separados	Juntos
Pelo en la frente	Forma de v	No forma de v

1. ¿Sois todos iguales?
2. ¿A qué creéis que se deben las variaciones?

Actividades de reestructuración de ideas

Introducción de conceptos

A partir de la explicación del profesor se introducen los conceptos de carácter, distinguiendo entre carácter que se puede transmitir a la descendencia y los que no.

Búsqueda de información

Otra actividad que se propone al alumnado es que busque información sobre qué caracteres presentamos los humanos que pueden heredarse y otros caracteres sobre los que pueda tener influencia el ambiente.

La tercera actividad consiste en investigar en la propia familia la manifestación de los caracteres estudiados anteriormente por parejas en el aula. Se pretende que el alumnado sea consciente de que la similitud entre determinados caracteres es mayor entre miembros de una misma familia.

Actividad 6

En la actividad anterior habéis estudiado algunos caracteres que presentan variaciones entre los seres humanos. Busca información sobre qué caracteres pueden heredarse y sobre otros caracteres que presentamos las personas y que pueden estar influenciados por el ambiente.

Actividad 7

Hemos estudiado cómo se manifiestan diferentes caracteres entre los compañeros de clase (lóbulo de la oreja, lengua en U, etc.). Ahora tienes que hacer una investigación en tu familia. Observa los mismos caracteres que se estudiaron en clase en todos los miembros de tu familia que puedas. Una vez recogida la información intenta contestar a las siguientes preguntas:

1. ¿Observas alguna constancia en la presencia de determinadas manifestaciones?
2. ¿Las manifestaciones que tú presentas se corresponden con miembros de tu familia? Si es así, ¿a qué crees que es debido?

Actividades de aplicación de las nuevas ideas

Para acabar esta primera unidad se proponen algunas actividades en las que el alumnado deba aplicar los conceptos introducidos y las nuevas ideas. Dado que el organismo fantástico será un hilo conductor a lo largo de la secuencia, dichas actividades tienen como referencia el ser inventado.

En la primera de estas actividades es necesario que el alumnado sea capaz de identificar la célula como el elemento constitutivo de los seres vivos.

En la segunda de las actividades de aplicación propuestas, se propone al alumnado que dibuje diferentes individuos de la especie que acaban de inventar. De esta manera, se deja libertad para que puedan atribuir a los miembros de la familia diferentes manifestaciones de los caracteres que han definido previamente

Actividad 8

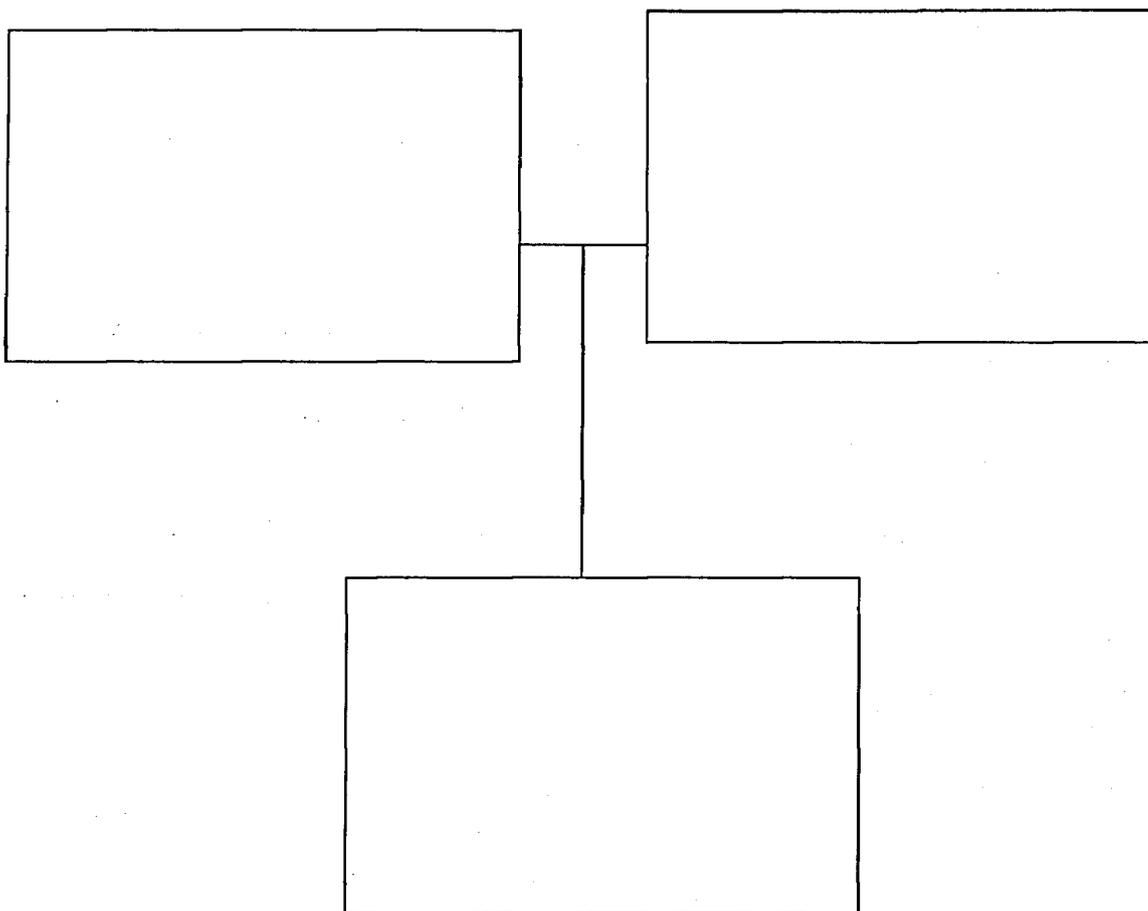
Contesta las siguientes preguntas referidas al organismo fantástico que has diseñado:

1. ¿De qué está constituido tu organismo fantástico?
2. ¿Todos los órganos de este ser están constituidas por el mismo tipo de estructura? ¿De qué están constituidos?

Actividad 9

Contesta las siguientes preguntas referidas al organismo que has diseñado.

1. ¿Puede reproducirse tu organismo fantástico?
2. ¿Crees que se parecerán las crías a los padres?
3. Dibuja un macho y una hembra de tu organismo y después dibuja cómo será un posible hijo:



Hijo

4. ¿ A qué crees que son debidas las similitudes entre los miembros de la familia del organismo que has inventado?
5. Enumera los caracteres más importantes que tiene esta nueva especie y las posibles manifestaciones que presenta.

UNIDAD 2. ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN HEREDITARIA: ADN Y CROMOSOMAS.

En esta unidad se presentan las formas en las que se organiza la información hereditaria. Aunque en la unidad 1 se introdujo el concepto de información hereditaria, en la unidad 2 se estudiará cómo se organiza y dónde se localiza el ADN. También se estudiará la organización, localización y función de los cromosomas, así como los conceptos y procesos relacionados.

Las secciones en las que se divide esta unidad son:

- 2.1. *¿QUÉ ES LA INFORMACIÓN HEREDITARIA?*
- 2.2. *ESTRUCTURA, FUNCIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL ADN*
- 2.3. *¿QUÉ SON LOS CROMOSOMAS? CÉLULAS HAPLOIDES Y DIPLOIDES.*

Objetivos de la Unidad 2

1. Conocer que todos los seres vivos contienen información hereditaria.
2. Conocer que todas las células de un mismo organismo contienen la misma información hereditaria.
3. Conocer de manera general la estructura de la molécula de ADN.
4. Conocer la estructura de los cromosomas y su relación con la molécula de ADN.
5. Conocer la localización de la molécula de ADN.
6. Conocer la función de la molécula de ADN.
7. Distinguir los conceptos de cromosoma y cromátida.
8. Conocer la localización de los cromosomas, reconociendo la estructura de una célula en división celular.
9. Distinguir entre célula haploide y célula diploide.
10. Conocer el concepto de cigoto

2.1. ¿QUÉ ES LA INFORMACIÓN HEREDITARIA?

El concepto de información hereditaria puede generar confusión entre el alumnado. En este apartado se introduce el significado de dicha expresión, como sinónimo de información genética, y se presentan las estructuras celulares, ADN y cromosomas, en las que se recoge dicha información.

Actividad de iniciación

Comunicación de los resultados del cuestionario

Antes de iniciar otras actividades de iniciación, se da a conocer las ideas que los estudiantes del grupo-clase tienen sobre lo que es la información hereditaria y su localización.

En la primera actividad que se propone, se establece un diálogo entre dos jóvenes. Se pretende que el alumnado reflexione sobre el hecho de que los seres vivos tienen unas características debidas a una información hereditaria que poseen sus células. Con el símil con la construcción de un edificio, intentamos que el alumnado relacione el papel de unos planos que indican dónde debe ir cada pared, con la función de la molécula de ADN como molécula organizadora de la célula.

Actividad 1

A Juan le gusta una chica de la clase. Su mejor amigo, Miguel, le ha convencido para que le regale flores. Los dos amigos van a una floristería para comprar una rosa.

Juan: Qué ridículo que haré cuando entre al instituto con una rosa

Miguel: ¡Qué va tío! Ya verás como le encanta tu detalle.

Juan: ¡O quizá se ría de mí!

Miguel: Nooo. Hazme caso. Nadie puede decir que una rosa no es bonita.

Por fin llegan al instituto y se encuentran con Sandra.

Juan: Hola Sandra.

Miguel: Estoy, ...tengo un poco de prisa.

Sandra: ¿Qué tal estás, Juan?

Juan: Muy bien. Mira, iré directo al grano. He pensado que no hace falta esperar a Sant Jordi. Cualquier día es bueno para regalar una rosa y hoy me ha parecido un día magnífico.

Sandra coge la flor, sonrío a su compañero y se queda mirando la rosa. Finalmente, levanta la mirada y muy seria pregunta:

Sandra: ¿Por qué una rosa es como es?

Juan no lo tiene muy claro y no entiende lo que Sandra quiere decir. Finalmente responde:

Juan: Esto es como si me preguntas que por qué una casa es como es. ¿Cómo saben los albañiles dónde han de poner las paredes? Pues los planos lo dirán, digo yo.

Sandra: ¡Qué poco romántico eres, tío!

1. ¿Qué le contestarías tu a la Sandra?
2. ¿Qué te parece la comparación de Juan sobre cómo se construye una casa y los

Actividades de reestructuración de ideas

Introducción de conceptos

Las actividades de reestructuración de ideas de este apartado consisten en una introducción de conceptos por parte del profesor, reforzando los ya facilitados en la unidad anterior, especialmente los de información hereditaria.

Una segunda actividad de reestructuración de ideas tiene como objetivo mostrar que todas las células de un organismo contienen la misma información hereditaria. Para ello se ilustra gráficamente a los alumnos cómo se forma un cigoto humano a partir de dos células sexuales. A partir de aquí, el profesor va formulando preguntas sobre cómo creen que se produce el desarrollo embrionario y la especialización de las células en diferentes funciones dentro de un ser humano hasta llegar a formar una persona completa. Esta actividad de explicitación de ideas se lleva a cabo con la participación activa del alumnado y con el planteamiento de cuestiones por parte del profesor.

Actividades de aplicación de las nuevas ideas

Las actividades de aplicación de conceptos que se proponen consisten en presentar nuevamente el modelo de célula y que los alumnos contesten a las preguntas que se plantean en la actividad 2 y actividad 3

Actividad 2

Observa el modelo de célula que ha traído el profesor y contesta las siguientes cuestiones:

1. ¿Cómo se llama la estructura globular que hay dentro del modelo?
2. El profesor ha abierto esta pequeña estructura globular y han aparecido unos filamentos. ¿Qué representan estos filamentos?
3. ¿Qué función crees que tienen dichos filamentos?

Actividad 3

En el texto de la actividad 1 Sandra preguntaba a Juan que por qué una rosa es como es. Responde tu ahora a las siguientes preguntas sobre la rosa que acaba de regalar Juan:

1. ¿Todas las partes de la rosa están formadas por células?
2. El rosal en el que nació la rosa, seguramente tuvo su origen en una semilla, pero ahora tiene tallo, raíces, hojas y flores. ¿Crees que todos estos órganos están formados por células?
3. ¿Crees que todas las partes de la planta que tienen células tienen esa molécula de ADN que apareció en el modelo que ha traído el profesor?
4. ¿Tendrán todas las células la misma información hereditaria o las células de cada órgano (flor, hoja, ...) tendrán información hereditaria específica para la flor, hoja, etc.?

Estas dos actividades buscan la aplicación de algunos de los conceptos que se han presentado en esta unidad y también en la anterior. Sin embargo, generan nuevas dudas y las preguntas que se plantean son provocadoras de conflicto, ya que ponen en cuestión algunas de las ideas que manifestaron en el cuestionario, antes de iniciar la docencia. Por tanto, el papel del profesor ha de ser de guía y a medida que los alumnos van manifestando sus opiniones sobre lo que se les pregunta en cada actividad, se van planteando nuevas cuestiones que deben orientarse, teniendo en cuenta que aún quedan muchos conceptos pendientes de introducción y aplicación.

En todo momento, tanto en estas actividades como en las que se proponen a lo largo de la secuencia, el alumno expone oralmente y por escrito sus opiniones, que son debatidas en clase por el resto de compañeros.

2.2. ESTRUCTURA, FUNCIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL ADN

En este apartado se muestra el modelo de ADN ya fuera del contexto nuclear y se describen las características de la molécula de ADN, así como su función biológica.

Actividades de iniciación

En apartados anteriores ya se ha introducido el término de ADN. En esta sección se reparte entre los alumnos algunos artículos de prensa en los que se informa de la importancia de los rastros de ADN en la resolución de delitos por parte de la policía. Se procede a su lectura y se comentan en el grupo-clase, poniendo de relieve el hecho de que cada individuo posee una molécula de ADN propia e inconfundible.

