

ALTERNATIVAS A LA ENSEÑANZA DE LA GENÉTICA EN EDUCACIÓN SECUNDARIA

AYUSO, G.E.¹ y BANET, E.²

¹ IES Vega del Táder. Molina de Segura. Murcia
ayuso@um.es

² Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Campus de Espinardo. 30100 Murcia

Resumen. En este artículo se analizan algunas referencias importantes para la enseñanza de la genética en la ESO. Considerando que los estudiantes aprenden a partir de lo que ya saben, se examinan sus concepciones cuando inician sus contactos académicos con la herencia biológica, se aportan criterios para seleccionar y secuenciar los contenidos relacionados con la localización, la transmisión y los cambios de la herencia biológica y se analizan las características que podrían tener las actividades de enseñanza para favorecer el aprendizaje de los estudiantes.

Palabras clave. Constructivismo, aprendizaje, enseñanza, genética, secundaria.

Summary. In this paper we analyse some important issues related with teaching Genetics in secondary school. Starting from the premise that students' learning is based on prior knowledge, we examine the students' ideas on the location, transmission and changes in biological inheritance, before starting their first academic course on Genetics. Taking into account such knowledge, we establish several criteria for selecting and sequencing the teaching contents and analyse any characteristics that the learning activities might have to improve students' knowledge of Genetics.

Keywords. Constructivism, learning, teaching, genetics, secondary (High) School.

INTRODUCCIÓN

Hace ya dos décadas, Finley y otros (1982) mostraron la importancia que los profesores de ciencias atribuían a la enseñanza de la genética; desde entonces, se ha producido un notable incremento en las investigaciones que han analizado las dificultades que tienen los estudiantes para aprender en relación con estos contenidos (Tabla I). En nuestra opinión, son diversas las razones que, en la actualidad, pueden justificar este interés educativo:

– Dotar a los estudiantes de un marco conceptual elemental sobre la localización, la transmisión y los cambios de las características hereditarias contribuirá a que éstos comprendan mejor el significado de ciertos fenómenos biológicos importantes, como la división celular, o la reproducción de los seres vivos.

– Este conocimiento debe permitir que, en una sociedad informada, los ciudadanos comprendan, a un nivel básico, los avances de la investigación en este ámbito de

estudio y se interesen por sus repercusiones tecnológicas y sociales.

– Desde otra perspectiva, habría que destacar la importancia que las estrategias de resolución de problemas tienen en la enseñanza de la genética, y su incidencia en el desarrollo de ciertas capacidades intelectuales y hábitos de trabajo que caracterizan la actividad científica.

– También podría contribuir a que los estudiantes perciban el conocimiento científico, como producto, en continua revisión, del trabajo colectivo de una comunidad de investigadores y a fomentar actitudes personales de tolerancia y respeto hacia otras personas.

En este artículo resumimos los resultados de varios años de investigación en el aula sobre el aprendizaje y la enseñanza de la herencia biológica. Aunque las consideraciones que realizaremos se refieren, básicamente, a 4º

Tabla I
Algunas investigaciones sobre los conocimientos de los estudiantes.

Ámbito de conocimiento	Referencias
<p><i>Transmisión de la información hereditaria</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Los caracteres de los individuos dependen de factores ambientales más que de hereditarios. - No hay variación intraespecífica en los vegetales. - Los vegetales no presentan reproducción sexual (en ellos no se produce la meiosis). - Los progenitores no aportan la misma cantidad de información hereditaria. - La información hereditaria del cigoto se reparte entre las células del cuerpo: cada una de ellas contiene la información que necesita para realizar su función. - En los mellizos, dos espermatozoides se unen a un óvulo. 	<p>Deadman y Kelly, 1978; Hackling y Treagust, 1984; Bizzo, 1994. Ramorogo y Wood-Robinson, 1995. Ramorogo y Wood-Robinson, 1995; Lewis et al., 2000c. Wood-Robinson, 1994.</p> <p>Hackling y Treagust, 1984; Banet y Ayuso, 1995; Wood-Robinson et al., 1997; Lewis et al., 2000b. Clough y Wood-Robinson, 1985.</p>
<p><i>Modelo de cromosoma</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Escaso significado de términos básicos: <i>gen, cromosoma, alelo, carácter, gameto o cigoto</i>. - No hay relación entre conceptos: <i>gen-alelo, alelo-cromosoma, gameto-cromosoma, cigoto-alelo, alelo-carácter, gen-carácter o gen-ADN</i>. - Escasa comprensión de mitosis y meiosis (por ejemplo, todos los gametos son iguales entre sí). - No se relaciona mitosis con el crecimiento. - Modelo de cromosoma confuso: <ul style="list-style-type: none"> - dos cromátidas del mismo cromosoma con distinta información; - una cromátida con información, la otra no; - los dos alelos del mismo par en la misma cromátida; - en el mismo gameto los dos cromosomas homólogos; - escasa comprensión de los términos <i>haploide y diploide</i>. 	<p>Longden, 1982; Collins y Stewart, 1989.</p> <p>Stewart, 1982; Wood-Robinson et al., 1997; Lewis et al., 2000a. Radford y Bird-Stewart, 1982; Clough y Wood-Robinson, 1985. Hackling y Treagust, 1984.</p> <p>Hackling y Treagust, 1984; Thompson y Stewart, 1985; Brown, 1990; Stewart et al., 1990; Kindfield, 1991, 1994a y 1994b; Ayuso et al., 1996; Ayuso y Banet, 1997.</p>
<p><i>Resolución de problemas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Resolución de problemas de genética sin comprender. - No se relaciona meiosis con la resolución de problemas. - Idea confusa del carácter dominante (éste puede variar, es el más abundante o poderoso, etc.). - Falta comprensión de la probabilidad y las proporciones. - Las diferencias en el número de individuos de cada sexo se interpretan como herencia ligada al sexo. - Método de resolución inadecuado y poco justificado. 	<p>Stewart, 1982; Kinnear, 1983. Stewart, 1983. Hackling y Treagust, 1984; Clough y Wood-Robinson, 1985. Longden, 1982; Kinnear, 1983. Slack y Stewart, 1990.</p> <p>Smith y Good, 1984.</p>
<p><i>Mutaciones</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Una mutación es cualquier cambio que tiene un organismo. - Las mutaciones son dañinas, negativas... - Las mutaciones se producen para sobrevivir a cambios. 	<p>Albaladejo y Lucas, 1988. Cho et al., 1985. Jensen y Finley, 1995.</p>

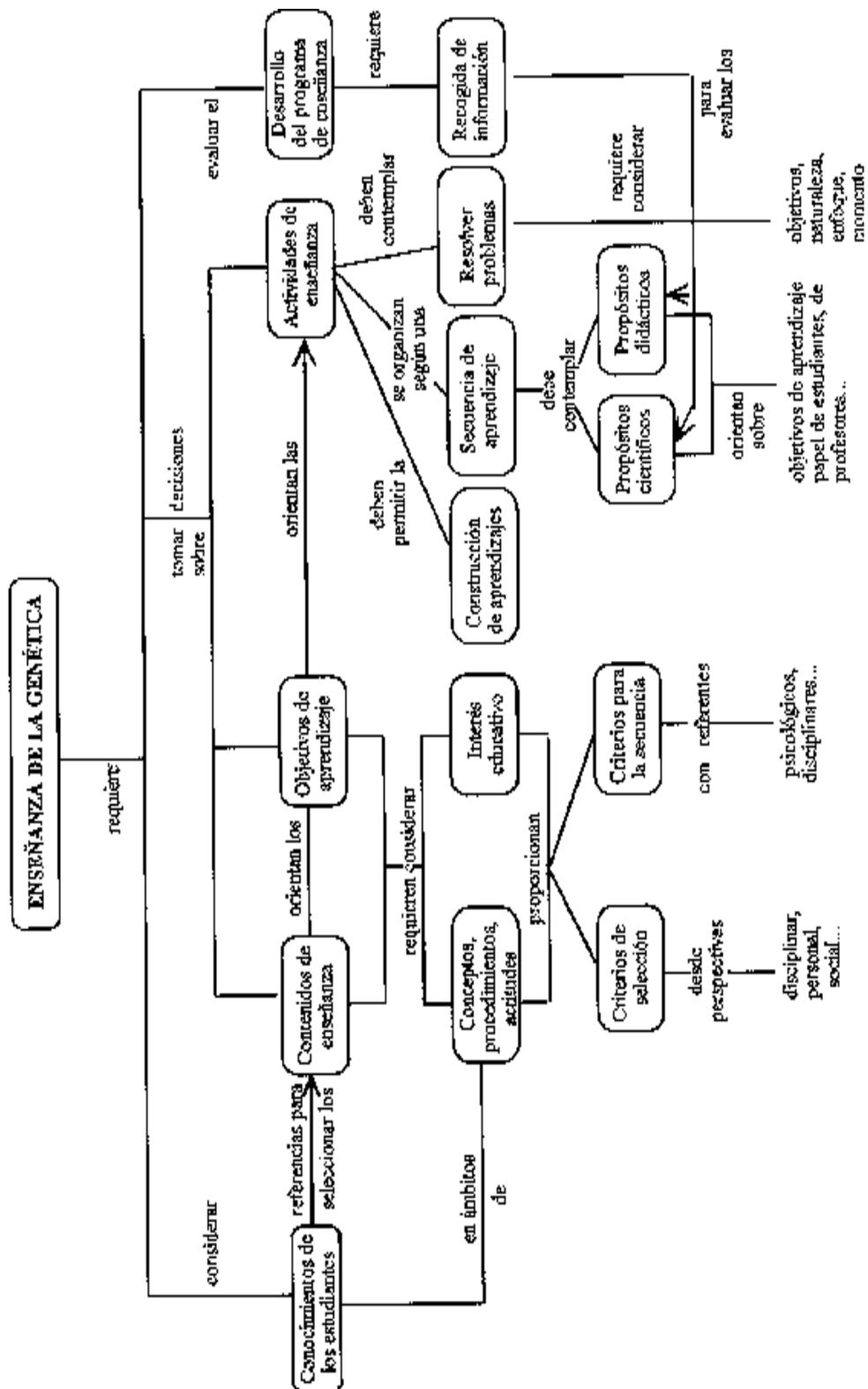
de ESO, momento en el que se inician los contactos académicos con la genética, muchas de ellas son válidas para los niveles de bachillerato.