Actividades de reestructuración de ideas

A partir de esquemas y dibujos en formato de papel, se presenta la estructura en doble hélice de la molécula de ADN. También se explica la importancia de la secuencia de nucleótidos y que cada individuo posee una propia, a excepción de los gemelos univitelinos.

Actividades de aplicación de las nuevas ideas

A partir de la explicitación por parte del profesor de la estructura de la molécula de ADN, se retoman las informaciones de prensa recogidas en la actividad de iniciación. A continuación se presenta una actividad que viene a apoyar y reforzar la idea de que todas las células de nuestro organismo tienen la misma información. Si bien este aspecto ya ha sido trabajado en el apartado 2.1., consideramos necesario incidir nuevamente ya que es uno de los errores conceptuales detectados más frecuentes.

Actividad 4

Anteriormente hemos comentado algunos artículos en los que aparecen noticias sobre lo importante que es para la policía encontrar rastros biológicos en los que pueda identificarse el ADN del posible autor de un delito. Una colilla, un cabello, un resto de piel o una muestra de sangre, pueden ser útiles a los investigadores para detectar ADN.

1. Explica cómo es posible que pueda encontrarse ADN en diferentes muestras de una persona, como un resto de piel, sangre o cabellos. ¿Se encontrará libre o dentro de algún compartimento celular?
2. El ADN que identifiquen los investigadores en las diferentes muestras de un único individuo, ¿será siempre igual? Explica por qué.

2.3 ¿QUÉ SON LOS CROMOSOMAS? CÉLULAS HAPLOIDES Y DIPLOIDES.

En este apartado se trabajará la estructura y función de los cromosomas y su relación con el ADN. Se estudiará la función que tienen estas estructuras celulares y se presentará el modelo tridimensional de cromosoma.

Actividades de iniciación

Comunicación de los resultados del cuestionario

En el cuestionario inicial pudimos comprobar que muchos alumnos consideran que no todos los organismos tienen cromosomas, además de desconocer su función y su localización. Por esta razón, consideramos muy importante dar a conocer al alumnado sus ideas sobre los cromosomas, antes de iniciar otras actividades de enseñanza-aprendizaje.

A continuación planteamos otra actividad de iniciación en la que hemos usado nuevamente parte del modelo de célula, concretamente los filamentos que representan el ADN.

Actividad 5

Vuelve a observar el modelo de célula que el profesor te presenta. Ya sabes que los filamentos que se encuentran en el núcleo representan la molécula de ADN, donde reside toda la información hereditaria del individuo. Ahora bien, cuando la célula se divide, el ADN se condensa y se agrupa, tomando una configuración diferente.

1. Intenta dibujar alguna manera de conseguir agrupar los filamentos de ADN para que todo este material ocupe menos espacio.
2. Observa ahora la solución que te presenta el profesor. ¿Se parece al modelo que tu has representado?

Actividades de reestructuración de ideas

Introducción de conceptos

Se da a conocer la relación existente entre el ADN y los cromosomas, de manera que los alumnos puedan identificar claramente que la información

hereditaria recogida en el ADN es la misma que la que se encuentra en los cromosomas. Se concreta que la función de los cromosomas y el ADN es, por tanto, la misma.

Finalmente, se muestra la estructura de un cromosoma, sus partes y los tipos de cromosomas existentes, así como la diferenciación entre heterocromosomas y autosomas.

Uso del modelo de cromosoma

Una forma útil de permitir esta relación es el uso de un primer modelo de cromosoma formado por el mismo tipo de material que se encontraba en el núcleo del modelo de célula. Nosotros construimos un cromosoma formado por los filamentos que representaban el ADN, de manera que los alumnos identifican perfectamente las estructuras presentadas.

Creación de un conflicto cognitivo

Uno de los aspectos conflictivos en el conocimiento de la estructura de los cromosomas es la confusión existente entre cromátidas y cromosomas homólogos. En la siguiente actividad se pretende crear un conflicto en el alumnado sobre el número de cromosomas que tenemos los seres vivos y que todos los seres vivos tienen cromosomas.

Actividad 6

A continuación indicamos el número de cromosomas de diferentes organismos:

Ser humano: 46	Rana: 26	Pepino: 14
Chimpancé: 48	Pollo: 78	Patata: 48
Caballo: 64	Gusano de seda: 56	Arroz: 24
Mosca doméstica: 12	Roble: 24	Tomate: 24

Por tanto, todas tus células somáticas tienen 46 cromosomas.

1. ¿Cuántos cromosomas crees que tienen las células de tus padres?
2. Si coincidís en el número de cromosomas, ¿qué ha pasado para que tú tengas el mismo número?
3. De los cromosomas que tú tienes, ¿cuántos crees que proceden de tu padre y cuántos de tu madre?
4. ¿Cómo han llegado a ponerse en contacto los cromosomas de tu padre y de tu madre?
5. ¿Crees que los cromosomas de tus padres y los tuyos tienen la misma información?
6. ¿Puede estar equivocada la información que te hemos dado o realmente pueden tener cromosomas los tomates y el arroz? Explica la razón.

Con esta actividad se intenta poner en evidencia que todos los seres vivos poseen cromosomas. Se trata de reforzar la misma idea de universalidad de la estructura celular eucariota ya trabajada en apartados anteriores.

También pretende hacer aflorar posibles concepciones erróneas y que tengan que confrontarse con las nuevas ideas que se están introduciendo. En la pregunta: "De los cromosomas que tú tienes, ¿cuántos crees que proceden de tu padre y cuántos de tu madre?", pretendemos que el alumno sea consciente de que de los 46 cromosomas que poseen nuestras células somáticas, 23 son de origen materno y 23 de origen paterno.

También se introduce el papel de las células sexuales, como portadoras de media dotación cromosómica, es decir, células haploides.

También se presenta, aunque no se incide todavía sobre ello, el papel de la meiosis en la reducción del número de cromosomas.

Las respuestas de todas las preguntas son comentadas en clase y el papel del profesor es el de favorecer la discusión entre alumnos que manifiesten concepciones diferentes. En todo caso, es preferible que el debate cree entre los alumnos la necesidad de saber cuáles son las verdaderas razones, para facilitar la introducción de conceptos

Introducción de conceptos

Una vez los alumnos han respondido la actividad 6 y se ha producido la discusión en el aula, se produce la introducción de algunos conceptos. Si no se hubiese planteado la situación conflictiva descrita anteriormente, las nuevas ideas que el profesor aporta en este momento no hubieran encontrado un camino fácil en los esquemas conceptuales del alumnado.

Se diferencia entre célula haploide y diploide, indicando la función de los ovocitos y espermatozoides.

Una estrategia interesante consiste en simular una fecundación entre dos gametos que poseen 23 cromosomas. Se representa un cigoto formado por 23 pares de cromosomas, es decir, que cada cromosoma tiene un ejemplar de origen materno y otro de origen paterno. A partir de aquí, seguimos la simulación gráfica, que ya se introdujo en la unidad 1, hasta llegar a un individuo adulto, lo que necesariamente implica la introducción de la división celular. La simulación continúa, en este caso, con la presencia de otro individuo adulto de sexo contrario y con la formación en los dos de gametos, que se fusionarán para formar un nuevo cigoto. También es el momento para introducir el concepto de cromosoma homólogo.

Uso del modelo de cromosoma

Ante la necesidad de mantener constante el número de cromosomas en la especie, se introduce el concepto de duplicación del ADN y se relaciona con el concepto de cromátida. En el aula se utiliza de nuevo el primer modelo de

cromosoma y el modelo de célula, introduciendo el mismo tipo de filamento pero de un color distinto. De esta manera, se pone de evidencia la duplicación del ADN y visualmente es fácilmente reconocible, teniendo en cuenta siempre que este proceso se produce en el núcleo de la célula eucariota.

A continuación, presentamos el modelo de cromosoma formado por filamentos de dos colores, con el aspecto de un cromosoma metafásico con dos cromátidas bien diferenciadas. El uso de filamentos de colores diferentes puede llevar a error, por lo que el profesor ha de indicar que en realidad contienen la misma información. El último modelo consiste en un cromosoma metafásico con los filamentos formando dos cromátidas, pero con el mismo color. Es importante aclarar a los alumnos el significado de los colores, por lo que llevar a cabo estos pasos de forma precisa y con la información oral adecuada, debe facilitar la asimilación del concepto.

Actividad 7

Vamos intentar ver cromosomas a través del microscopio óptico. Para ello utilizaremos las raíces que han salido de la cebolla y del ajo que hace días colocamos en un vaso de precipitados muy próximos al agua y sostenidos con palillos. Sigue el protocolo siguiente:

1. Corta el extremo de la raíz y colócalo sobre un vidrio de reloj.
2. Cubre con orceína A y sosteniendo el vidrio con una pinza de madera llévalo a la llama sin que llegue a hervir.
3. Repite el proceso unas cuantas veces, procurando no respirar los gases que se desprenden y sin que se llegue a carbonizar la muestra.
4. Coloca el extremo final del trozo de raíz con el que hemos trabajado sobre un portaobjetos y añade unas gotas de orceína B.
5. Coloca el cubreobjetos y con un papel doblado presiona con el dedo pulgar sobre la muestra, poniendo en práctica la técnica microscópica que se conoce como "squash".
6. Observa al microscopio, primero a pequeño aumento y progresivamente cambia a mayores objetivos.

Tal vez te cueste identificar lo que observas al microscopio. De entrada lo verás todo de color rojo, pero si tienes la iluminación adecuada, puedes ver células con un gran núcleo teñido más intensamente. El tejido que hemos usado se llama meristemo y está en continua división celular, por lo que podemos ver células dividiéndose. Es en este momento de la vida de la célula cuando podemos observar claramente los cromosomas. Con la ayuda del profesor y con el uso del videomicroscopio podrás ver células en división y cromosomas.

1. Dibuja lo que observes.
2. ¿Qué material de laboratorio has utilizado?
3. ¿Qué técnicas de microscopía has empleado?
4. Deberíamos observar células en división, concretamente en mitosis, y con un poco de suerte, los cromosomas en el citoplasma. ¿Por qué crees que podemos ver los cromosomas cuando la célula se divide?
5. ¿Por qué hemos usado en esta práctica un tejido vegetal que crece rápidamente?

Actividades de aplicación de las nuevas ideas

La primera actividad de aplicación es la confección de un cariotipo y dar respuesta a algunas preguntas. Junto a la hoja de actividades se les suministra un cariotipo real de un varón con síndrome de Down.

Actividad 8

La fotocopia que tienes corresponde a la fotografía de los cromosomas de una célula humana, es decir, es un cariotipo. Recorta cada uno de los cromosomas y busca otro que sea igual. A continuación, haz parejas con los cromosomas que sean iguales y pégalos en un papel.

Una vez has acabado de formar las parejas de cromosomas, contesta las siguientes cuestiones:

1. ¿Por qué de cada cromosoma hay dos copias?
2. Cada cromosoma parece estar duplicado. ¿Cómo se llaman cada una de estas formas duplicadas? ¿Contienen la misma información?
3. ¿Las células sexuales también tienen el mismo número de cromosomas que cualquier otra célula? Explica por qué.
4. Si hiciéramos el cariotipo al organismo fantástico, ¿crees que encontraríamos parejas de cromosomas parecidas? Explica la razón.
5. ¿Se podría hacer un cariotipo a una planta de tomate? ¿Por qué?
6. ¿Observas alguna anomalía en el cariotipo que has confeccionado?

Con las preguntas que se plantean en esta actividad se pretende poner en evidencia la aplicación de los conceptos introducidos en la fase de reestructuración de ideas. Los alumnos han de identificar y distinguir cromátidas y cromosomas homólogos, han de darse cuenta de las diferencias entre las células sexuales y las células somáticas.

Con la actividad 9, que se propone a continuación, se vuelve a hacer hincapié en algunos aspectos ya trabajados con el alumnado pero que consideramos necesarios para ayudar a los alumnos a poner en práctica las nuevas ideas y sustituyendo o adaptando, según sea el caso, las concepciones que presentaban cuando iniciaron el estudio de la herencia. Se insiste en la diferencia entre células haploides y células diploides y en el hecho de que todas las células del organismo tienen el mismo número de cromosomas y por tanto la misma información hereditaria.

Actividad 9

Cuando un espermatozoide y un ovocito se fusionan forman un cigoto, el cual posee ahora el material hereditario de las dos células. Es decir, un cigoto tiene la mitad de la información hereditaria proveniente de la madre y la otra mitad del padre. Seguro que después de lo que hemos hablado estos días podrás responder las siguientes cuestiones:

1. ¿Dónde tiene lugar la producción de células sexuales o gametos?
2. ¿Qué característica diferente del resto de células han de tener los gametos?
3. Las células humanas tienen 46 cromosomas. ¿Cuántos tiene un cigoto?
4. ¿Y las células sexuales?
5. Indica cuántos cromosomas diferentes tienen nuestras células.
6. De entre los siguientes órganos, indica si alguno posee células con información hereditaria distinta del resto del cuerpo: corazón, riñón, estómago, ojo, hígado y lengua.
7. ¿Cuántos cromosomas tienen las células de un ser humano? Todas las células tienen el mismo número de cromosomas?

UNIDAD 3. GENES Y HERENCIA

En esta unidad se acaba de presentar la estructura del material hereditario, ya que se muestra la naturaleza de los genes, su localización y las características de la transmisión de esta información. Por tanto, se introducen conceptos como homocigosis, dominancia y otros relacionados con la naturaleza de los genes y los alelos y su relación con los cromosomas. Finalmente, iniciamos la resolución de problemas de genética. De esta forma se completa el estudio de la teoría cromosómica de la herencia que se inició en la unidad 2.