OBJETIVOS Y PROPÓSITOS DEL TRABAJO

Llevar a cabo la planificación y el desarrollo de un programa sobre la enseñanza de la genética en educación secundaria, requiere (Fig. 1):

1) *Considerar que los estudiantes aprenden a partir de los conocimientos que ya poseen:* Aun teniendo en cuenta las críticas que ha recibido y está recibiendo el constructivismo, cuando estas orientaciones se intentan trasladar al ámbito educativo, compartimos, en lo fundamental, la idea de que aprender supone un proceso de construcción de conocimientos (Resnick, 1983; Driver, 1989), circunstancia avalada, tanto por reflexiones teóricas (psicológicas, epistemológicas...) como por algunos resultados de carácter experimental obtenidos durante las dos últimas décadas. Por tanto, identificar lo que piensan

Figura 1
Referencias para la planificación de la enseñanza sobre la herencia biológica.



los estudiantes sobre la herencia biológica debe constituir una referencia de interés para la enseñanza de la genética.

2) *Identificar criterios para seleccionar y secuenciar los contenidos de enseñanza y los objetivos de aprendizaje:* Desde nuestro punto de vista, trascendiendo al ámbito disciplinar y a finalidades exclusivamente propedéuticas, los propósitos educativos también deben contemplar el contexto cotidiano en el que los ciudadanos utilizarán sus aprendizajes: una sociedad que se caracteriza por la información, el aprendizaje continuo y en la que los conocimientos tienen fecha de caducidad (Pozo y Gómez Crespo, 1998).

3) *Tomar decisiones sobre la selección y secuencia de las tareas de aprendizaje:* Articular un programa de enseñanza sobre la herencia biológica, que contribuya a la construcción de aprendizajes más que a la memorización, requiere que el planteamiento y el desarrollo de las distintas actividades respondan a unas intenciones, científicas y didácticas, suficientemente explícitas. También habrá que considerar que la resolución de problemas debe constituir una referencia importante para desarrollar estos contenidos.

4) *Realizar el seguimiento del desarrollo del programa de enseñanza y de los aprendizajes de los estudiantes:* De esta manera, los profesores podemos conocer en qué medida nuestra práctica educativa resulta eficiente para lograr los objetivos que nos hubiéramos propuesto, información que nos permitirá reorientar o potenciar las distintas tareas que se desarrollan en el aula.

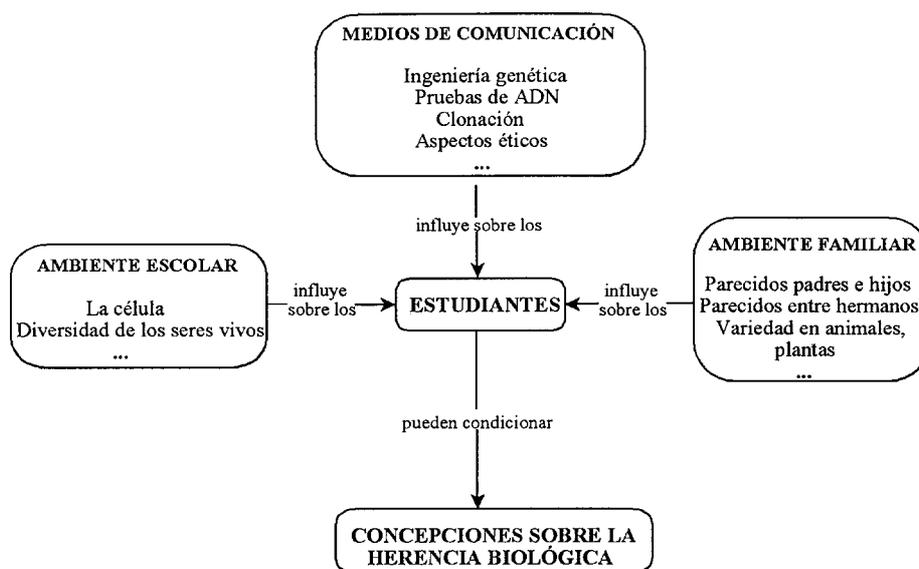
Aunque nos dejamos cosas en el tintero relacionadas con la planificación de la enseñanza (un análisis detenido del nivel cognitivo de los estudiantes y su relación con las capacidades para aprender, la evaluación...), confiamos que los profesores puedan encontrar en nuestro análisis referencias de utilidad para llevar a cabo la enseñanza de la genética en educación secundaria.

Los estudiantes aprenden a partir de lo que ya saben

Pocos educadores discutirían hoy que aprender de manera significativa supone establecer vínculos intencionados entre la nueva información y lo que ya sabemos. En este sentido, estamos de acuerdo con Resnick (1983), cuando afirmaba: a) quienes aprenden construyen conocimientos; b) comprender requiere establecer relaciones; y c) todo aprendizaje depende de los conocimientos previos. Traducidas al ámbito escolar, estas afirmaciones sugieren que –en cualquier programa educativo, en nuestro caso sobre la herencia biológica– las ideas que los estudiantes ya poseen pueden orientar la selección de contenidos de enseñanza y de objetivos de aprendizaje, así como las decisiones sobre la naturaleza y la secuencia de actividades.

En este sentido, como ha documentado ampliamente la investigación educativa (Tabla I), las personas poseemos desde edades tempranas, y sin haber sido instruidos sobre estos contenidos, explicaciones sobre los aspectos más elementales relacionados con la herencia biológica, que no coinciden con los puntos de vista de la ciencia escolar. Algunas de las razones que pueden explicar el origen de estas ideas se presentan en la figura 2.

Figura 2
Factores que pueden influir en las concepciones de los estudiantes sobre la herencia biológica.



Esta inadecuada formación conceptual genera en los ciudadanos explicaciones poco precisas, y distintas de las que proporciona la ciencia, en relación con algunos fenómenos cotidianos: ¿Por qué los hermanos son diferentes? ¿Por qué los gemelos se parecen tanto, mientras que los mellizos no? ¿Cómo se reproducen las plantas?... También dificultan la interpretación de las repercusiones tecnológicas y sociales de los conocimientos en el campo de la genética: ¿Cuáles son las características de los alimentos transgénicos? ¿Qué significado tiene el conocimiento del genoma humano? ¿En qué consiste la clonación de los seres vivos?...

En consecuencia, iniciaremos nuestro estudio presentando algunos resultados de trabajos anteriores (Banet y Ayuso, 1995, 2000; Ayuso, 2000) que han puesto de manifiesto tres circunstancias importantes en relación con las concepciones de los estudiantes: en primer lugar, estas nociones pueden ser interpretadas y descritas en términos de esquemas conceptuales, es decir, de estructuras mentales, relativamente coherentes, que explicarían cómo relacionan sus ideas sobre la herencia biológica. Además, estos esquemas se articulan según diferentes grados de complejidad. Por último, muchas de estas concepciones, alternativas al conocimiento escolar deseable, persisten al finalizar el bachillerato.

En este sentido, y sin ánimo de aportar datos cuantitativos sobre su incidencia, creemos estar en condiciones de presentar algunos modelos que caracterizan la forma de pensar de los estudiantes de educación secundaria en relación con la localización, la transmisión y los cambios de la información hereditaria. A continuación describimos las características básicas de estos esquemas:

1) Localización de la información hereditaria. Cuando preguntamos a los estudiantes si ciertos grupos de seres vivos (además de las personas, algunos mamíferos, insectos, plantas...) tienen células, cromosomas o genes, un buen número de ellos responde que estos atributos sólo los poseen las personas y algunos animales próximos en la escala evolutiva (los leones, por ejemplo), pero no otros seres vivos (el rosal o los champiñones). Sin duda, estas ideas constituyen un obstáculo muy importante para comprender los aspectos básicos de la herencia biológica.

Estas dificultades se incrementan cuando consideramos los puntos de vista de los estudiantes en relación con la presencia de información hereditaria, cromosomas, cromosomas sexuales, genes o ADN en células humanas; o sus explicaciones sobre las relaciones entre cromosomas, genes e información hereditaria. En estos casos, sus respuestas muestran la existencia de ciertos esquemas conceptuales alternativos al conocimiento científico, que presentamos en la figura 3.

Esquema I. Confusión entre células sexuales y cromosomas sexuales: Es la concepción que podríamos considerar más alejada del conocimiento escolar deseable, para estos niveles educativos. Aunque esta forma de pensar no es muy frecuente, algunos de estos estudiantes identifican células sexuales con cromosomas sexuales (que

entienden como una misma cosa) e ignoran que los gametos son portadores de cromosomas o genes.

Esquema II. La información hereditaria está en las células sexuales: Esta forma de pensar, muy frecuente entre los alumnos y alumnas de educación secundaria, queda definida por la idea de que sólo las células sexuales tienen información hereditaria, cromosomas sexuales y genes, coincidiendo con los puntos de vista anteriores en que las células sexuales serían las únicas portadoras de herencia biológica. Si bien algunos de estos estudiantes consideran que los cromosomas y el ADN también se encuentran en células somáticas, no relacionan estas circunstancias con la información hereditaria.

Profesor: ¿Qué células llevan genes?

Ignacio: El espermatozoide y el óvulo.

P: ¿Por qué?

Ignacio: Porque son los que sirven para la reproducción, y como las células musculares no valen para la reproducción, no llevarían genes.

Esquema III. Las células somáticas también son portadoras de información hereditaria: En un nivel de conocimientos más avanzado se encontrarían aquellos estudiantes que consideran que la información hereditaria (también los cromosomas y genes) se encuentra en todas las células de un organismo. Sin embargo, los cromosomas sexuales se situarían exclusivamente en los gametos.

Profesor: ¿Qué entiendes por información hereditaria?

Desiderio: La información hereditaria que llevan los genes. Todo lo que se transmite de padres a hijos.

P: ¿Dónde se encuentran los cromosomas sexuales?

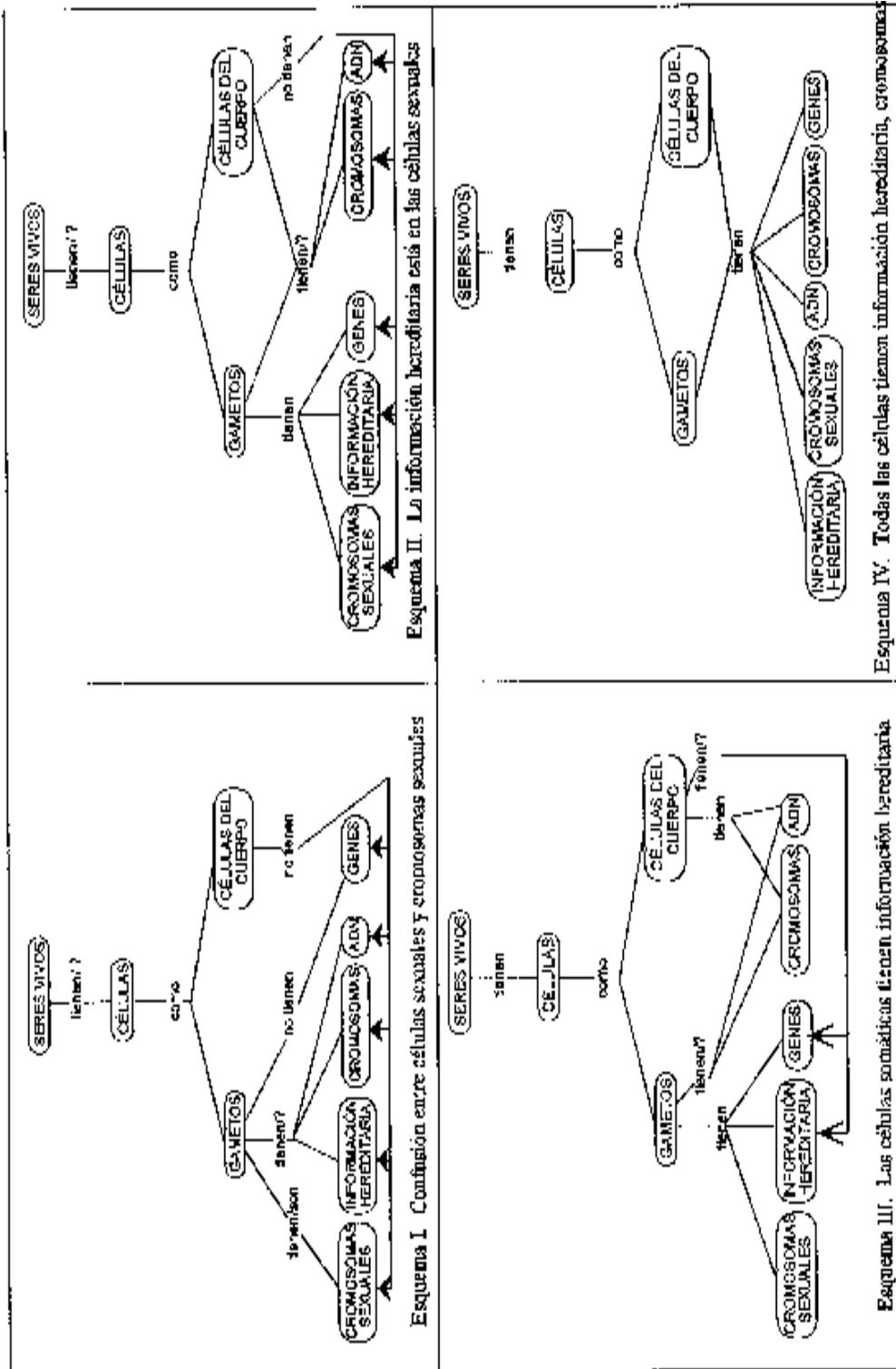
Desiderio: En las células sexuales. Las células sexuales sólo llevan cromosomas sexuales.

Esquema IV. Todas las células tienen información hereditaria: Por último, llegamos a la situación en la que está clara la localización de información hereditaria, cromosomas, cromosomas sexuales, genes y ADN: todas las células los poseen. Lógicamente, el avance que supone este conocimiento con respecto a las situaciones anteriores explica que se trate de un esquema poco frecuente entre alumnos y alumnas que inician sus estudios sobre la genética, aunque tampoco resulta mayoritario entre aquéllos que ya han estudiado estos contenidos.

2) Transmisión de la herencia biológica. En este caso, centramos nuestra atención en conocer lo que piensan los estudiantes sobre: las causas de la diversidad celular en las personas; lo que ocurre con la herencia biológica cuando el cigoto se divide para desarrollar un nuevo individuo; la información hereditaria que lleva cualquier célula de un organismo (muscular, gametos, del cerebro...); la constancia cromosómica de las células de un organismo; así como sobre la cantidad de información hereditaria que cada progenitor aporta al nuevo ser.

Esquema I. La información hereditaria se transmite exclusivamente a los gametos: Si en los apartados anteriores hemos podido constatar que muchos estudiantes

Figura 3
Esquemas conceptuales sobre la localización de la información hereditaria.



opinan que sólo las células sexuales son portadoras de herencia biológica (Fig. 4), también se manifiesta la idea de que esta información –que lleva el cigoto procedente de los progenitores– se transmite únicamente a las células sexuales y de ahí a los futuros descendientes, sin que el resto de las células la posea.