Las secciones en las que se divide la unidad son:

- 3.1. *GENES Y ALELOS: ¿QUÉ SON Y DE QUÉ ESTÁN FORMADOS?*
- 3.2. *HOMOZIGOSIS Y HETEROZIGOSIS.*
- 3.3. *GENOTIPO Y FENOTIPO.*
- 3.4. *PROBLEMAS DE GENÉTICA.*

Objetivos de la unidad 3

Al acabar la unidad 3 el alumnado debe ser capaz de:

1. Conocer los conceptos de genotipo y fenotipo.
2. Conocer la localización de los genes y su relación con los cromosomas y ADN.
3. Distinguir genes y alelos y conocer su función.
4. Conocer los conceptos de homocigoto y heterocigoto.
5. Distinguir entre dominancia, recesividad, codominancia y herencia intermedia.
6. Conocer y saber utilizar la nomenclatura utilizada en la resolución de problemas de genética.
7. Resolver problemas de genética con patrón de herencia conocida.
8. Resolver problemas de genética en los que se desconoce el patrón de herencia.

3.1. GENES Y ALELOS: ¿QUÉ SON Y DE QUÉ ESTÁN FORMADOS?

En este apartado se acaba de completar el estudio de la naturaleza del material hereditario, destacando la relación entre genes, cromosomas y ADN. Una estrategia fundamental utilizada a lo largo de esta unidad es la presentación del segundo modelo de cromosoma.

Actividades de iniciación

Comunicación de los resultados del cuestionario inicial

En el cuestionario se han detectado numerosos errores conceptuales referidos a la naturaleza de los genes, a su localización y a los tipos de células que presentan genes. Antes de iniciar el estudio de esta unidad consideramos necesario dar a conocer las ideas que los propios alumnos tienen sobre los genes y los mecanismos de sus transmisión.

Presentación del modelo de cromosoma

Las actividades de iniciación de esta tercera unidad giran alrededor de la presentación del segundo modelo tridimensional de cromosoma. Recordemos que el primer modelo de cromosoma se confeccionó a partir del mismo material con el que se ilustró la ubicación del ADN y pretende evidenciar la relación existente entre ADN y cromosoma.

El modelo está recubierto por una superficie plástica sobre la que puede escribirse y borrarse fácilmente. Cada una de las fichas que representan los alelos pueden adherirse y despegarse con facilidad.

Actividad 1

Observa los dos modelos de cromosoma que el profesor acaba de mostrar. Responde a continuación a las siguientes preguntas:

1. El cromosoma está dividido en cinco porciones y en cada una de ellas hay escrita una cosa referida al organismo fantástico. ¿Qué crees que representan estas divisiones?
2. En los dos cromosomas aparece lo mismo. ¿Por qué?
3. Indica cuál es el origen de estos dos cromosomas.

Con esta primera actividad de iniciación el alumno toma contacto por primera vez con el modelo de cromosoma. Se presentan dos ejemplares idénticos para mostrar que estamos hablando de células diploides. Las cinco porciones en las que el profesor ha dividido el cromosoma corresponden con los cinco loci en

los que se encuentran los cinco genes que se estudiarán. En la unidad 1 se definieron las características del organismo fantástico que los alumnos han ideado y los cinco caracteres que ellos decidieron se corresponden con genes. En las cinco porciones, es decir, los loci, se ha escrito cada uno de los genes que ellos mismos definieron. En cualquier caso, aún no se introduce el término de gen, sino que se pretende que los alumnos relacionen las ideas transmitidas en la primera unidad con el modelo que ahora se les presenta.

Actividad 2

Ahora el profesor ha enseñado unas fichas adhesivas que pueden colocarse sobre cada una de las porciones definidas en el modelo de cromosoma. Cada una de esas fichas lleva escrita alguna cosa.

1. A partir de la observación de lo que lleva escrita cada una de las fichas, ¿qué crees que representa cada una de ellas?
2. ¿Son iguales todas las fichas?

Con esta actividad, que complementa la anterior, se completa la presentación del modelo de cromosoma, ya que cada ficha corresponde con un alelo de los genes definidos. El profesor no introduce aún los términos de gen y alelo, pero induce a la reflexión sobre el significado de esas fichas y por qué pueden pegarse sobre cada porción.

Finalmente, se pide a los alumnos que designen con una inicial cada una de las características de su organismo fantástico. Cada una de estas manifestaciones se localizará en las dos fichas correspondiente a los alelos, una en mayúscula y la otra en minúscula. Posteriormente, en las actividades de reestructuración de ideas, se dará sentido a todo el modelo. En el anexo 3 puede verse un ejemplo de modelo de cromosoma completo

Actividades de reestructuración de ideas

Introducción de conceptos

A partir de los modelos de cromosoma, el profesor explicita el significado de cada uno de los elementos que lo forman (cromosoma, locus, gen y alelo), usando siempre los modelos.

Este tipo de actividad de introducción oral de conceptos se apoya en el uso de los modelos, las partes del cual han sido graficadas en base a las características del organismo fantástico. Por tanto, mientras el alumno va recibiendo nuevas ideas, cuestiona las que tenía y le facilita el proceso de aplicación a nuevas situaciones, ya que casi de forma automática pueden

ponerlas en práctica sobre el organismo fantástico que los propios alumnos han creado.

También se utilizan los modelos de célula y de ADN para indicar a los alumnos la situación de los genes, pudiendo considerar correcto ubicar los genes tanto en la molécula de ADN como en los cromosomas.

Se explica el significado de las iniciales en las fichas que se corresponden con los alelos y que definimos en las actividades de iniciación para poder obtener dos alelos, uno dominante y otro recesivo, salvo en el carácter en el que los dos alelos son codominantes.

Actividad 3

A partir de unos folios de papel en blanco, construye un modelo de cromosoma similar al que ha presentado el profesor. Has de definir bien claramente los genes y los alelos, teniendo en cuenta que han de contener la información hereditaria del organismo fantástico.

3.2. HOMOZIGOSIS Y HETEROZIGOSIS.

Actividades de reestructuración de ideas

El modelo en papel de cromosoma con las características genéticas del organismo fantástico construido por el alumnado, permite que la introducción de nuevos conceptos se pueda aplicar sobre el modelo. Conceptos como homocigosis, heterocigosis o dominancia pueden ser explicados por el profesor y aplicados por el alumnado casi de forma simultánea. En este momento de la unidad también se introducen los conceptos de dominancia y herencia intermedia. Precisamente se pedía a los alumnos que algunas de las características de su organismo inventado presentase tres manifestaciones, dos que se presentan fenotípicamente en homocigosis y una tercera que se manifiesta en heterocigosis

Actividad 4

Hemos mostrado dos modelos de cromosoma con diferentes genes y cada gen con dos alelos (salvo uno que presenta tres). Intenta responder a las siguientes cuestiones:

1. ¿Qué representan las letras que hemos ido utilizando en el modelo?
2. ¿Por qué de cada gen hay dos alelos?
3. Hay un tipo de células que sólo tienen un alelo de cada gen, ¿sabes cuáles son?
4. ¿Por qué sólo tienen un alelo?

Actividades de aplicación de las nuevas ideas

Una vez que los alumnos ya tienen construido su propio modelo y se han introducido los nuevos conceptos referidos a la naturaleza de los genes y su localización y relación con el resto de estructuras relacionadas con la herencia, se propone la siguiente actividad de aplicación:

Actividad 5

A partir de la información que el profesor te suministra, construye los cromosomas con la información hereditaria que tendría tu organismo fantástico.

Indica en qué casos el organismo es homocigoto y en qué casos es heterocigoto.

Indica la relación de dominancia entre los alelos en cada caso.

En esta actividad el profesor va indicando las características de un individuo determinado de la especie que han inventado. Los alumnos han de construir los modelos colocando las etiquetas de los alelos correspondientes. Dado que cuando se definió el organismo fantástico se establecieron las relaciones de dominancia entre los alelos (que en la unidad 1 se definieron como manifestaciones distintas de un determinado carácter, esperando a definir alelo

en la presente unidad), el profesor puede indicar cómo será un determinado individuo usando expresiones como: "*homocigoto para el carácter X*".

Como ejemplo utilizaremos el organismo fantástico *Unimatripus alus* definido en el apartado 6.3.

"Construye los cromosomas con la información correspondiente a un *Unimatripus alus* que es homocigoto para el número de patas, heterocigoto para el número de alas, etc."

3.3. GENOTIPO Y FENOTIPO

Actividades de reestructuración de ideas

Introducción de conceptos

El uso de los modelos de cromosoma en el apartado anterior nos permite presentar definir el concepto de genotipo y fenotipo. Las características genotípicas y fenotípicas de su organismo fantástico se aplican sobre el modelo de cromosoma, tal y como hemos visto en la actividad 4.

Actividad 6

Seguro que tienes bien presente cómo es vuestro organismo inventado. Le habéis atribuido una serie de caracteres y eso le da un aspecto externo determinado. Pero hemos visto anteriormente que puede haber diferentes aspectos y puede haber organismos que tengan diferente información genética.

1. A partir de las características genotípicas que el profesor te vaya indicando, determina cómo será el fenotipo de tu ser fantástico.
2. Ahora lo haremos al revés, el profesor te irá indicando cuál es el fenotipo de tu organismo y tendrás que determinar los posibles genotipos usando el modelo de cromosoma que has construido.

Esta actividad permite al alumnado poner en práctica diferentes conceptos que se han visto a lo largo de la unidad y de la secuencia didáctica. Debe hacer uso del modelo de cromosoma y por tanto ha de manejar términos como gen y alelo, homocigoto y heterocigoto, dominancia y recesividad o genotipo y fenotipo. Además, el contexto en el que se utiliza el modelo es realmente próximo al alumnado, tanto es así, que es el propio estudiante el que ha creado el organismo sobre el que se trabajan y posteriormente aplican los conceptos.

A título de ejemplo y usando de nuevo el símil de *Unimatrix alus*, algunas de las preguntas que el profesor puede proponer son:

- ¿Cómo sería genóticamente un *Unimatrix alus* de dos alas, homocigoto para el número de patas, dos brazos, de color azul y seis dedos?
- A partir del siguiente genotipo de un individuo de *Unimatrix alus*, determina su fenotipo: PP ; Dd; aa; BB; VV. (ver tabla 5.5.)

Actividades de aplicación de las nuevas ideas

Actividad 7

En la primera unidad estudiamos algunos caracteres humanos como el aspecto del lóbulo de la oreja y otros. Ahora te proponemos ir un poco más allá. Define el gen y los alelos de los caracteres estudiados y nombra a cada alelo con una letra. Recuerda que también estudiaste cómo era tu familia. Determina el fenotipo de cada miembro de tu familia e intenta determinar cómo son genóticamente.

Con esta actividad se aplican los conceptos de gen, alelo, genotipo y fenotipo, además de hacer que los alumnos denominen cada alelo con una letra. Además, crea un conflicto sobre la dominancia de algunos caracteres humanos y, por tanto, pueden producirse dudas sobre el genotipo de los individuos de una familia. Este conflicto es aprovechado por el profesor para iniciar el proceso de resolución de problemas y sentar las bases del proceso de la meiosis que será estudiado en la unidad siguiente.

3.4. RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

En este último apartado de la unidad 3 se introduce en la resolución de problemas. Para ello utilizamos algunos caracteres humanos y los caracteres de los organismos inventados por el alumnado. Renunciamos al uso de especies utilizadas en la propuesta tradicional de problemas ya que resultan desconocidas para el alumno.

Como actividades de aplicación, presentamos los experimentos de Mendel y la herencia del sexo en los humanos.

Aunque se resuelvan problemas de genética, no se hace una explicitación de los procesos biológicos implicados, que serán estudiados en la unidad siguiente. En la unidad 4 se formularán nuevos problemas de genética pero en esa ocasión con la aplicación de los procesos meióticos implicados.

Esta actividad de iniciación debe ir acompañada necesariamente de los comentarios de apoyo del profesor, el cual, a medida que se va resolviendo el problema aprovecha para recordar conceptos ya trabajados.

Actividad 9

En el problema que acabamos de resolver se nos plantean algunas dudas:

1. ¿Qué representan las letras A y a?
2. ¿Qué células de las personas tienen información para el tipo de lóbulo de la oreja?
3. Cuando hemos hecho la tabla, hemos diferenciado A y a, ¿por qué crees que lo hemos hecho?
4. Pero a continuación hemos hecho coincidir filas y columnas hasta formar de nuevo parejas de letras, ¿qué crees que hace posible esa unión de letras?
5. Hemos obtenido cuatro combinaciones, pero hablamos siempre en porcentaje, por tanto, no nos referimos a que una pareja tenga 4 hijos, sino al tanto por cien. Si efectivamente tuvieran 8 hijos, ¿cuántos serían homocigotos recesivos?

Esta actividad complementa la anterior y ha de permitir sentar las bases conceptuales del proceso de resolución de problemas. Se pretende que el alumnado identifique los alelos y sea consciente de su origen y localización. Se intenta que los estudiantes relacionen la presencia de gametos haploides con un solo alelo en la tabla de Punnett y que estamos representando procesos de segregación de alelos y de fecundación para formar células diploides. Por último, es importante destacar el aspecto matemático en la resolución de problemas y el significado del porcentaje.