Esquema II. La información hereditaria está en los gametos, pero una parte se transmite a cada célula somática. Cada célula tiene la información hereditaria que necesita para desarrollar sus funciones: Las respuestas de los estudiantes que se corresponden con este esquema –muy frecuente en educación secundaria, y no

Figura 4
Esquemas conceptuales sobre la transmisión de la herencia biológica.

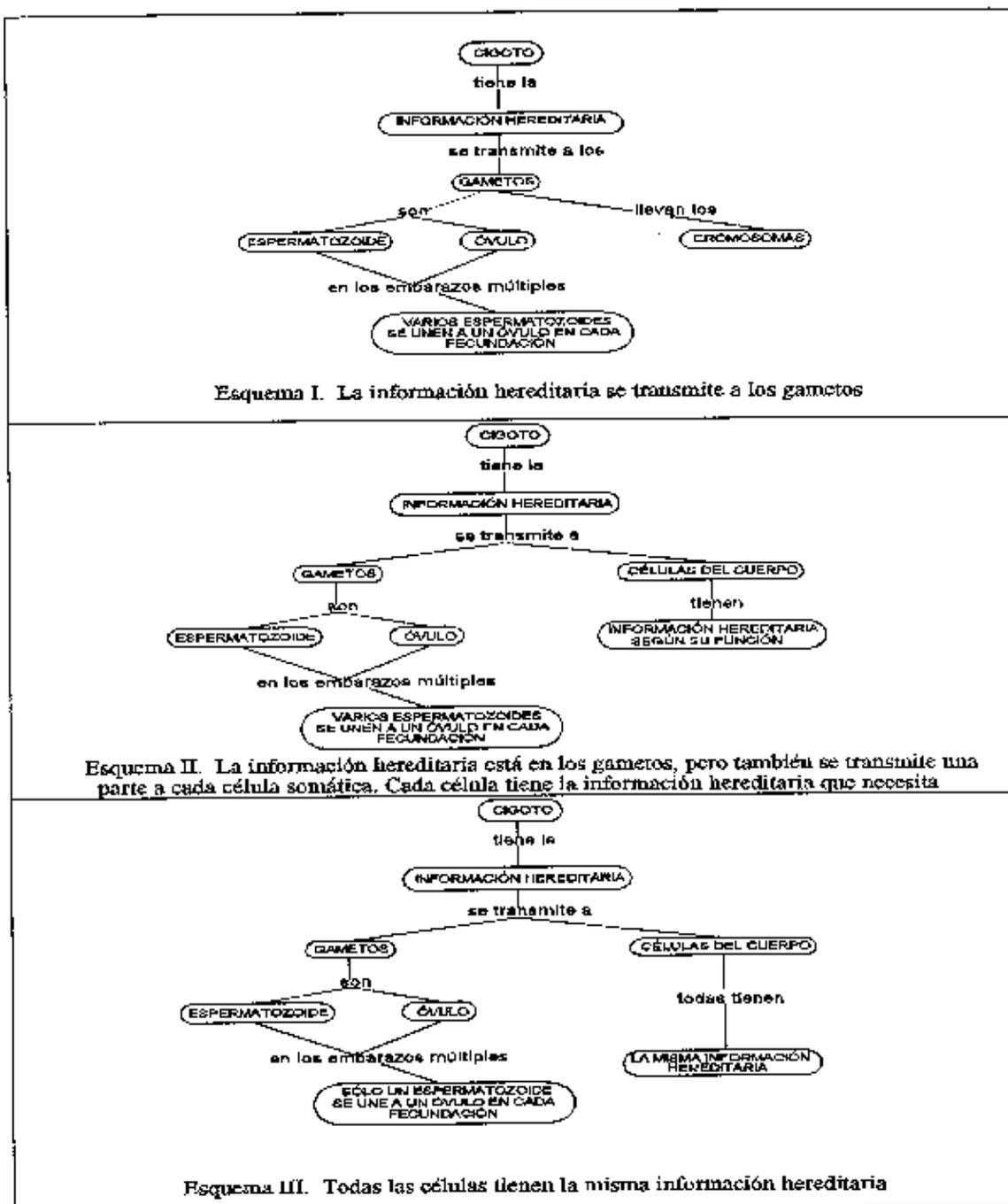
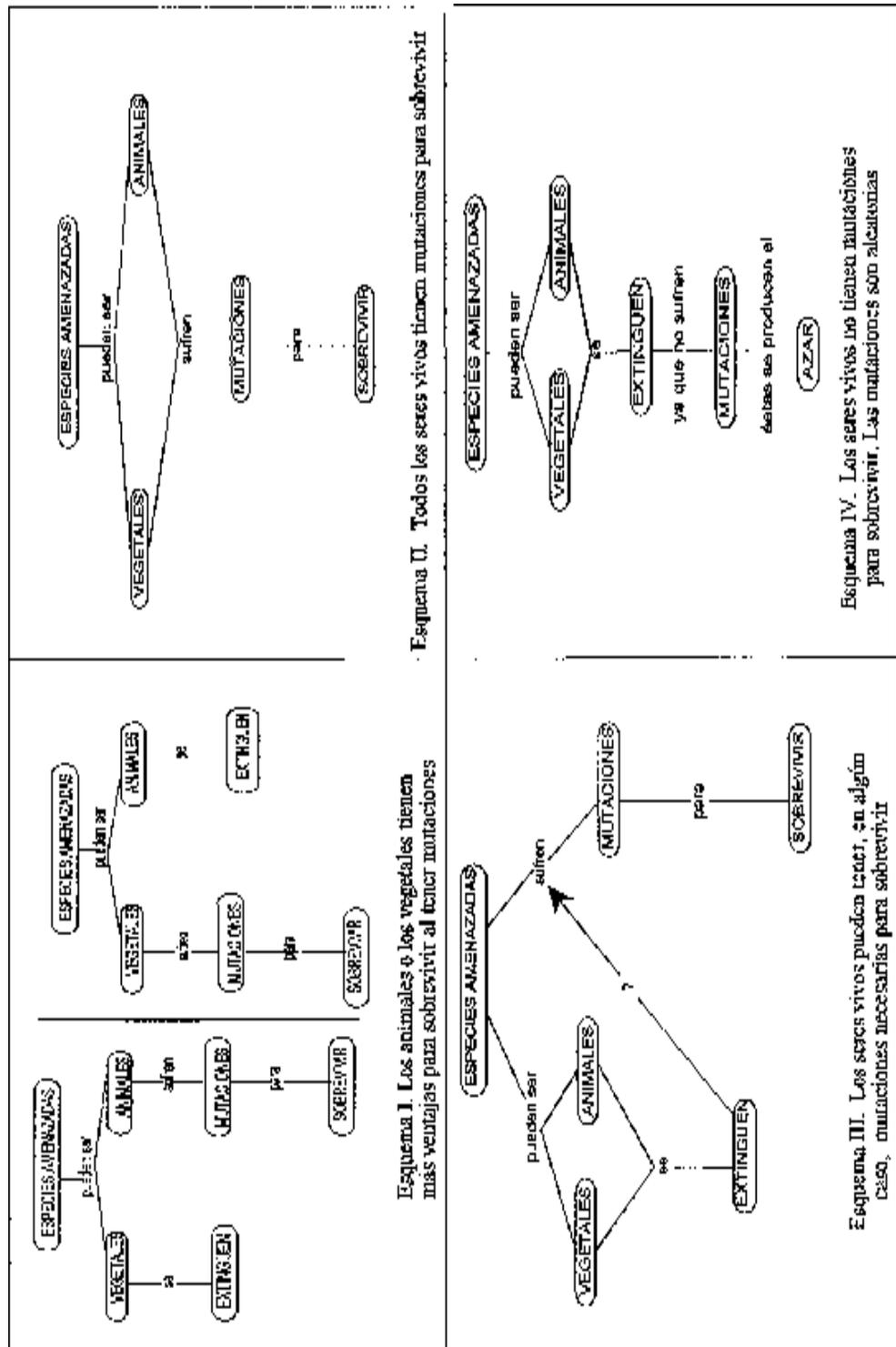


Figura 5
Esquemas conceptuales sobre las mutaciones.



INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA

Tabla II
Algunos objetivos en el aprendizaje de la herencia biológica en ESO (ámbito conceptual).