Actividades de reestructuración de ideas

Actividades 10 y siguientes

A partir de aquí se plantean diferentes tipos de problemas sencillos de herencia humana y otros aplicando el organismo fantástico inventado. En una primera fase se proponen problemas con modelo de herencia conocido y a continuación problemas planteados como árbol genealógico sin proporcionar el modelo de herencia. Dado que la dinámica de cada grupo clase es específica y el organismo inventado diferente, mostramos algunos ejemplos de problemas,

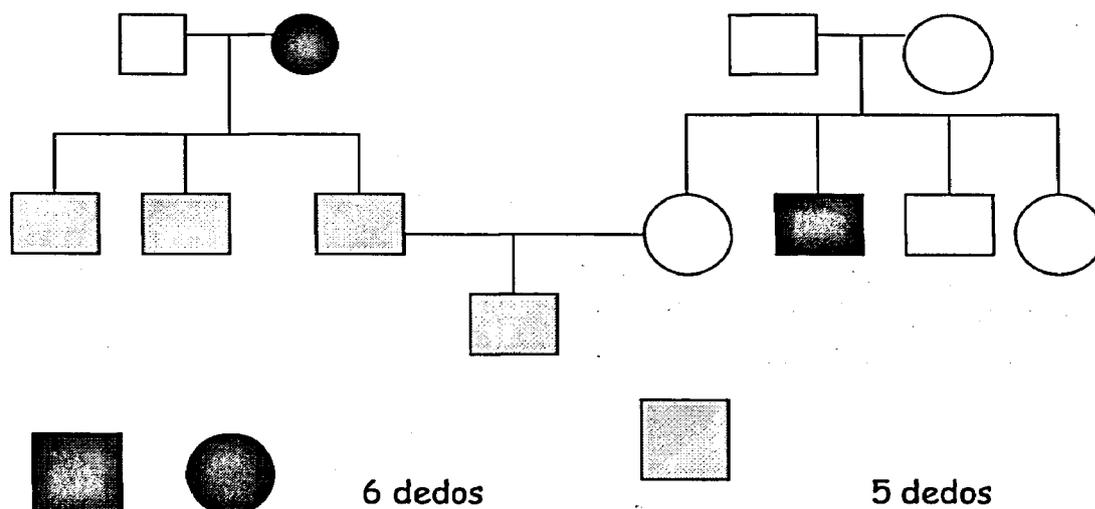
pero en la aplicación en el aula de la propuesta didáctica se plantearon un número mayor de ejercicios.

La metodología de resolución que se plantea consiste en afrontar el problema de manera individual y posteriormente en pequeño grupo. Finalmente, los problemas son resueltos en la pizarra por alumnos, propiciando el profesor la participación de todo el grupo-clase en la discusión de la actividad.

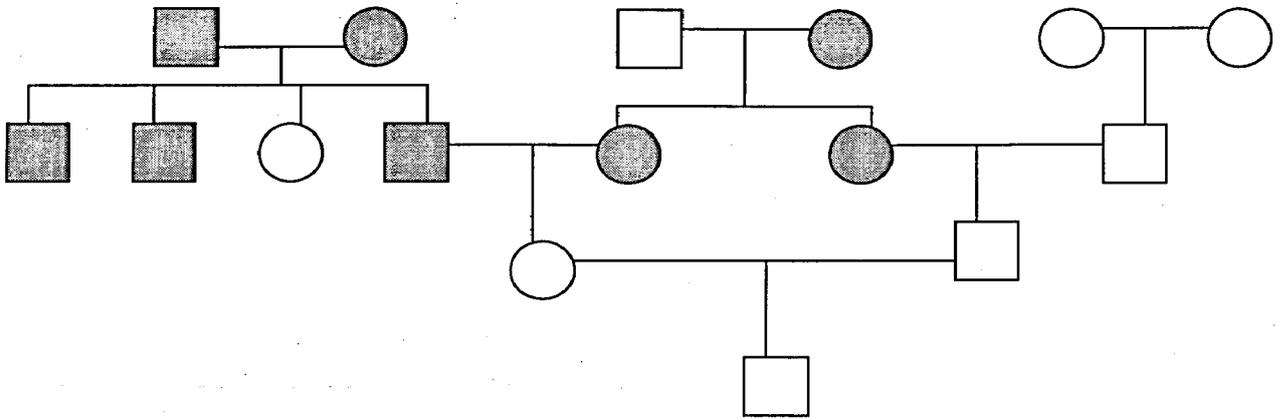
1. El albinismo es un carácter recesivo. Un hombre albino y una mujer sana heterocigota ¿cuántos hijos albinos tendrán?
2. Poder enrollar la lengua en "U" es un carácter dominante sobre no poder hacerlo. ¿Cuántos hijos de una pareja heterocigota podrán enrollar la lengua?
3. Se cruza un *Unimatrix alus* homocigoto de 6 dedos con una hembra de 5 dedos. Determina cómo será la descendencia genotípica y fenotípicamente para este carácter.
4. ¿Cuántos hijos con 2 brazos es probable que nazcan de una *Unimatrix* con 2 brazos y un *Unimatrix* heterocigoto para este carácter?

Durante la resolución de estos problemas el profesor plantea, de manera constante y casi repetitiva, preguntas que permitan a los alumnos explicar el procedimiento que han seguido para resolver el ejercicio y qué conceptos son necesarios para hacerlo con éxito.

1. Cómo deben ser genotípicamente los padres de un *Unimatrix* de 6 dedos, sabiendo que ambos progenitores tienen 5 dedos.
2. Determina el genotipo de toda esta familia de *Unimatrix* y el fenotipo de los miembros que no aparecen sombreados.

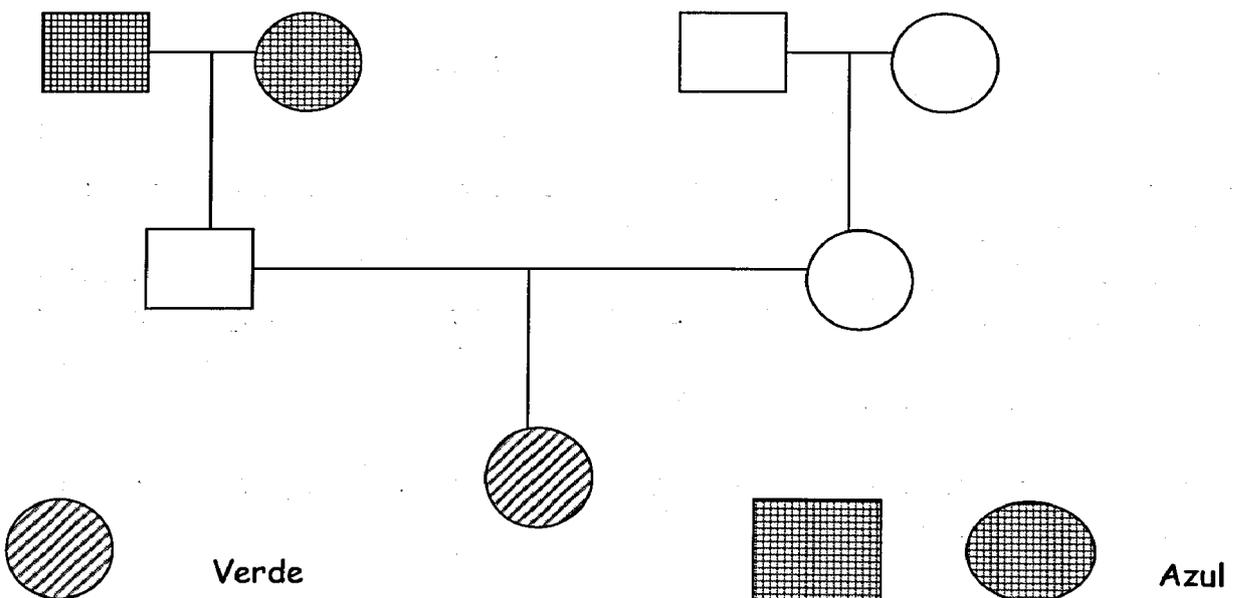


La capacidad de poner la lengua en "U" es un carácter dominante sobre la incapacidad para hacerlo. Se ha estudiado cómo es una familia para este carácter y se ha obtenido el siguiente árbol genealógico. Determina el genotipo de toda la familia.



-  Hombre con lengua en U
-  Mujer con lengua en U
-  Hombre incapaz de hacer lengua en U
-  Mujer incapaz de hacer lengua en U

Determina el genotipo de toda la familia de *Unimatripus* que se muestra.



Este tipo de problemas implica la puesta en práctica algunos de los contenidos procedimentales descritos en el apartado 6.2.2. Es necesario formular hipótesis y elaborar estrategias mentales para poder determinar el genotipo de la familia.

Los ejercicios planteados en las actividades de iniciación pueden resolverse de manera sencilla aplicando un algoritmo, son los problemas llamados de causa-efecto. No obstante, se pide a los alumnos que razonen las decisiones que toman.

Los problemas planteados en las actividades de reestructuración de ideas, sin embargo, necesitan aplicar un razonamiento hipotético-deductivo, son los denominados problemas efecto-causa.

Actividades de aplicación de las nuevas ideas

Después de una breve referencia histórica a la figura de Gregor Mendel, se destaca su figura por ser considerado el padre de la genética, aun cuando sus estudios no tuvieron un eco importante hasta el comienzo del siglo XX. Llegados a este punto de la secuencia didáctica, los alumnos ya saben resolver problemas de genética y, por tanto, pueden percibir el significado de los experimentos realizados.

Actividad 11 (consideramos la actividad 10 como un conjunto de problemas)

Mendel utilizó la planta del guisante del género *Pisum* para llevar a cabo sus experimentos y estudió 7 caracteres, que presentan dos formas alternativas cada una:

- Forma de la semilla: redondeada o angulosa.
- Color del albumen: amarillo o verde.
- Color del tegumento: blanco o gris.
- Forma de la vaina: lisa o estrangulada.
- Color de la vaina inmadura: verde o amarilla.
- Posición de las flores: axiales o terminales.
- Longitud del tallo: largo o corto.

1. ¿Encuentras alguna similitud entre los caracteres estudiados por Mendel y tu organismo fantástico?

2. Enumera los genes y los alelos diferentes de los caracteres estudiados por Mendel. Propón una nomenclatura para cada uno de ellos.

Mendel cruzó lo que llamaba "razas puras" de cada manifestación, es decir, plantas con semillas redondeadas las cruzó con plantas con semillas angulosas.

1. ¿Qué crees que quiere decir "raza pura"?

2. Haz el cruzamiento entre dos razas puras redondeadas y angulosas y anota los resultados genotípicos.

3. ¿Qué conclusión puedes obtener?

reestructuración de ideas. Al final de dicha actividad el alumnado puede llegar a formular la primera ley de Mendel.

La conclusión que extraemos del primer experimento podemos decir que es la primera ley de Mendel. Pero sigamos con el experimento. Después cruzó los descendientes de las dos razas puras, que se llama F1, y observó cosas que le sorprendieron.

1. ¿Cómo es genotípicamente la F1?
2. ¿Qué significan las dos letras que nos muestra el genotipo?
3. Cruza dos individuos de la F1 y anota los resultados que obtienes genotípica y fenotípicamente. La generación de plantas que nazcan se llama F2.
4. Escribe los porcentajes que has obtenido.
5. Estos resultados son los obtenidos por Mendel hace siglo y medio. ¿Te atreves a formular la segunda ley?

La actividad 12 debe ir acompañada del papel del profesor como elemento orientador y que haga de recordatorio de las actividades e ideas ya trabajadas.

En nuestra opinión, la tercera ley de Mendel, es decir, la herencia de dos caracteres, no debe ser abordada en educación secundaria obligatoria y es preferible su estudio en bachillerato.

Después de finalizar el estudio de los experimentos de Mendel, proponemos otra actividad de aplicación relacionada con la herencia del sexo. Se plantea como ejercicio en el que se pretende averiguar el sexo de un hijo, pero se aplican ideas de la unidad 2, como es el concepto de cromosoma. Esta actividad servirá para abordar problemas de herencia ligada al sexo en la siguiente unidad.

Actividad 13

Sandra y Julia están sentadas en su banco preferido del patio del instituto. Julia es la cuarta chica de una familia de cinco hijas. Sandra no tiene hermanos y tiene cierta envidia a su amiga.

Sandra: ¡Qué suerte ser tantos hermanos! Nunca te encontrarás sola.

Julia: Tienes razón. Nunca tengo un momento para mí sola. Tú sí que tienes suerte, tan tranquilita en tu habitación y toda la casa para ti.

Sandra: Pues nunca lo había visto así, la verdad. De todas formas, con tantas chicas en casa,... debe ser divertido. Seguro que sois buenas amigas.

Julia: En eso tienes razón. Aunque a mis padres les hubiera gustado tener un niño, pero creo que es que no pueden tener varones, sólo mujeres.

Sandra: ¡Pero qué dices! Eso no es cierto.

Julia: Claro que lo es. Se lo escuché decir a mi abuela. Mis padres sólo pueden tener chicas.

Sandra: Eso no es verdad, te lo aseguro. Es solo suerte, o como diría el "profe" de mates, probabilidad.

Julia: Yo creo que si mis padres tuviesen un sexto hijo volvería a ser chica.

Sandra: ¿Quieres que te demuestre que no?

Julia: ¡Adelante!

1. Intenta ayudar a la Sandra y emite alguna hipótesis sobre cómo se transmite el sexo. Una pista: recuerda el cariotipo.

Actividad 14

Seguro que has dado una buena respuesta a la Julia. En cualquier caso has de saber que el cromosoma número 23 es el sexual y tenemos dos: cromosoma X y cromosoma Y. Una mujer es XX y un hombre es XY.

1. ¿Qué quiere decir ser XX o XY?
2. ¿De dónde provienen los cromosomas sexuales?
3. Si un individuo adulto se forma a partir de un cigoto, que tiene 23 pares de cromosomas, ¿qué células de nuestro cuerpo tienen cromosomas sexuales?
4. ¿Cuántos cromosomas sexuales tienen los gametos?
5. ¿Un hombre qué tipos de espermatozoides diferentes tendrá por lo que a los cromosomas sexuales se refiere? ¿Y una mujer?
6. Haz una tabla de Punnett para demostrar que es igual de probable tener un hijo que una hija.

Actividad 15

En la clase de biología de hoy, el profesor de Juan y sus amigos ha explicado cómo los científicos crearon la primera oveja clónica. El profesor les ha explicado que se extrajo una célula mamaria de la oveja que se quería clonar y se aisló su núcleo del resto de la célula. Se extrajo un ovocito de otra oveja y se eliminó su núcleo. Posteriormente se introdujo el núcleo de la célula mamaria en el ovocito de la segunda célula. Por tanto, obtuvieron un ovocito con un núcleo diploide y a partir de aquí se desarrolló un embrión que dio lugar a una oveja clónica genéticamente idéntica a la primera.

Lee a continuación el diálogo que mantienen Juan y Miguel:

- Juan: O sea, que según lo que ha dicho el "profe", a partir de cualquier célula podemos obtener un nuevo ser idéntico.
- Miguel: Exacto, sólo hace falta extraer una célula e introducirla en el ovocito de la que será la madre del clon.
- Juan: Pero si, por ejemplo, sacamos una célula de la glándula mamaria, ¿estas células tendrán todos los genes y cromosomas del organismo o únicamente los necesarios para la función de la glándula mamaria?
- Miguel: Hombre, yo creo que cada célula tendrá los cromosomas que necesite.
- Juan: Pues ahora me haces dudar. Según tú, ¿las células sexuales sólo tienen los cromosomas sexuales, es decir, los X e Y?
- Miguel: ¡Exactamente!

1. Según Miguel, cada célula tiene los genes y los cromosomas que necesita para hacer su función. Explica razonadamente tu opinión sobre dicha afirmación.
2. Juan cree que cualquier célula tiene todos los genes y los cromosomas de la persona, aunque muchos no los necesita para llevar a cabo su función. ¿Es esto verdad? ¿Por qué?
3. Como ya sabes, los seres humanos tenemos 23 pares de cromosomas, siendo el par número 23 el formado por los cromosomas sexuales. Ni Juan ni Miguel tienen claro dónde se encuentran estos cromosomas, si en las células sexuales o en todas las células del organismo. Teniendo en cuenta lo que has contestado en las dos preguntas anteriores, ¿quién crees que tiene razón y por qué?

UNIDAD 4. TRANSMISIÓN DE LA INFORMACIÓN HEREDITARIA: MITOSIS Y MEIOSIS

En esta unidad se estudian los aspectos relacionados con la transmisión de la información hereditaria, es decir, la mitosis en tanto que transmisión de célula madre a célula hija y la meiosis. Se pretende desarrollar en el alumnado la capacidad de distinguir estos dos procesos celulares y relacionar la meiosis con la transmisión de información hereditaria de una generación a la siguiente, dotar de variabilidad genética a la especie y producir los gametos. Este proceso se relacionará directamente con la resolución de problemas.

Las secciones en las que se divide la unidad son:

- 4.1. *¿CÓMO SE DESARROLLA UN ZIGOTO? MITOSIS.*
- 4.2. *MEIOSIS: LA FORMACIÓN DE LOS GAMETOS.*
- 4.3. *RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS Y MEIOSIS.*

Objetivos de la unidad 4

1. Conocer la localización de los cromosomas, reconociendo la estructura de una célula en división celular.
2. Conocer el concepto y función de gameto.
3. Distinguir entre célula haploide y célula diploide.
4. Conocer el concepto de cigoto
5. Reconocer los procesos de división celular de mitosis y meiosis como mecanismos de transmisión de información hereditaria.
6. Conocer el papel de la mitosis como forma de división asexual.
7. Conocer el papel de la meiosis como proceso de formación de gametos y de origen de diversidad genética.
8. Conocer y saber utilizar la nomenclatura utilizada en la resolución de problemas de genética.
9. Aplicar los procesos de meiosis en la resolución de problemas.
10. Resolver problemas de genética en los que se desconoce el patrón de herencia.

4.1. ¿CÓMO SE DESARROLLA UN ZIGOTO? MITOSIS.

Actividades de iniciación

En las unidades anteriores se ha hecho referencia, aunque de manera superficial, al proceso de formación del cigoto y su desarrollo. En esta unidad se afianzarán los conceptos sobre la formación de un cigoto y el significado de la mitosis.

Como actividad única de iniciación proponemos al alumnado que explique sobre el papel a través de un dibujo comentado, cómo se forma el cigoto, a partir de qué elementos y cómo se desarrolla hasta dar lugar a un individuo.

Actividades de reestructuración de ideas

Introducción de conceptos y presentación del modelo

La primera actividad de reestructuración de ideas consiste en la presentación del modelo de mitosis. A partir de una representación de un espermatozoide y de un ovocito, se presenta un cigoto y formas iniciales de un embrión. Posteriormente se introduce el modelo de mitosis, confeccionado con diferentes fichas en formato papel y cartón pluma. Cada una de las fichas corresponde a un momento de la división celular, aunque sin entrar a detallar las cuatro fases. Consideramos mucho más importante que los alumnos sean conscientes del significado biológico de este proceso celular y otros aspectos relacionados con la herencia biológica que memoricen nombres y procesos que tal vez no puedan contextualizar.

A medida que el profesor va construyendo y desarrollando el modelo, se explicitan y recuerdan conceptos ya trabajados. Nos interesa especialmente que el alumno pueda ser capaz de:

- Localizar correctamente el material hereditario y relacionar ADN y cromosomas.
- Comprobar que los cromosomas son visibles cuando la membrana nuclear desaparece.
- Distinguir las dos cromátidas de cada cromosoma y que la información genética que poseen ambas es idéntica.
- Diferenciar conceptos como cromátida hermana y cromosoma homólogo.
- Saber que antes de la división celular es necesario que se produzca la duplicación del ADN.

Actividades de aplicación

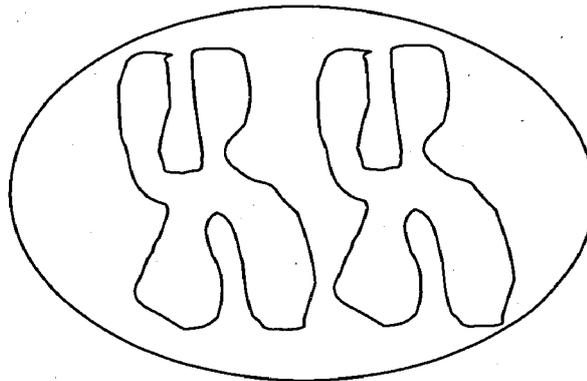
Actividad 1

Ya has visto cómo el profesor ha desarrollado los procesos implicados en la mitosis a través de un modelo que él mismo ha diseñado. Ahora serás tú quien debe construir un nuevo modelo que permita explicar los procesos implicados en esta división celular. Utiliza hojas de papel y lápices de colores para confeccionar las fichas. A continuación colócalas en el orden adecuado.

En esta actividad seguimos el mismo planteamiento que sugerimos cuando los propios alumnos construyeron su modelo de cromosoma. Cada alumno diseña su propio modelo y ha de colocar cada ficha sobre la mesa en el orden adecuado.

Actividad 2

El dibujo representa una célula de una especie animal durante la metafase de una célula de su piel. Obsérvalo y contesta después las preguntas:



1. ¿Cuántos cromosomas aparecen en el dibujo?
2. ¿Cuántas cromátidas aparecen en el dibujo?
3. La célula se representa durante un momento de la división celular. ¿Se ha producido ya la duplicación del ADN? ¿Cómo lo sabes?
4. Imagina que es una célula de piel y esta especie presenta albinismo. Si pertenece a un individuo heterocigoto Aa, sitúa en el dibujo los alelos correspondientes.
5. Dibuja una célula del corazón de este animal. Tendrá la misma información que la célula de la piel?

4.2. MEIOSIS: LA FORMACIÓN DE LOS GAMETOS.

Actividades de iniciación

Las actividades de iniciación se plantean a partir de la última fase del modelo de mitosis. En dicho modelo, aparece un individuo y el profesor hace aparecer un nuevo individuo de otro sexo. Se recuerdan los conceptos trabajados en la unidad 2 sobre el número de cromosomas que tienen las células de un organismo y las células de los gametos. En ese momento se formulan preguntas al alumnado como las que se presentan a continuación:

1. ¿Por qué las células somáticas humanas tienen 46 cromosomas y los gametos tienen la mitad?
2. ¿Qué sucedería si las células sexuales tuviesen también 46 cromosomas?
3. ¿Dónde se forman las células sexuales?

Actividades de reestructuración de ideas

Creación de un conflicto cognitivo

Interesa crear el conflicto entre los alumnos respecto del diferente número de cromosomas de los gametos y las células somáticas. A partir de las respuestas dadas en las actividades de iniciación, se intenta favorecer la aparición de dudas y la discusión de las posibles explicaciones dadas por el alumnado.

Introducción de conceptos y presentación del modelo

A partir de un modelo de meiosis se van introduciendo los conceptos fundamentales para que el alumnado pueda ser capaz de conocer el papel de la meiosis en la reproducción sexual de los seres vivos y su importancia en la transmisión de información hereditaria de una generación a la siguiente.

No somos partidarios de detallar las fases de este proceso de división celular, pero sí de insistir en algunos aspectos relevantes:

- Papel de la meiosis como proceso formador de los gametos.
- Localización de los órganos donde se produce la meiosis.
- Necesidad de la meiosis como proceso que permite la reducción cromosómica.
- Responsabilidad de la meiosis en la variabilidad genética de la descendencia.
- Relación de la segregación de los alelos durante la meiosis con la resolución de problemas.

- Diferenciar los procesos de división celular mitótico y meiótico.

Actividades de aplicación de conceptos

Actividad 3

1. Ya has visto cómo el profesor ha desarrollado los procesos implicados en la meiosis a través de un modelo que él mismo ha diseñado. Ahora serás tú quien debe construir un nuevo modelo que permita explicar los procesos implicados en esta división celular. Utiliza hojas de papel y lápices de colores para confeccionar las fichas. A continuación colócalas en el orden adecuado.
2. ¿Qué diferencias existen entre la mitosis y la meiosis?
3. ¿En qué se diferencian las células obtenidas en la mitosis de las células obtenidas en la meiosis?

Actividad 4

Ya sabes que cuando un espermatozoide y un ovocito se fusionan se forma un cigoto y se une el material hereditario de ambas células. Es decir, el cigoto contiene la mitad de la información genética del padre y la mitad de la madre.

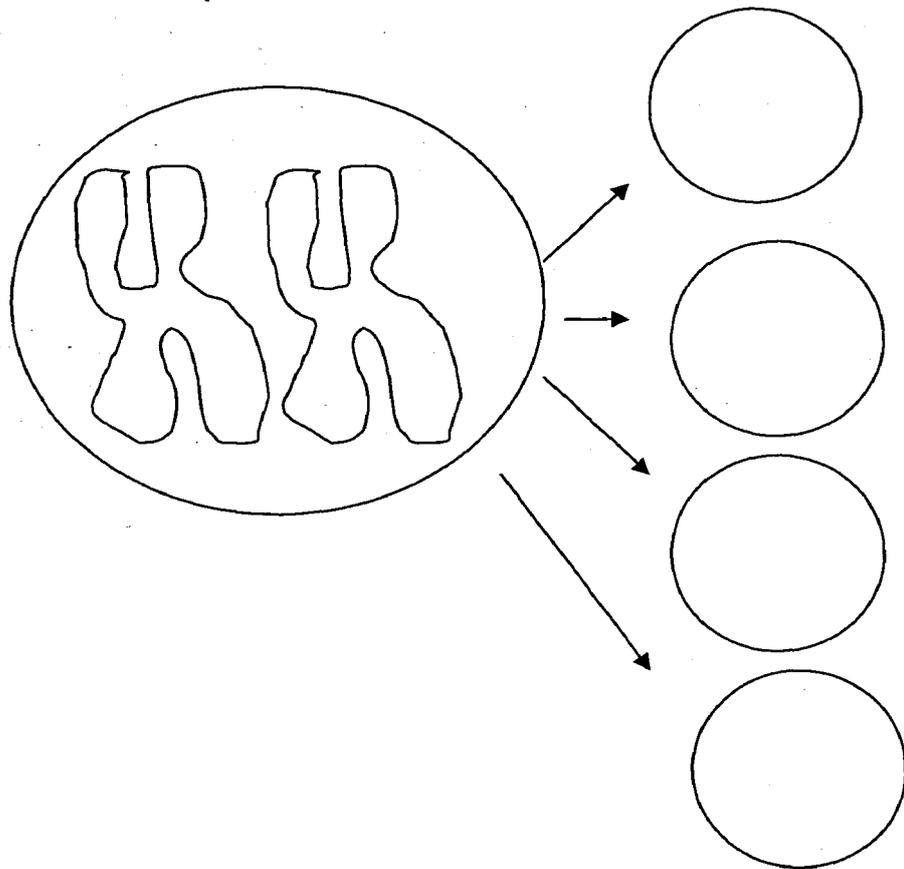
1. ¿Qué características diferentes a las del resto de células del organismo han de tener los gametos?
2. Las células humanas tienen 46 cromosomas. ¿Cuántos cromosomas tiene un cigoto?
3. ¿Y las células sexuales?
4. ¿Cuántos cromosomas diferentes tienen nuestras células?
5. Indica qué células son haploides y qué células son diploides

Esta actividad puede parecer redundante a otras similares planteadas en otros apartados, pero las situaciones que se plantean son especialmente conflictivas

y generan errores conceptuales, por lo que nos parece acertado aplicar los conceptos de meiosis como proceso formador de gametos y relacionarlo con los conceptos de haploide y diploide y las distintas dotaciones genéticas que poseen.

Actividad 5

El dibujo representa una célula de ovario del mismo organismo de la actividad 2 durante una división celular meiótica. Aparecen cuatro pequeños círculos que representan las células que se forman al acabar la meiosis.



1. Representa en los cromosomas de la célula los mismos alelos que en la actividad anterior, es decir, Aa.
2. Representa en las cuatro células que se han formado los cromosomas que hayan recibido, con su alelo correspondiente.
3. Indica qué células son haploides y qué células son diploides y porqué.
4. ¿Son iguales todos los cromosomas que aparecen en el dibujo? Razona la respuesta.
5. ¿Qué relación tiene este proceso con la resolución de problemas que hemos practicado en la unidad anterior?