Ámbitos de aprendizaje	Objetivos de aprendizaje (Los estudiantes deberían comprender que...)*
<i>Estructura celular y reproducción de los seres vivos</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Todos los seres vivos están formados por células; éstas contienen los cromosomas. - Las plantas, los insectos... tienen reproducción sexual.
<i>Características de los organismos y herencia biológica</i>	<ul style="list-style-type: none"> - La diversidad en los seres vivos es consecuencia de características hereditarias y de otras que no lo son. - Todas las células de un organismo tienen cromosomas; en ellos se localiza la información hereditaria. - Por tanto, todos los seres vivos tienen células, cromosomas e información hereditaria. - La expresión de la información hereditaria está influenciada por el medio ambiente; el fenotipo es el resultado de estas interacciones.
<i>Células, cromosomas y herencia biológica</i>	<ul style="list-style-type: none"> - En los seres vivos (en particular, en animales y plantas) existen células somáticas y células reproductoras (gametos). - Todas las células somáticas de un organismo se forman por mitosis, a partir del cigoto. - Las células producidas por mitosis reciben la dotación cromosómica completa de la célula madre; por tanto, todas las células de un organismo (a excepción de los gametos) son diploides y tienen la misma información hereditaria. - Los gametos, que son haploides, se producen por meiosis en los órganos reproductores a partir de células diploides. - En las células de organismos diploides los cromosomas se encuentran agrupados por parejas (cromosomas homólogos); cada miembro del par procede de uno de los progenitores. - Los pares de cromosomas pueden ser autosómicos y sexuales. - Los individuos de una misma especie tienen un número determinado de cromosomas (cariotipo). - Los genes, estructuras responsables de la herencia biológica, se encuentran en los cromosomas. - Todas las células somáticas de un organismo llevan el mismo material genético, aunque desempeñen distintas funciones.
<i>Herencia y genes</i>	<ul style="list-style-type: none"> - El conjunto de genes de un individuo constituye su genotipo. - Los genes pueden presentar diferentes variedades: alelos. - Cada alelo se encuentra en uno de los cromosomas homólogos. - Para un determinado gen, los organismos pueden ser homocigóticos o heterocigóticos. - La interacción entre los genes de un organismo responde a relaciones de dominancia, codominancia o dominancia incompleta. - Los genes están constituidos por ADN.
<i>Reproducción sexual y mutaciones como mecanismos generadores de biodiversidad</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Los gametos haploides que se producen en la meiosis son genéticamente diferentes; como consecuencia de ello, la unión de un gameto masculino y otro femenino produce cigotos diploides, también genéticamente diferentes. - Al desarrollarse a partir del mismo cigoto, la información hereditaria en gemelos es la misma (son genéticamente idénticos). - La información hereditaria (los genes) puede experimentar cambios (mutaciones). - Las mutaciones pueden ser consecuencia de cambios en el medio ambiente; aunque en ocasiones son inducidas, generalmente se producen al azar. - Sólo se transmiten a los descendientes las mutaciones que afectan a los gametos. - Estos cambios pueden ser beneficiosos o perjudiciales para el desarrollo de los organismos en el medio ambiente en el que viven, favoreciendo o dificultando la supervivencia de las especies. - Reproducción sexual y mutaciones, fenómenos que causan diversidad en los seres vivos, son elementos esenciales en la evolución de las especies.

* ...las consideraciones que se realizan en esta tabla se refieren a organismos diploides.

superado en bachillerato— pueden ser consideradas contradictorias desde una perspectiva científica. Aunque piensan que la información hereditaria sólo se transmite a las células sexuales —es decir, creen que lo que se hereda de padres a hijos sólo está presente en los gametos—, al mismo tiempo explican que cada célula del cuerpo contiene una parte de la información total del individuo (la que necesita para desempeñar sus funciones).

Profesor: ¿Dónde crees que se encuentra la información hereditaria para el color de ojos en los seres humanos?... ¿En los ojos, en los gametos, en el corazón...?

Richi: Pues... en las células de los ojos, seguro. En los espermatozoides y óvulos, como son los que lo transmiten, también. En el corazón ya me lío...

P: Entonces, ¿una célula de la piel llevará información sobre el grupo sanguíneo o el sexo o el color del pelo...?

Richi: No.

P: ¿Qué información crees que puede llevar una célula de la piel?

Richi: ¿En la célula de la piel?... El color de la piel... y el grupo sanguíneo... pues a lo mejor, depende, porque por la piel también pasa sangre y a lo mejor la lleva.

Estos estudiantes no comprenden la constancia cromosómica en los individuos y en las especies; lo que aplicado a situaciones cotidianas les lleva a afirmar que el nacimiento de varios hermanos simultáneamente (caso de mellizos o gemelos) es debido a que más de un espermatozoide fecundan el mismo óvulo, idea también frecuente entre estudiantes universitarios. En otras ocasiones, afirman que, cuando un niño o una niña se parece más a uno de sus progenitores, es consecuencia de que han recibido mayor información hereditaria procedente de aquél.

Esquema III. Todas las células tienen la misma información hereditaria: Por último, en un tercer grupo hemos situado a aquellos estudiantes que reconocen que la información hereditaria es transmitida desde el cigoto a todas las células del organismo a través de copias idénticas; en consecuencia, todas ellas tendrían la misma información hereditaria, con independencia de su localización o función. Se trata del esquema que podríamos considerar más cercano al conocimiento científico y que no suele ser frecuente entre los estudiantes de educación secundaria.

3) *Cambios en la información hereditaria: mutaciones.* En este caso, las cuestiones se centraron en intentar conocer las ideas de los estudiantes sobre las causas y los efectos de los cambios en la herencia biológica, su posible carácter hereditario, así como las relaciones entre las modificaciones en el medio en el que viven los organismos y las mutaciones. Las respuestas de los estudiantes nos permiten inferir los esquemas conceptuales que presentamos en la figura 5.

Esquema I. Los animales (o los vegetales) tienen más ventajas para sobrevivir, como consecuencia de que pueden tener mutaciones: Quienes así piensan creen que las mutaciones son respuestas de los organismos ante modificaciones medioambientales que amenazan su su-

pervivencia; así se evitaría la extinción de la especie. No obstante, mientras que algunos estudiantes opinan que estos cambios se producirían básicamente en animales, otros consideran que son los vegetales quienes tienen más posibilidades de tener mutaciones beneficiosas.

Esquema II. Todos los seres vivos pueden experimentar mutaciones necesarias para sobrevivir, ante cambios en el medio ambiente: Aunque en estos casos los estudiantes explican las causas de las mutaciones de la misma manera que los que hemos incluido en el esquema anterior, reconocen que estos fenómenos podría afectar tanto a plantas como a animales.

Esquema III. Los seres vivos pueden tener, en algún caso, mutaciones necesarias para sobrevivir: Se trata de un nivel de conocimientos similar a los anteriores, aunque se diferencian de ellos en que estos estudiantes consideran que las mutaciones no se producirán siempre que el medio ambiente se vuelva adverso para los individuos, sino solamente en algunas ocasiones.

Profesor: Imagina que los lobos estuvieran amenazados por un cambio climático que les pusiera en peligro ¿tendrían cambios para adaptarse a la nueva situación?

Juani: Yo creo que sí. Porque, si tienen que vivir, tendrán que tener cambios para adaptarse tienen que adaptarse. Pero si se produce un cambio fuerte, repentinamente, lo más probable es que la especie se extinga.

P: Pero si el cambio es poco a poco...

Juani: Se producirán mutaciones.

P: ¿Cuánto tiempo crees que se necesita?

Juani: Años... No, meses.

Es decir, nuestros resultados (Ayuso, 2000) permiten afirmar que muchos estudiantes piensan que las mutaciones tienen su origen en la necesidad de los organismos de sobrevivir (situándose en uno de estos tres esquemas). Para ellos, este término tiene un sentido más general y ambiguo que para sus profesores y, en todo caso, no relacionan este proceso con variaciones en el material genético. Mutación es cualquier modificación en un organismo, que no se producen de forma espontánea, sino como respuesta a un medio ambiente cambiante.

Esquema IV. Las mutaciones no ocurren para garantizar la supervivencia de los seres vivos; son aleatorias: En estos casos, más próximos al conocimiento científico, los estudiantes reconocen que los seres vivos afectados por características medioambientales adversas pueden extinguirse; es decir, señalan que las mutaciones no se producirían para evitar la desaparición de las especies, sino que ocurren al azar. Aunque en la ESO no encontraremos muchos estudiantes que opinen de esta manera, en bachillerato podríamos esperar que este número aumente de manera apreciable.

Identificar estas formas de pensar de los estudiantes, cuando inician el estudio de la genética no debe entenderse como una idea de su «nivel» de conocimientos para saber cómo comenzar a enseñar o para identificar qué errores debemos «eliminar». Se trata, más bien, de indicadores que alertan sobre las posibles dificultades

que tendrán para aprender estos contenidos y que deben orientar el proceso de planificación y desarrollo de la enseñanza (Fig. 1).

Contenidos de enseñanza y objetivos de aprendizaje: contribución del estudio de la herencia biológica a la formación de los estudiantes de educación secundaria

Tomar decisiones sobre qué deberían aprender los estudiantes de ESO en relación con la genética requiere considerar, entre otras, dos cuestiones importantes: ¿cuál puede ser la contribución de estos contenidos a la educación de los ciudadanos?; ¿en qué orden deberíamos desarrollarlos para favorecer el aprendizaje de los estudiantes? Responder a estas preguntas aconseja contemplar la educación en distintos ámbitos (conceptos, procedimientos y actitudes) y apostar por secuencias de aprendizaje que permitan construir un conocimiento escolar adecuado al nivel educativo en el que se encuentran los estudiantes y que sea relevante desde el punto de vista personal y social:

1) *Desde una perspectiva básicamente conceptual* –considerando la lógica científica de una disciplina como la genética y los conocimientos que ya poseen–, proponemos las siguientes referencias para seleccionar y secuenciar los contenidos de enseñanza y concretar los objetivos que deberían aprender los estudiantes:

a) *Consideraciones previas.* En primer lugar, teniendo en cuenta resultados de trabajos anteriores (Banet y Ayuso, 1995, 2000), antes de abordar aspectos más

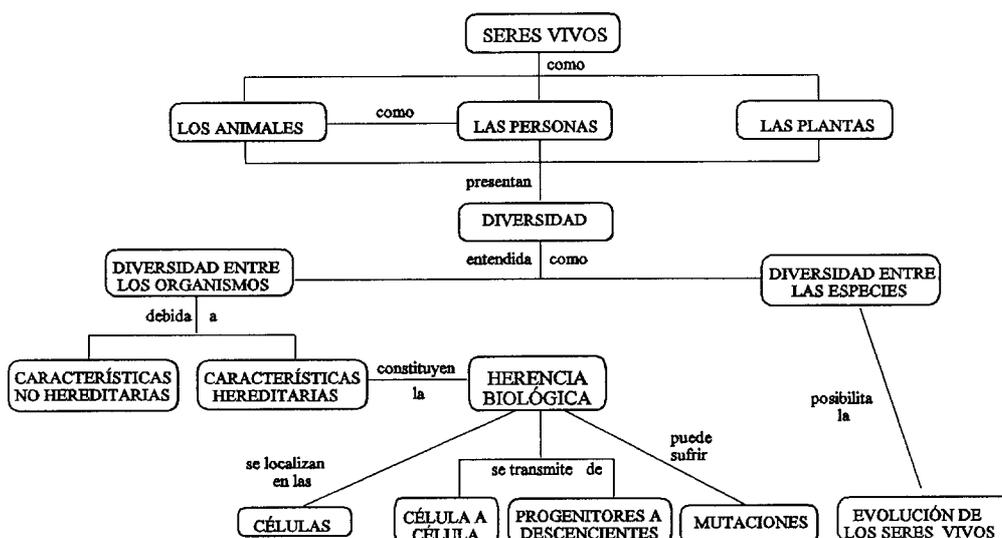
complejos relacionados con la herencia biológica, es necesario que los estudiantes comprendan algunas características básicas de los seres vivos, como su estructura celular o su reproducción (Tabla II).

Es decir, además de identificar como seres vivos los principales grupos de organismos –en particular, los que se utilizan como ejemplos en genética (las plantas, por ejemplo)–, los estudiantes deben conocer que éstos se encuentran formados por células (en las que se localizan los cromosomas), que tienen reproducción sexual...; aspectos que –aunque hubieran sido abordados en lecciones o cursos anteriores– no suelen estar muy claros entre los alumnos y alumnas de estas edades. Sin duda, constituyen requisitos previos para comprender las circunstancias más elementales relacionadas con la localización y la transmisión de la herencia biológica, así como el significado de los problemas de genética; en particular, cuando se utilizan como ejemplos de seres vivos las plantas o ciertos grupos de animales.

Estas consideraciones deben constituir, por tanto, una referencia importante a la hora de introducir a los estudiantes de ESO en el ámbito de la genética, cuyos contenidos conceptuales más destacados se presentan en la figura 6.

Aunque éste no es el único mapa que se puede elaborar, a través de él estamos proponiendo utilizar la diversidad de los seres vivos como punto de partida para el estudio de la herencia biológica y también como vínculo entre genética y evolución, temas que deben estar estrechamente relacionados. A partir de estas referencias de carácter general, en la figura 7 desarrollamos nuestros

Figura 6
Referencias para el desarrollo de los contenidos conceptuales relacionados con la herencia biológica.



puntos de vista en relación con la selección y la secuencia que proponemos para estos contenidos en ESO.

b) Unidad I: Características de los organismos y herencia biológica (Fig. 7.1). Puesto que aprender en el ámbito de la genética no es una empresa fácil para los estudiantes, ya que requiere cierta capacidad de abstracción, creemos necesario intentar vincular estos contenidos, en la medida de lo posible, con otros de carácter más general y próximos a sus experiencias.

Dado que existen serias dificultades en secundaria para conocer la presencia de cromosomas y genes en las plantas, así como el carácter sexual de su reproducción, no consideramos oportuno iniciar el estudio de la genética con las leyes de Mendel, como hacen, con frecuencia, los libros de texto. Como alternativa, proponemos reflexionar sobre la variabilidad que existe entre los individuos de una misma especie (tomando como ejemplo destacado la especie humana, y también otros animales conocidos) y la que se produce entre distintas especies identificando las características hereditarias y diferenciándolas de aquéllas que no lo son (Fig. 6).

A partir de aquí, y como primer nivel de aproximación para aprender sobre la herencia biológica (Tabla II), debemos intentar que los estudiantes conozcan que todos los seres vivos tienen células, cromosomas e información hereditaria; y que ésta puede verse influenciada por el medio ambiente.

c) Unidad II: Células, cromosomas y herencia biológica (Fig. 7.2). Situar la información hereditaria en los cromosomas es un requisito necesario para que los estudiantes comprendan la herencia biológica que llevan las distintas células de un organismo; pero también lo es comprender el significado de los procesos de división celular como mecanismos de transmisión de esta información. Es decir, aunque no tenemos nada que objetar a que mitosis y meiosis se estudien en otros momentos del programa de biología, creemos necesario analizar sus consecuencias durante el desarrollo de la genética:

- La mitosis como proceso mediante el cual se generan todas las células de un organismo a partir de una inicial (cigoto), valorando, específicamente, la transmisión de información hereditaria idéntica de célula a célula, circunstancia que permitirá entender la constancia cromosómica y la uniformidad, en cuanto a contenido hereditario, de las células de un individuo.

- La meiosis, como proceso responsable de la transmisión de la herencia biológica entre organismos, por medio de la formación de gametos los cuales reúnen dos características importantes: son haploides, lo que posibilita la constancia cromosómica entre los individuos de una misma especie; y son diversos, desde el punto de vista de la información hereditaria que poseen, circunstancia que posibilita la variabilidad genética intraespecífica.

Conocer las consecuencias de estos procesos de división celular debe prevalecer sobre el estudio de las caracterís-

ticas de sus fases, aspectos difíciles de entender, que los estudiantes olvidan pronto y que desvían su atención de los propósitos que acabamos de señalar, más importantes para comprender su significado biológico y las características de la dotación cromosómica de las células de una determinada especie. En particular, se podrían introducir los conceptos de *cromosomas homólogos*, *autosomas* y *cromosomas sexuales*, *cariotipo*..., estableciendo las diferencias entre células somáticas y gametos.

Por último, y para dar paso al siguiente apartado, es necesario identificar los genes como partículas responsables de la herencia y situarlos en los cromosomas. Eso supondría comprender que todas las células de un organismo (musculares, de la piel...) llevan el mismo material genético (la dotación correspondiente a esa especie), aunque los genes que se expresen dependerán de las funciones que éstas desarrollan en el tejido y órgano al que pertenecen.

d) Unidad III: Herencia biológica y genes (Fig. 7.3). Con el desarrollo de estos contenidos pretendemos que los estudiantes profundicen en el conocimiento de la herencia biológica, abordando conceptos de cierta complejidad, y que merecen un detenido análisis. Para ello, tomando como referencia la transmisión de caracteres hereditarios en las personas, los estudiantes podrían consolidar los conceptos de *cromosomas homólogos* y de *gen*, circunstancias que permitirían introducir el significado de términos como *genotipo*, *alelos*, *homocigosis* y *heterocigosis*, *dominancia*, *codominancia*... (Tabla II).