4.3. RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS Y MEIOSIS.

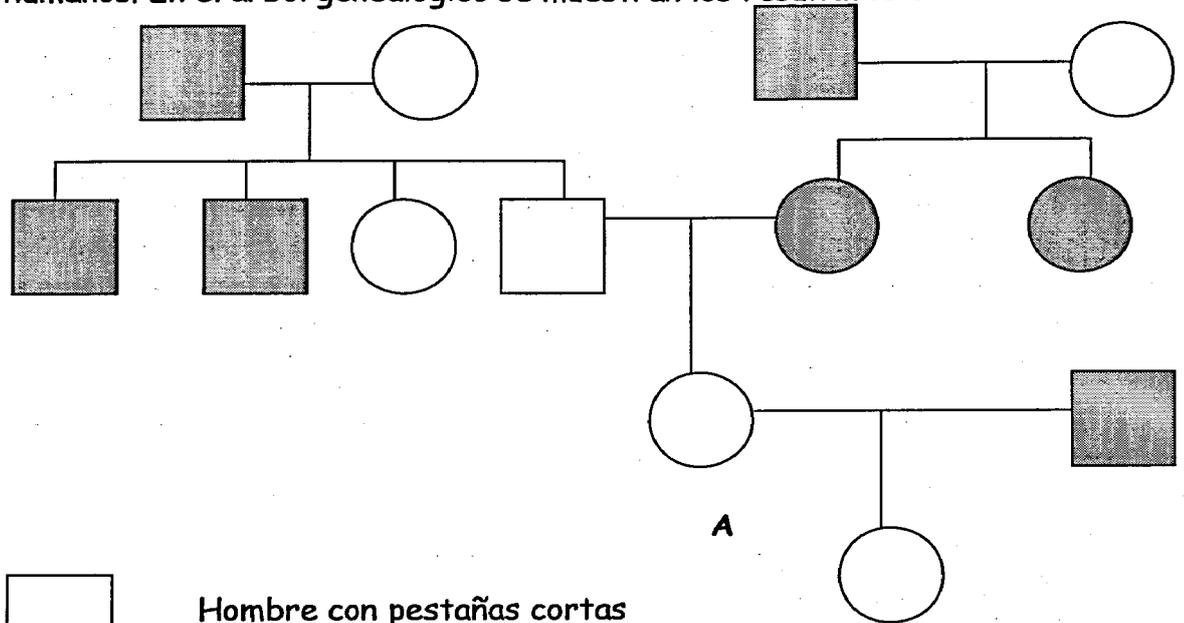
En la unidad anterior se introdujo la resolución de problemas desde diferentes metodologías y planteamientos. Desde sencillos problemas con modelo de herencia conocida se pasó a problemas en los que el alumno debía determinar el genotipo de toda una familia representada en árboles genealógicos. Se presentaron situaciones aplicadas a la especie humana y posteriormente al organismo fantástico que han diseñado, hasta llegar a los experimentos de Mendel.

En este apartado se plantean problemas en los que el alumnado, además de resolverlos debe razonar y relacionar con el proceso de segregación de alelos durante la meiosis. Podemos considerar que las actividades que se plantean son de aplicación de los conceptos presentados en el apartado anterior, es decir, la meiosis y también de la unidad 3. También planteamos problemas de herencia ligada al sexo y de alelomorfismo múltiple, es este último caso, del grupo sanguíneo AB0.

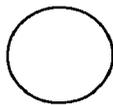
A continuación presentamos un ejemplo de problema que se relaciona con la meiosis. No obstante, durante la aplicación de la secuencia didáctica se plantean diferentes ejercicios en base al organismo que hayan diseñado, por lo que con cada grupo de alumnos varía el planteamiento de los ejercicios.

Actividad 6

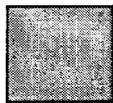
Se ha estudiado cómo se hereda el gen que determina la longitud de las pestañas en los humanos. En el árbol genealógico se muestran los resultados obtenidos:



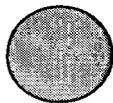
Hombre con pestañas cortas



Mujer con pestañas cortas



Hombre con pestañas largas



Mujer con pestañas largas

1. Establece qué alelos presenta este gen y una nomenclatura adecuada.
2. ¿Qué alelo es dominante y qué alelo es recesivo?
3. Determina el genotipo de toda la familia.
4. ¿Tienen alguna cosa que ver los cromosomas en la solución de este problema?
5. ¿Y la meiosis?
6. Dibuja una célula de ovario de la mujer A durante la meiosis. Dibuja los posibles ovocitos que puedan formarse. En dichos dibujos representa los cromosomas con los alelos correspondientes.

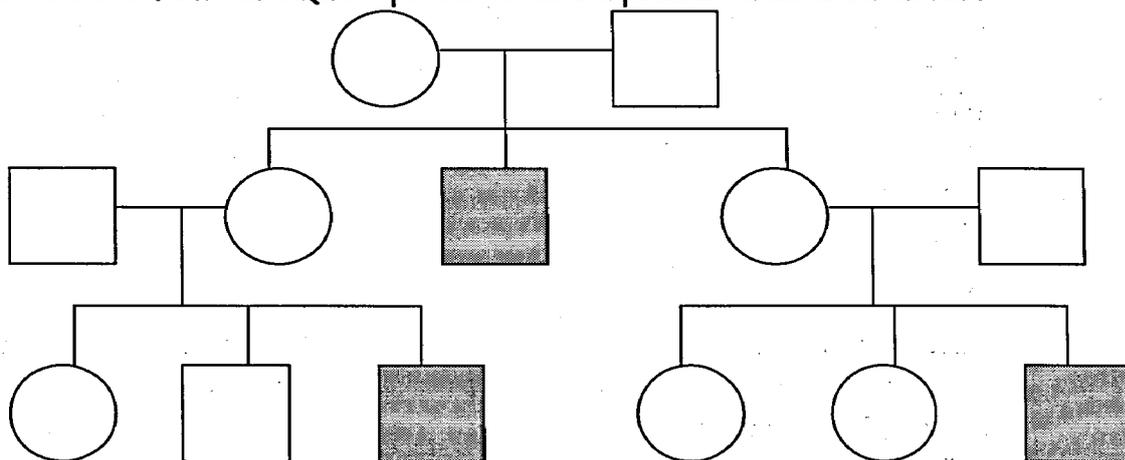
Actividad 7

En esta actividad se explicita al alumnado que determinados genes se encuentran localizados en los cromosomas sexuales, se trata de la herencia ligada al sexo. El alumnado ya conoce la existencia de los dos cromosomas sexuales y el hecho de que un individuo XX es de sexo femenino y un individuo XY es de sexo masculino. A partir de aquí, se plantean problemas de herencia ligada al sexo como aplicación de diferentes ideas que han aparecido a lo largo de las unidades anteriores y los conceptos introducidos ahora de nuevo.

La hemofilia es una alteración en los mecanismos de coagulación de la sangre debida a la presencia de un alelo recesivo en el cromosoma X. Una mujer sana, cuyo padre era hemofílico, tiene descendencia con un hombre sano. Determina el genotipo de la pareja y de los padres de la mujer, así como el de los posibles hijos que pudieran tener.

Actividad 8

El siguiente árbol genealógico muestra los miembros de una familia afectados por distrofia muscular de Duchenne. Esta enfermedad supone una progresiva atrofia muscular y comienza a afectar a los pocos años de vida. Determina el genotipo de todos los miembros de la familia. ¿Qué tipo de herencia presenta este carácter?



Actividad 9

En esta actividad se explicita al alumnado que determinados genes pueden presentar 3 alelos y la combinación de los dos alelos de cada célula puede representar la existencia de diferentes fenotipos. Como ejemplo clásico, pero cercano al alumno, se propone el caso del grupo sanguíneo AB0. A partir de la introducción de conceptos se plantean problemas para aplicar las nuevas ideas.

Sandra sigue charlando con Julia sobre los hermanos de ésta. El otro día fueron a hacerse una revisión médica y les extrajeron sangre y además de controlar los parámetros hematológicos y bioquímicos, les determinaron el grupo sanguíneo. Julia se quedó sorprendida, porque sus hermanas son de grupo sanguíneo A y B, mientras que ella es O.

Julia: Sandra, no entiendo nada. Mis hermanas son A o B mientras que yo soy la única que tengo el grupo sanguíneo O.

Sandra: ¿Y dónde está el problema?

Julia: ¿Qué dónde está el problema? ¡Mi madre es A y mi padre es B! ¿De dónde he salido yo?

Sandra se echa a reír y le explica a su amiga lo que sucede. ¿Sabes tú lo que sucede?

Después de plantear diferentes tipos de problemas a lo largo de la unidad 3 y en esta unidad, el profesor puede proponer nuevos ejercicios de herencia ligada al sexo o alelomorfismo múltiple, siguiendo el patrón que hemos mostrado en estas últimas actividades.

UNIDAD 5. BIOTECNOLOGÍA. APLICACIONES DE LA GENÉTICA.

En esta última unidad de la secuencia didáctica se introducen conceptos sobre la aplicación de la genética en el campo de la agricultura, medicina o aprovechamiento animal. Se plantean situaciones que pueden sugerir problemas éticos, como la clonación, el uso de transgénicos, etc.

Dada la naturaleza de los temas a tratar, la intervención del profesor ha de centrarse de manera notable en potenciar la participación y la reflexión del alumnado, además de no olvidar los elementos de alfabetización científica que en estos temas se hace imprescindible.

Aunque el estudio de las aplicaciones de la genética también puede ser tratado de manera transversal a lo largo de toda la secuencia didáctica, nosotros hemos optado por dedicar una unidad específica para tratar estos temas. En los libros de texto se hace alguna referencia a estos aspectos, pero siempre a modo de lectura complementaria o actividad de ampliación de conocimientos al final del tema. En nuestra opinión, el estudio de la biotecnología debe ser considerado como unidad independiente, si bien es cierto que puede suponer la aplicación de conceptos previamente trabajados. De esta manera se da la debida importancia a temas que ya no son el futuro de la genética sino el presente y estamos viviendo de manera apreciable sus aplicaciones. Por esta razón, se insistirá especialmente en aspectos actitudinales, ya que los estudiantes actuales son también ciudadanos que deben tener criterio sobre temas que pueden tener implicaciones éticas.

Las secciones en las que se divide esta unidad son:

5.1. PROYECTO GENOMA HUMANO

5.2. ¿QUÉ SON LOS TRANSGÉNICOS?

5.3. OTRAS APLICACIONES DE LA GENÉTICA: TERAPIA GÉNICA Y USOS EN MEDICINA. CLONACIÓN.

Objetivos de la Unidad 5

En esta unidad, los objetivos referidos a conceptos no son por sí solos los más importantes a alcanzar, ya que los objetivos actitudinales deben ser tenidos muy en cuenta.

1. Conocer las técnicas más habituales de reproducción asistida.
2. Conocer las técnicas de obtención de organismos transgénicos y su aplicación en agricultura, ganadería y medicina.
3. Conocer las posibilidades de la terapia génica.
4. Conocer las técnicas para la obtención de clones.

5. Conocer las investigaciones relacionadas con el Proyecto Genoma Humano.
6. Participar de forma activa en debates, utilizando los términos y conceptos estudiados.
7. Valorar la importancia de estar bien formado en genética para valorar las noticias que los medios de comunicación difunden sobre los avances en ingeniería genética.
8. Valorar el papel de las investigaciones en genética en campos como la agricultura, medicina, ganadería.
9. Valorar la importancia de las técnicas de reproducción asistida.
10. Valorar de manera crítica las implicaciones de la obtención de organismos y alimentos transgénicos.
11. Valorar de manera crítica las técnicas de manipulación genética y la terapia génica.
12. Identificar y valorar los problemas y ventajas de la clonación y de todas las técnicas de ingeniería genética.
13. Valorar la importancia del conocimiento del Genoma Humano y sus repercusiones en medicina

Actividades de iniciación

Antes de iniciar el estudio de los diferentes apartados en los que hemos dividido esta unidad, presentaremos a los alumnos una primera actividad de iniciación de toda la unidad. A continuación, abordaremos actividades de reestructuración de ideas de cada apartado.

Esta actividad de iniciación consiste en un debate en la clase en el que se siguen los siguientes pasos:

1. El profesor presenta el tema del debate: *¿Puede aceptarse la manipulación genética?*
2. El profesor introduce algunos elementos para la reflexión, sin entrar a profundizar pero actuando de forma sugerente para abrir posibles elementos de discusión. Por ejemplo se comenta si creen que suponen algún problema para la salud los alimentos transgénicos o si éticamente es admisible la manipulación de genes de seres vivos y eventualmente de seres humanos.

3. A partir de aquí los alumnos expresan su opinión sobre el tema. El profesor ha de propiciar que el alumnado exprese sus ideas y opiniones sobre el asunto, permitiendo que surja un debate.
4. A medida que el alumnado va expresando sus ideas, el profesor va apuntando posibles aportaciones de la genética, pero sin entrar a especificar conceptualmente la técnica.
5. Finalmente, se recogen las ideas principales que han aparecido a lo largo de la discusión y se hacen públicas a través de la pizarra.

5.1. *PROYECTO GENOMA HUMANO*

Actividades de reestructuración de ideas

Introducción de conceptos

El profesor presenta el Proyecto Genoma Humano desde su inicio en 1990 hasta la actualidad. Es importante insistir en el significado del conocimiento del genoma humano y de la limitación de la información que se tiene actualmente. No obstante, es interesante introducir elementos que tengan una aplicación directa, como sería el caso de genes que se hallan implicados en determinados cánceres.

Búsqueda de información

Actualmente hay un gran volumen de información relacionada con el genoma humano disponible en internet. Se pide a los alumnos que busquen genes que han sido localizados y de los que se tiene suficiente información.

Actividad 1

Se ha descubierto que cuando el gen BRCA1 presenta una mutación, se incrementa la probabilidad de que una mujer padezca cáncer de mama. En mujeres con historia familiar de cáncer de mama, una mutación en dicho gen supone un riesgo del 85% de padecer la enfermedad.

Técnicamente es posible detectar la alteración y hay mujeres que desean someterse a la prueba que lo indica. Pero esto plantea algunas preguntas. Intenta responder a ellas.

1. ¿Es ética o psicológicamente recomendable someterse a la prueba?
2. Que se presente la mutación no implica necesariamente la aparición de la enfermedad, entonces ¿qué sentido crees que tiene intentar averiguarlo?
3. En Estados Unidos hay laboratorios que diseñan protocolos para detectar la mutación, con el beneficio económico que supone. ¿Qué opinas?
4. Si una persona tiene alguna mutación que puede favorecer la aparición de esta enfermedad u otra que se pudiera detectar, ¿esa información ha de ser reservada?
5. Imagina lo que pasaría si las empresas de seguros y las mutuas médicas pidiesen a sus abonados la práctica de determinadas pruebas sobre alteraciones genéticas de riesgo.

Actividades de aplicación de las nuevas ideas

Actividad 2

Enumera los posibles beneficios que puede suponer conocer completamente el genoma humano y los posibles perjuicios que pudiera representar.

A continuación, expresa por escrito tu opinión sobre el Proyecto Genoma Humano.

Actividad 3

JUEGO DE ROL

¿Podemos elegir el sexo de nuestro hijo?

Cuando la ciencia conozca los mecanismos que controlan todos los genes de un ser humano, hay quien opina que podríamos tener hijos "a la carta", pero siempre a través de una fecundación *in vitro*. Sin embargo, hoy día sí es posible elegir el sexo del nuevo ser, aunque legalmente sólo puede hacerse por problemas médicos.

Vamos a hacer un debate con la técnica del juego de role-playing. Formaremos cuatro grupos y cada uno deberá asumir un papel que el profesor os asignará. Durante 10 minutos cada grupo determinará los argumentos que tiene a favor del rol que ha asumido. Posteriormente se organizará un debate entre los cuatro grupos, actuando el profesor como moderador. ¡Atención! Aunque no estéis a favor del papel que os ha tocado defender, tenéis que asumirlo. Los roles son:

Grupo 1: Sois un grupo de médicos de un centro de reproducción asistida y consideráis necesario implantar un embrión con un determinado sexo para impedir que el bebé pueda nacer con la enfermedad.

Grupo 2: Sois un grupo de padres con hijos afectados por una determinada enfermedad ligada al sexo y queréis un hijo de sexo opuesto para que no sufra la alteración.

Grupo 3: Sois un grupo de padres en contra de estas técnicas y defendéis otras opciones, como la adopción.

Grupo 4: Sois un colectivo ciudadano en contra de cualquier intervención médica de este tipo y no creéis en la reproducción asistida.

5.2. ¿QUÉ SON LOS TRANSGÉNICOS?

Actividades de reestructuración de ideas

Introducción de conceptos

El profesor explicita los principios de la transferencia de genes de un organismo a otro. Se exponen los vectores más habituales y las técnicas que se utilizan en el laboratorio para conseguir especies con genes de otras especies.

Por último, se enumeran algunas especies a las que se les ha introducido algún gen, indicando el papel que juega y su utilidad para la especie humana. Estamos hablando, por ejemplo, de algunas variedades de maíz que soportan las heladas gracias a la incorporación de un gen de un pez muy resistente al frío.

Búsqueda de información

De la misma manera que en el apartado anterior, pedimos al alumnado que lleve a cabo una búsqueda a través de internet, prensa u otros medios, de variedades de determinadas especies que se pueden considerar transgénicas.

Otra segunda búsqueda consiste en localizar alimentos fabricados a partir de especies transgénicas, como galletas a partir de maíz modificado genéticamente.

Actividades de aplicación de las nuevas ideas

Actividad 4

Actualmente hay mucha polémica sobre la creación de variedades transgénicas de especies y su aprovechamiento en agricultura y ganadería. Pero a lo largo de la historia, la especie humana ha llevado a cabo manipulación, aunque no en el laboratorio. Observa las diferentes razas de perro: a lo largo de los años se han seleccionado aquellos individuos (y por tanto aquellas características genéticas) que tenían características que suponía un beneficio para el hombre: galgos que corrían para la caza, chihuahua y otras razas de pequeño tamaño para cazar roedores, pastores para cuidar rebaños, etc. Lo mismo podemos decir de muchas especies útiles en agricultura y ganadería.

Las técnicas de ingeniería genética permiten acelerar el proceso y hacer que un tomate madure mucho más tarde y llegue duro al consumidor, o que las patatas resistan parásitos.

Redacta un texto en el debes expresar tu opinión de forma razonada sobre la creación y uso de transgénicos.

Actividad 5

Entre las aplicaciones que permite la creación de transgénicos, nos encontramos con la introducción de genes humanos en bacterias. Concretamente se han introducido los que codifican la síntesis de insulina, hormona del crecimiento, factores de coagulación, entre otros. Por tanto, tenemos en el laboratorio bacterias que tienen genes humanos y que fabrican en gran cantidad, moléculas que pueden ser utilizadas terapéuticamente al inyectarse en personas afectadas por alguna alteración que impide su síntesis.

En la actividad 4 expresaste tu opinión sobre la existencia de transgénicos en agricultura y ganadería. ¿Opinas lo mismo en el caso del uso de transgénicos con fines farmacéuticos y médicos?

Actividades de reestructuración de ideas

En este último apartado se presentan algunas aplicaciones de la genética al campo de la medicina, concretamente la terapia génica. El profesor explicita el significado de esta técnica, que puede ser considerada como una técnica para abordar el tratamiento de enfermedades de carácter hereditario o relacionadas con alteraciones genéticas, como por ejemplo el cáncer. Se informa a los alumnos que consiste en la extracción de células dañadas o alteradas, introducir el gen correcto y transferir la célula manipulada genéticamente al enfermo. Por último, se exponen algunas de las alteraciones sobre las que actualmente se están llevando a cabo ensayos, como algunos cánceres, SIDA, fibrosis quística o la inmunodeficiencia combinada grave (niños burbuja).

Otro aspecto que también se expone en este último apartado es la clonación. El profesor explicita los fundamentos de dicho proceso, que implica la formación de un nuevo ser idéntico a otro, haciendo mención expresa del caso de la oveja Dolly, clonada en 1997. Para ello es necesario el uso de representaciones gráficas que pueden mostrarse en la pizarra.

Por último, se hace mención al uso del ADN como molécula que permite la identificación de una persona y su relación de parentesco con otras. Las aplicaciones en casos de paternidad dudosa o en medicina forense se han hecho populares a través de los medios de comunicación o series televisivas.

Actividad 6

Contesta las siguientes cuestiones:

1. Cuando hablamos de que un individuo es igual a otro, hablamos de que comparten el mismo genotipo, pero ¿siempre son idénticos dos individuos que tengan el mismo genotipo? ¿influye algo más?
2. Comenta la siguiente afirmación, indicando si es cierta y, si crees que lo es, cómo sucede: " Actualmente hay personas clónicas"
3. ¿Crees que supone alguna ventaja la formación de individuos clónicos?

Búsqueda de información

Los alumnos deben buscar en las hemerotecas las noticias de los últimos meses que aparecen en los periódicos sobre terapia génica, clonación, utilización de células madre con fines terapéuticos o cualquier otro aspecto relacionado con las aplicaciones de la genética.

Actividad 7

Con alguno de los artículos que los alumnos hayan aportado sobre aplicaciones de la genética, se propone la actividad 7.

Lee atentamente el artículo que el profesor te ha dado y contesta después las siguientes cuestiones:

1. Resume las ideas fundamentales del texto.
2. ¿Qué aspectos relacionados con la genética que hemos estudiado aparecen en el artículo?
3. ¿Has detectado algún error conceptual o alguna frase que crees que no queda clara?
4. Intenta resumir en unas pocas líneas el artículo, de manera que sea fácilmente comprensible por estudiantes que no han trabajado el tema de la genética todavía.
5. ¿Qué opinión te merece la noticia?

Actividades de aplicación de las nuevas ideas

Como actividad de aplicación hemos elegido de nuevo la técnica de debate, ya que permite al alumnado expresar sus opiniones y confrontarlas con las de otros compañeros. La técnica que utilizaremos es la de *panel de expertos*. En este tipo de debate, un alumno actúa de moderador de una mesa redonda formada por cuatro alumnos más. Dos de ellos son partidarios de las aplicaciones de la genética a la medicina, agricultura, ganadería y son firmes defensores de la manipulación genética. Otros dos alumnos no están nada de acuerdo con estas técnicas y tienen serias dudas sobre las repercusiones de la creación de transgénicos, además de serios problemas éticos. El resto de la clase permanece escuchando el debate durante la primera parte de la actividad. A partir de un momento dado, el profesor permite a la clase, que actúa como público que formule preguntas a los miembros de la mesa, considerados como expertos.

Actividad 8

Hoy haremos un debate con público. Dos alumnos asumirán el papel de defensores de las aplicaciones de la genética y otros dos serán detractores. Un quinto estudiante hará el papel de moderador mientras el resto de la clase será el público asistente a esta interesante mesa redonda. Cuando el profesor te lo indique podrás formular preguntas a los expertos presentes en la mesa. Presta atención y anota las afirmaciones que te llamen la atención para intervenir cuando sea tu turno.

5.5.3.2. Evaluación de los procesos de aprendizaje de la secuencia didáctica

La evaluación es un elemento importante en los procesos de enseñanza-aprendizaje que no debe quedar reducida a aspectos meramente cuantitativos y tenemos que tener en cuenta que evaluar significa recoger información sobre la evolución del alumnado a lo largo del proceso docente (Geli, 2000).

Rodríguez et al. (1992) consideran que a la hora de evaluar se han de tener en cuenta los siguientes aspectos:

- 1) La evaluación ha de estar integrada en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Por tanto, debe servir para modificar las acciones didácticas y no tanto para proporcionar información sobre los objetivos alcanzados. No obstante, en nuestra opinión, los instrumentos utilizados para valorar el proceso de enseñanza-aprendizaje a lo largo de la secuencia didáctica, también facilitan información sobre aquellos objetivos que han sido alcanzados por el alumnado, el grado de profundidad de los conocimientos nuevos que ha adquirido el alumno y la modificación de las ideas alternativas que manifestaba antes del proceso didáctico.
- 2) El alumno debe participar en el proceso evaluador, desde el punto de vista de ser consciente del avance de su propio aprendizaje. Por tanto, ha de ser informado sobre sus ideas iniciales y observar cómo cambian. Coincidimos con este postulado y lo hemos llevado a la práctica en nuestra secuencia didáctica, ya que al inicio de cada unidad se informaba al alumnado sobre las concepciones que habían manifestado en el cuestionario.
- 3) Además de la evaluación final o sumativa, ha de tenerse en cuenta la evaluación inicial y la formativa.

Geli (2000) considera que existen cuatro factores que caracterizan la evaluación, algunos de ellos coincidentes con los descritos anteriormente:

- 1) La evaluación ha de estar integrada en el proceso de enseñanza-aprendizaje, es decir, no podemos separar el proceso evaluador del proceso didáctico, ya que permite que el profesor tome decisiones a lo largo de la intervención en el aula.
- 2) La evaluación ha de ser continua, ya que no debe ceñirse a la administración de determinadas pruebas, sino de todas las actividades de aprendizaje que se propongan.
- 3) La evaluación no ha de ceñirse a evaluar conocimientos, sino que ha de ser global y por tanto ha de tener en consideración aspectos como la dinámica de la clase, o el sistema de trabajo en el aula, por ejemplo.
- 4) La evaluación ha de ser individual, considerando la evolución de cada alumno dentro del marco del grupo-clase

Algunos de los aspectos que acabamos de comentar no son de fácil aplicación en el aula, considerando el actual contexto educativo y la ajustada estructura del currículum. Por otra parte, en la mayor parte del profesorado persiste la idea de considerar la evaluación como un mecanismo que permite identificar los hechos y leyes que el alumno ha aprendido a partir de ejercicios cerrados. (Alonso et al., 1995).

En todo caso, los instrumentos de evaluación han de tener tres características (Geli, 1992):

- **Objetividad:** Ha de proporcionar información precisa, sea quien sea el profesor que la utilice.
- **Validez:** Ha de recoger la información que el profesor quiere identificar.
- **Fiabilidad:** Los resultados deben mostrar aquello que específicamente se quiere identificar sin estar influido por otros elementos.

A lo largo del desarrollo de la secuencia didáctica se han producido diferentes acciones evaluadoras:

1. **Evaluación inicial o diagnóstica.** Las actividades de detección de concepciones alternativas pueden ser consideradas como evaluación inicial, pero no de manera exclusiva. A lo largo de la secuencia hemos planteado actividades de iniciación, cuya finalidad era presentar los aspectos que serán trabajados en la unidad y buscar elementos de motivación entre el alumnado. La información que recogemos nos permite planificar la intervención didáctica posterior y modificar o adaptar en lo necesario las actividades.
2. **Evaluación formativa.** A lo largo del desarrollo de la secuencia el profesor ha recogido información sobre el grado de alcance de los objetivos por parte del alumnado. Para ello es necesaria la corrección de las actividades propuestas y que el alumno lleve al día el cuaderno donde se recojan los conceptos presentados y la resolución de ejercicios.
3. **Evaluación sumativa.** Se produce al final del proceso de enseñanza-aprendizaje y nos da información sobre el grado de alcance de los objetivos didácticos de la secuencia didáctica. Es decir, permite conocer los resultados obtenidos.

A lo largo de todo el proceso de enseñanza-aprendizaje, hemos recogido información de los tres tipos de evaluación a partir de:

1. Las respuestas del alumnado en las actividades escritas propuestas.
2. Las intervenciones orales del alumnado a lo largo de la secuencia, tanto en los debates propuestos, como durante las discusiones de las actividades realizadas.

3. La resolución de los problemas planteados y las justificaciones de los resultados.
4. La observación sistemática de la dinámica de la clase por parte del profesor. Esta observación ha quedado recogida en el cuaderno de seguimiento que teníamos.
5. El seguimiento de los cuadernos del alumnado. Este es un elemento muy importante dentro del proceso de evaluación, ya que en él quedan reflejados los resultados de los ejercicios, los comentarios que el propio alumno hace sobre las actividades y las justificaciones que propone a las preguntas que se formulan.
6. La capacidad del alumno de aplicar las nuevas ideas en las actividades de aplicación.