Puesto que el aprendizaje de estos contenidos se encuentra también muy vinculado a las actividades de resolución de problemas de lápiz y papel, después volveremos sobre ello. No obstante, adelantamos que el conocimiento y la adquisición de destreza en la puesta en práctica de algoritmos constituiría una referencia básica en el desarrollo de esta unidad.

e) Unidad IV: La reproducción sexual y las mutaciones como mecanismos generadores de biodiversidad (Fig. 7.4). Retomando algunos aspectos ya comentados y volviendo a los planteamientos iniciales (diversidad intra e interespecífica de los seres vivos), proponemos finalizar el estudio de la herencia biológica analizando tres aspectos importantes:

- En primer lugar, sería necesario volver a considerar, con más detalle, una de las consecuencias importantes del proceso de meiosis: los organismos (los insectos, las personas...) forman gametos idénticos en cuanto al número de genes, pero distintos en cuanto a su naturaleza, circunstancias que difícilmente podrían haber entendido antes los estudiantes. Esto será el soporte conceptual para comprender la diversidad intraespecífica.

- En segundo término, sería necesario abordar el estudio de los cambios (*mutaciones*) que puede experimentar la información hereditaria. La utilización de ejemplos que muestren sus consecuencias para la supervivencia de los individuos y de las especies a las que éstos pertenecen

puede contribuir a que los estudiantes comprendan la naturaleza y las causas de las mutaciones, así como su posible carácter hereditario.

– Por último, conocer las causas de la diversidad entre organismos y especies, así como el significado biológico de las mutaciones, permitirá abordar, con ciertas garantías de éxito, los contenidos relacionados con la evolución de los seres vivos.

Es evidente que los objetivos señalados se pueden formular de otras formas y que de algunos de ellos se pueden derivar otros más específicos. No obstante, nuestra intención ha sido, tan sólo, presentar algunas referencias que consideramos importantes para que los estudiantes conozcan las nociones básicas relacionadas con la herencia biológica.

2) El aprendizaje de objetivos conceptuales se verá favorecido por –y, a su vez, favorecerá– la puesta en práctica de *habilidades de investigación y de comunicación*, siempre que el programa de enseñanza proporcione a los estudiantes suficientes oportunidades para familiarizarse con algunos métodos habituales en la actividad científica (contenidos procedimentales). Como analizaremos después, la realización de sencillas investigaciones y la resolución de problemas de lápiz y papel son actividades que deben permitir que los estudiantes desarrollen destrezas y capacidades en relación con:

– la puesta en práctica de los algoritmos necesarios para resolver problemas;

– la observación, la recogida, la búsqueda y la organización de información (sobre la diversidad de la clase, por ejemplo);

– la formulación de hipótesis explicativas en relación con las situaciones planteadas, así como el desarrollo de estrategias para contrastarlas (establecimiento de diseños experimentales, identificación y control de variables...).

– el análisis y la interpretación de los datos derivados de los diseños experimentales, el establecimiento de las conclusiones que respaldan los resultados obtenidos y la elaboración de informes que expresen las ideas más importantes del trabajo realizado, sus implicaciones y sus consecuencias.

Más adelante analizaremos cómo estas circunstancias pueden ser contempladas en el planteamiento y el enfoque de las actividades de enseñanza, de manera que estas situaciones impliquen la reflexión de los estudiantes y se alejen de simples rutinas, que resuelven mediante la aplicación de determinadas reglas aprendidas de memoria.

3) La educación obligatoria también debe contribuir a que los estudiantes comprendan algunos aspectos elementales relacionados con las *aplicaciones tecnológicas y sociales* de los conocimientos en el ámbito de la genética, noticias que proliferan en los medios de comu-

nicación y que despiertan curiosidad y recelo en las personas. Así, por ejemplo:

– Sería conveniente que los estudiantes conocieran la importancia, desde el punto de vista científico, de los estudios desarrollados sobre el genoma humano; las causas de ciertas enfermedades de carácter hereditario o que tienen su origen en problemas de esta naturaleza (síndrome de Down, albinismo, hemofilia...); o el significado de los procesos de clonación, así como sus posibilidades de aplicación en distintos grupos de seres vivos.

– También habría que abordar algunos aspectos importantes relacionados con otras aplicaciones de la tecnología genética como: el significado de la utilización de las pruebas de ADN en diversos ámbitos (detección precoz de enfermedades, pruebas de paternidad, criminología...); la terapia génica (fabricación de hormonas, vacunas... a partir de la actividad de microorganismos genéticamente modificados); el estado actual de los conocimientos relacionados con las características, la fabricación y el consumo de los alimentos genéticamente modificados (alimentos transgénicos), y los debates que en torno a ellos tienen lugar a nivel científico y social; o la utilización de la ingeniería genética en ganadería y agricultura.

En consecuencia, los profesores no deberíamos sustraernos a abordar en el aula estos temas, integrándolos con los restantes contenidos del programa y utilizándolos como referencias destacadas para que los estudiantes aprendan en relación con la herencia biológica.

4) La formación de los estudiantes en los ámbitos señalados puede y debe fomentar, de manera intencionada, aprendizajes de carácter actitudinal. En este sentido, la enseñanza de la herencia biológica podría contribuir a fomentar valores, normas y comportamientos en relación con:

– el desarrollo de actitudes de rigor y flexibilidad intelectual y de hábitos de trabajo en grupo; la necesidad de justificar y fundamentar los puntos de vista en un contexto científico; o la adopción de actitudes de respeto hacia las opiniones de los demás;

– la realización de valoraciones y la toma de postura, con mayor criterio, respecto a las ventajas sociales y las limitaciones de la aplicación del conocimiento científico;

– el respeto hacia otras personas, como consecuencia de que los estudiantes sean conscientes de la identidad genética de la especie humana –con independencia de la existencia de distintas razas, poblaciones, culturas... intentando fomentar comportamientos no racistas– y comprendan la naturaleza genética de algunas enfermedades o de ciertas diferencias individuales (talla, grosor...).

5) El estudio de la genética también puede contribuir a que los estudiantes desarrollen una adecuada visión de la naturaleza del conocimiento científico; aunque ello no

debe implicar, necesariamente, adoptar una perspectiva histórica para la enseñanza de estos contenidos. Además de las dificultades que pueden tener los estudiantes de secundaria para comprender las investigaciones y los resultados de los trabajos de Mendel, habrá que tener en cuenta, como señalábamos en un estudio anterior, el carácter anecdótico e impreciso que, con frecuencia, acompaña a algunas perspectivas históricas (Banet y Ayuso, 1995).

Como alternativa, proponemos analizar algunos de los cambios más significativos en los puntos de vista de la comunidad científica en relación con la herencia biológica, cuando esta circunstancia pueda ser comprendida por los estudiantes; es decir, cuando hayan aprendido las nociones básicas sobre la herencia biológica, y no antes.

Es evidente que hasta ahora sólo hemos pretendido recoger algunos de los objetivos más elementales en el estudio de la genética. En la medida en que estemos de acuerdo con este panorama, debemos elaborar un plan intencionado de actividades que pueda responder a estas necesidades formativas. Las líneas básicas de nuestra propuesta las concretamos a continuación.

Selección y secuencia de actividades de enseñanza

No resulta sencillo resumir las circunstancias que deben concurrir en las tareas de aprendizaje cuando intentamos que los estudiantes progresen hacia los objetivos que hemos señalado; sin embargo, teniendo en cuenta las limitaciones de nuestro análisis, nos vamos a referir a algunos aspectos que consideramos importantes:

a) En coherencia con lo que ya hemos manifestado, las actividades deben permitir que los estudiantes amplíen, reestructuren o sustituyan sus conocimientos a partir de lo que ya saben.

b) De acuerdo con estas circunstancias, las tareas de aprendizaje deben responder a un doble propósito:

- Su planteamiento y desarrollo deben estar orientados por algunos objetivos didácticos importantes (interesar a los estudiantes, intercambiar ideas, aplicar lo aprendido...), propósitos que tienen que ver con el momento del programa de enseñanza en el que se desarrollan, y que condicionarán los papeles del profesor y de los estudiantes durante su realización.

- Además, sus contenidos deben tener en cuenta los objetivos de aprendizaje que subyacen en cada una de ellas (relaciones entre genes y alelos, elaboración de diseños experimentales, valoraciones sobre las aplicaciones tecnológicas y repercusiones sociales de la genética...).

c) Por último, aunque no existen dudas sobre la importancia de la *resolución de problemas* en el aprendizaje de la genética, los resultados obtenidos por la investigación educativa muestran que aprender a partir de estas actividades resulta más complejo de lo que cabría esperar.