Teniendo en cuenta la evaluación inicial, el seguimiento de la evaluación formativa que hemos llevado a cabo a lo largo del proceso de enseñanza-aprendizaje nos ha permitido regular el proceso didáctico para que se ajustara a la situación del grupo-clase. Hay que recordar que esta secuencia didáctica se ha aplicado a cinco grupos de alumnos, cada uno con una dinámica propia y, por tanto, el papel del profesor no puede ser siempre el mismo, ya que los alumnos no siempre eran los mismos.

El proceso evaluador lo hemos centrado en los contenidos referidos especialmente a conceptos y también a procedimientos. Hemos prestado una menor atención a la evaluación de las actitudes, que se ha centrado básicamente, en las ideas, opiniones y justificaciones que los alumnos planteaban en los debates propuestos, especialmente en la unidad 5 dedicada a las técnicas de manipulación genética. Una de las razones era la dificultad que se nos presentaba para que todos los alumnos del grupo-clase participaran en las discusiones. Con frecuencia un reducido número de estudiantes protagonizaban las intervenciones y el papel del profesorado se dividía entre la moderación del debate y animar a la toma de la palabra de otros alumnos. Debido a la dificultad que hemos explicado no nos ha parecido oportuno la utilización de instrumentos de evaluación de actitudes basados en escalas, como los propuestos por Escudero (1995).

5.5.3.3. Temporalización de la secuencia didáctica

La secuencia didáctica se llevó a cabo en 29 sesiones de 55 minutos de duración. La distribución de las sesiones en las cinco unidades se muestra en la tabla 5.7.

	Sesiones
ADMINISTRACIÓN DEL CUESTIONARIO Y PRESENTACIÓN	1
1. ¿DE QUÉ ESTÁN FORMADOS LOS SERES VIVOS?	4
2. ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN HEREDITARIA: ADN Y CROMOSOMAS.	7
3. GENES Y HERENCIA	8
4. TRANSMISIÓN DE LA INFORMACIÓN HEREDITARIA: MITOSIS Y MEIOSIS	5
5. BIOTECNOLOGÍA. APLICACIONES DE LA GENÉTICA.	4
	29

Tabla 5.7. Distribución de las sesiones de la secuencia didáctica

Antes de iniciar propiamente la secuencia didáctica, se dedicó una hora a la administración del cuestionario de detección de concepciones alternativas y a la presentación del tema a trabajar en los próximos días.

La primera unidad, referente a la constitución de los seres vivos de células y la presentación del organismo fantástico inventado, se ha desarrollado a lo largo de 4 horas.

La mayor parte de las horas se han dedicado al estudio de la naturaleza, estructura del material hereditario, que corresponderían a la unidad 2 y unidad 3, con un total de 7 y 8 sesiones respectivamente.

La unidad 4, donde se trabajó los mecanismos de transmisión de la información hereditaria, han requerido un total de 5 horas.

Finalmente, se han dedicado 4 sesiones a la unidad de biotecnología.

Temporalización de la Unidad 1: ¿DE QUÉ ESTÁN FORMADOS LOS SERES VIVOS?

Sesión 1ª

La primera de las horas se dedicó a la comunicación de los resultados del cuestionario inicial referentes a las ideas de los alumnos sobre qué seres vivos están formados por células.

Se trabajaron la actividad 1 y la actividad 2 en las que se plantean situaciones y se proponen cuestiones para que los alumnos reflexionen sobre qué seres tienen células.

Sesión 2ª

La actividad 3 es una práctica de laboratorio de observación microscópica y se le ha dedicado la segunda sesión completa. Pretende complementar las actividades 1 y 2 y favorecer la aparición de un conflicto cognitivo.

Sesión 3ª

En esta tercera jornada se presenta el modelo de célula eucariota y se introducen conceptos a medida que se va utilizando el modelo.

Se lleva a cabo la actividad 4 de diseño del organismo fantástico en grupos y ocupará toda la sesión.

Sesión 4ª

Se proponen cuatro actividades de iniciación, reestructuración de ideas y de aplicación de las nuevas ideas para desarrollar en el aula: son las actividades 5, 7, 8 y 9. La actividad 6 debe ser realizada de forma autónoma por el alumno fuera del aula y debe quedar reflejada en su cuaderno para el posterior seguimiento por parte del profesor.

En la tabla 5.8. se resumen las actividades de la unidad 1 y su temporalización.

Unidad	Contenidos	Actividades	Sesión
1. ¿DE QUÉ ESTÁN FORMADOS LOS SERES VIVOS?	1.1. Todos los seres vivos están formados por células	Actividades 1 y 2 Actividad 3	1ª 2ª
	1.2. La célula como unidad funcional y morfológica de los seres vivos	Actividades de introducción de conceptos y presentación del modelo de célula	3ª
	1.3. Construyamos nuestro propio organismo	Actividad 4	3ª
	1.4. ¿Qué son los caracteres?	Actividad 5, 6, 7, 8 y 9	4ª

Tabla 5.8. Temporalización de la unidad 1.

Temporalización de la Unidad 2: ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN HEREDITARIA: ADN Y CROMOSOMAS

Sesión 1ª

En la primera sesión de la segunda unidad se comunican los resultados del cuestionario inicial y se plantea la actividad 1. A continuación se realiza la introducción de conceptos relativa a la existencia de información hereditaria en todos los seres vivos. Finalmente se propone la actividad 2 a partir de la observación del modelo de célula presentado por el profesor.

Sesión 2ª

Se inicia con la actividad 3, que es de aplicación y a continuación se introduce la estructura, función y localización del ADN a partir del comentario de artículos de prensa.

Sesión 3ª

En esta tercera jornada se presenta el modelo de ADN y se propone la actividad 4. Finalmente el profesor realiza la introducción de nuevos conceptos para acabar la sesión.

Sesión 4ª

La sesión 4ª comienza con la comunicación de resultados del cuestionario inicial y a continuación se desarrolla la actividad 5. A continuación se produce la presentación de nuevos conceptos con la ayuda de un primer modelo de cromosoma.

Sesión 5ª

Se propone la actividad 6 y la introducción de nuevos conceptos. Finalmente se presenta y comenta el modelo de cromosoma.

Sesión 6ª

La sesión sexta consiste en una práctica de microscopía para observar cromosomas en células que se encuentran en mitosis.

Sesión 7ª

La última hora de esta unidad está dedicada a actividades de aplicación, como son la número 8 y la número 9.

En la tabla 5.9. se resume la temporalización de la unidad 2.

Unidad	Contenidos	Actividades	Sesión
2. ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN HEREDITARIA: ADN Y CROMOSOMAS	2.1. ¿Qué es la información hereditaria?	Actividad 1 y actividades de introducción de conceptos	1ª
		Actividad 2	1ª
		Actividad 3	2ª
	2.2. Estructura, función y localización del ADN	Actividad de comentario de artículo de prensa	2ª
		Presentación del modelo cromosoma y actividad 4	3ª
	2.3. ¿Qué son los cromosomas? Células haploides y diploides.	Actividad 5	4ª
		Actividad de introducción de conceptos	4ª
		Actividad 6	5ª
		Actividades de introducción de conceptos y presentación del modelo de cromosoma	5ª
Actividad 7		6ª	
	Actividades 8 y 9	7ª	

Tabla 5.9. Temporalización de la unidad 2.

Temporalización de la Unidad 3: GENES Y HERENCIA

Sesión 1ª

Iniciamos la unidad 3 con la comunicación de los resultados del cuestionario inicial. A continuación presentamos el modelo de cromosoma completo y definitivo y se finaliza la sesión con las actividades 1 y 2.

Sesión 2ª

Se introducen nuevos conceptos y se propone la realización de la actividad 3, que no es más que la construcción por parte del alumnado de un modelo propio de cromosoma.

Sesión 3ª

En esta tercera sesión se trabajan los conceptos de homocigosis y heterocigosis con actividades de reestructuración de ideas y de aplicación, como son la número 4 y la número 5.

Sesión 4ª

Se trabajan los conceptos de genotipo y fenotipo, y se proponen las actividades 6 y 7 como de aplicación de las nuevas ideas.

Sesión 5ª

En esta sesión se inicia el estudio y la resolución de problemas de genética. En la primera jornada se presenta el mecanismo de realización a través de la actividad 8, que se complementa con la número 9.

A partir de aquí se plantean nuevos problemas que se enmarcan todos los propuestos por el profesor como actividad 10. Estos problemas son de aplicación al organismo que los alumnos han inventado y por tanto son propuestos por el profesor en función del ser fantástico que se haya diseñado.

Sesión 6ª

En esta jornada se sigue trabajando la resolución de problemas, pero introduciendo ejercicios en los que los alumnos desconocen el modelo de herencia, son problemas tipo efecto- causa y algunos presentados en forma de pedigrí.

Sesión 7ª

En esta sesión se presentan las experiencias de Mendel a través de las actividades 11 y 12. Una vez que los alumnos ya conocen los mecanismos de la resolución de problemas y muchos conceptos de genética, es el momento adecuado para introducir los resultados obtenidos por Mendel.

Sesión 8ª

Esta última sesión dedicada a la resolución de problemas se dedica a actividades de aplicación, como sería el caso de problemas de herencia ligada al sexo. Las actividades 13, 14 y 15 serían ejemplos de ello.

En la tabla 5.10. se muestra la temporalización de la unidad 3.

Unidad	Contenidos	Actividades	Sesión
3. GENES Y HERENCIA	3.1. Genes y alelos: ¿Qué son y de qué están formados?	Actividad 1 y 2	1ª
		Actividad 3 y actividades de introducción de conceptos	2ª
	3.2. Homocigosis y heterocigosis	Actividades 4 y 5	3ª
	3.3. Genotipo y fenotipo	Actividad 6 y 7	4ª
		Actividad de introducción de conceptos	4ª
3.4. Problemas de genética	Actividades 8 y 9	5ª	
	Actividad 10	5ª	
	Actividad 10	6ª	
	Actividad 11 y 12	7ª	
	Actividad 13	8ª	

Tabla 5.10. Temporalización de la Unidad 3.

Temporalización de la Unidad 4: TRANSMISIÓN DE LA INFORMACIÓN HEREDITARIA: MITOSIS Y MEIOSIS

Sesión 1ª

En la primera sesión se presenta y comenta el modelo de mitosis diseñado por nosotros. Se analiza su significado y también se trabaja el concepto de cigoto. Por último, se propone al alumnado la realización la actividad 1.

Sesión 2ª

Se propone la actividad 2 y se comentan simultáneamente las ideas del alumnado.

Durante la misma sesión se produce la presentación de nuestro modelo de meiosis. Se comparan ambos modelos y se intenta crear un conflicto cognitivo al alumnado relacionado con la necesidad de la existencia de la meiosis como proceso de formación de gametos, de generación de variabilidad genética y como estrategia biológica para mantener constante el número de cromosomas de la especie.

Sesión 3ª

Se proponen las actividades 3, 4 y 5 como aplicación de conceptos, con las que se pretende que los alumnos diferencien mitosis y meiosis, así como los conceptos de célula haploide y diploide.

Sesión 4ª

En esta sesión se proponen problemas de genética en la que los alumnos deban relacionar su resolución con la meiosis. También se proponen problemas de herencia ligada al sexo. En las actividades 6 y 7 encontramos este tipo de ejercicio.

Sesión 5ª

En esta última sesión se proponen actividades de aplicación que permita consolidar los mecanismos de resolución de problemas de genética. En las actividades 8 y 9 se presentan ejercicios de herencia ligada al sexo y de alelismo múltiple.

En la tabla 5.11. se muestra la temporalización de la unidad 4

Unidad	Contenidos	Actividades	Sesión
4. TRANSMISIÓN DE LA INFORMACIÓN HEREDITARIA: MITOSIS Y MEIOSIS	4.1. ¿Cómo se desarrolla un cigoto? Mitosis.	Presentación del modelo de mitosis	1ª
		Actividad 1	1ª
		Actividad 2	2ª
	4.2. Meiosis: la formación de los gametos.	Presentación del modelo de meiosis	2ª
		Actividades de introducción de conceptos	2ª
		Actividades 3 y 4	3ª
		Actividad 5	3ª
	4.3. Resolución de problemas y meiosis	Actividades 6 y 7	4ª
		Actividades 8 y 9	5ª

Tabla 5.11. Temporalización de la Unidad 4.

Temporalización de la Unidad 5: BIOTECNOLOGÍA. APLICACIONES DE LA GENÉTICA

Sesión 1ª

Para introducir al alumnado en el tema y como actividad de iniciación se plantea un debate sobre la manipulación genética.

A continuación se habla sobre el Proyecto Genoma Humano y se propone la realización de la actividad 1.

Sesión 2ª

Se proponen las actividades 2 y 3 como de aplicación de nuevas ideas. La actividad 3 se plantea a modo de debate con la modalidad de juego de rol.

Sesión 3ª

En esta sesión se produce la introducción de conceptos y se pide a los alumnos que busquen información fuera del aula. Como actividades de aplicación proponemos la número 4 y la número 5.

Sesión 4ª

En esta sesión se intercalan las actividades 6 y 7 con la introducción de conceptos. Finalmente se propone la actividad 8 que se estructura en forma de debate y como ejercicio de aplicación de nuevas ideas.

La temporalización de la unidad 5 se muestra en la tabla 5.12.

Unidad	Contenidos	Actividades	Sesión
5. BIOTECNOLOGÍA. APLICACIONES DE LA GENÉTICA	5.1. Proyecto Genoma Humano	Debate de iniciación	1ª
		Actividades de introducción de conceptos	1ª
		Actividad 1	1ª
		Actividades 2 y 3	2ª
	5.2. ¿Qué son los transgénicos?	Actividades de introducción de conceptos	3ª
		Actividad 4 y 5	3ª
5.2. Otras aplicaciones de la genética: terapia génica y usos en medicina. Clonación	Actividades 6, 7 y 8	4ª	

Tabla 5.12. Temporalización de la Unidad 5.