1) *Las actividades de enseñanza y aprendizaje y la construcción de conocimientos.* Si bien, de acuerdo con Matthews (1997), se puede hablar de constructivismo desde distintas perspectivas (epistemológicas, ontológicas, éticas...), no es nuestra intención situarnos en estos niveles de análisis, sino considerar sus explicaciones sobre cómo aprenden los estudiantes. En este sentido, aunque se han identificado (Geelan, 1997) distintas formas de interpretar el *constructivismo educativo* (personal, social, radical...), una característica común a este movimiento es su rechazo a las teorías de aprendizaje basadas en el conductismo o en el empirismo, propugnando que el conocimiento no se recibe de forma pasiva, sino que es un proceso activo, a través del cual los individuos construimos explicaciones viables para nuestras experiencias, sin que ello implique el descubrimiento de entidad ontológica alguna (Wheatley, 1991).

Han sido muchos los trabajos que se han desarrollado en el ámbito del constructivismo. Algunos han analizado las circunstancias que favorecen el cambio conceptual en los estudiantes (Hewson, 1981; Hewson y Thorley, 1989; Rumelhart y Norman, 1981; Posner et al., 1982; Carey, 1985; Pines y West, 1986; Gunstone et al., 1992). Otros han propuesto o implementado diferentes modelos didácticos en las aulas de ciencias, como «Learning cycle» (Lawson, 1988; Johnson y Lawson, 1998), «Aprendizaje generativo» (Osborne y Wittrock, 1983; Osborne y Freyberg, 1985), «Children's Learning in Science Project» (Driver y Oldham, 1986; Driver, 1988), «Aprendizaje como investigación» (Gil, 1993; Gil y Carrascosa, 1994), «Ciencia como indagación» (Duschl, 1998), «Explicación y contraste de modelos» (Glynn y Duit, 1995; Ogborn et al., 1998).

Sin embargo, existe una fuerte polémica en relación con esta orientación, incluso, entre aquéllos que se sitúan en el ámbito del constructivismo, como se desprende de la revisión crítica realizada por distintos autores (Novak, 1988; Millar, 1989; O'Loughlin, 1992; Solomon, 1994; Matthews, 1994, 1997; Bliss, 1995; Osborne, 1996; Garrison, 1997; Hardy y Taylor, 1997; Nola, 1997; Ogborn, 1997; entre muchos otros). También se han señalado algunas deficiencias relacionadas con sus posibles repercusiones en el ámbito educativo (Osborne, 1996; Matthews, 1997; Nola, 1997; Ogborn, 1997).

En nuestra opinión, además de los debates teóricos, los resultados de las investigaciones a pie de aula pueden aportar información relevante para profundizar en el desarrollo de esta perspectiva –o en su caso, para proponer otras alternativas–, en el intento de comprender mejor cómo adecuar la enseñanza a las estrategias que utilizan los estudiantes para aprender.

Contribuir a ello ha sido, precisamente, el propósito de algunas de las investigaciones que hemos llevado a cabo en relación con la nutrición humana (Banet y Núñez, 1997) o la alimentación, la salud y el consumo (Banet et al., 1999), cuyos resultados han puesto de manifiesto que las explicaciones constructivistas del aprendizaje proporcionan referencias útiles para orientar el desarrollo de los procesos de enseñanza y producen resultados

educativos más satisfactorios que otros enfoques habituales en secundaria, en los que predominan orientaciones de naturaleza conductista. En este mismo sentido apuntan también las conclusiones preliminares obtenidas en relación con la herencia biológica (Banet y Ayuso, 2000).

En consecuencia, estamos de acuerdo con Vicentini (2001) cuando señala que las evidencias empíricas disponibles en relación con el constructivismo como modelo de aprendizaje –no como una teoría de la educación– constituyen un aval importante para orientar la investigación y la práctica de los profesores en las aulas. Desde esta perspectiva, se concibe el aprendizaje como un proceso adaptativo a través del cual los alumnos y las alumnas amplían o reestructuran –con distinto grado de profundidad según las circunstancias– sus esquemas de conocimiento, proceso que requiere, necesariamente, su implicación mental en las tareas de enseñanza (Driver, 1989).

Como conclusión de estas breves reflexiones en torno al constructivismo educativo –y aun estando de acuerdo en que comprender la naturaleza de la enseñanza que tenga como referencia esta orientación es todavía difícil (Solomon, 1994)–, creemos que es posible articular programas de actividades que intenten promover la construcción de aprendizajes sobre la herencia biológica. A continuación presentamos, de manera resumida, un posible ejemplo de ello.

2) *Programa de enseñanza.* Como ya hemos adelantado, cuando el profesor selecciona y secuencia las actividades de aprendizaje, debe considerar criterios didácticos y científicos:

- Situándonos bajo la primera perspectiva, nos parece importante que las ideas de los estudiantes se pongan en juego durante la enseñanza. En este sentido, considerando las propuestas realizadas por Driver (1988) o Needham y Scott (1987), así como nuestra experiencia educativa en aulas de secundaria, la *secuencia de actividades* debería favorecer que los alumnos y alumnas: *a)* expliciten, intercambien y clarifiquen sus puntos de vista en relación con la localización, transmisión y cambio de la información hereditaria; *b)* amplíen, modifiquen o sustituyan –según la situación de partida– sus conocimientos iniciales; *c)* apliquen en diferentes contextos –y de esta manera consoliden– las nuevas ideas; y *d)* sean conscientes de lo que han aprendido como consecuencia del desarrollo del programa de enseñanza (Tabla III).

Como hemos puesto de manifiesto en otros trabajos (Banet, 2001), esta secuencia debe ser contemplada desde una perspectiva abierta y dinámica, en la que la transición entre fases es, con frecuencia, poco perceptible, ya que la dinámica del aula debe prevalecer sobre tentaciones de seguir pautas de actuación predeterminadas; en consecuencia, ni tiene por qué ser lineal, ni se pueden limitar los posibles beneficios educativos de una actividad por la fase en la que la hayamos situado.

Entendemos, además, que la construcción de conocimientos debe responder a una doble orientación: *a)* personal, en el sentido de proporcionar a los estudiantes suficientes oportunidades y tiempo para reflexionar, evaluar y reestructurar sus ideas; y *b)* compartida, de manera que estos conocimientos sean generados como consecuencia de un proceso en el que las interacciones y la comunicación en el aula (estudiante-estudiante; estudiante-profesor; profesor-estudiante) desempeñen un papel fundamental.

- Por otra parte, la *selección y la naturaleza de las actividades de enseñanza* deben ser suficientemente intencionadas, con objeto de permitir que los estudiantes alcancen, en la medida de lo posible, los objetivos de aprendizaje a los que nos hemos referido anteriormente. En coherencia con estos propósitos y con la secuencia propuesta, en la tabla IV presentamos, a modo de sugerencia, algunas de las actividades que se podrían realizar en 4º de ESO cuando se lleva a cabo la enseñanza de la herencia biológica.

Aunque no podamos describir cada una de ellas, hemos creído oportuno realizar algunas consideraciones sobre las mismas, con objeto de proporcionar al lector una información más amplia en su análisis sobre las valoraciones que estamos realizando en este artículo. En este sentido, habría que señalar lo siguiente:

- Las actividades de explicitación pretenden, desde el comienzo de la lección, poner de relieve los conocimientos de los estudiantes sobre los aspectos más relevantes de los contenidos que se van a desarrollar, procurando que sus planteamientos susciten debates y fomenten el interés.

- Puesto que no podemos esperar que el desarrollo de los contenidos de genética entusiasmen a nuestros estudiantes, debemos aprovechar algunas circunstancias favorables para que las tareas de clase aumenten o, al menos, mantengan su interés. En este sentido:

- Como ya hemos señalado, mejor que utilizar los guisantes de Mendel para comenzar el estudio de la genética, sería conveniente utilizar situaciones y ejemplos más próximos a los estudiantes (la diversidad de la clase, caracteres hereditarios familiares...).

- En esta línea, el análisis de los procesos de clonación y de la problemática asociada a la puesta en práctica de esta técnica en los seres vivos o los resultados de los estudios llevados a cabo sobre el genoma humano podrían constituir buenas «excusas» para introducir los complejos contenidos de genética (Tabla IV).

- Así mismo, el análisis de las diferencias entre hermanos y de las similitudes que se producen entre gemelos idénticos puede ser el punto de partida para analizar la reproducción sexual como causa de la diversidad intraspecífica.

- Además, por su complejidad, sería conveniente relacionar las actividades relacionadas con la mitosis y la

Tabla III
Sugerencias para desarrollar una secuencia de enseñanza de orientación constructivista (adaptada de Driver, 1986, 1988).

Fases	Objetivos	Papel del profesor	Papel de los estudiantes
<i>Iniciación</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Interesar a los estudiantes por los contenidos de enseñanza. – Explicitar e intercambiar ideas en el aula. – Orientar sobre los contenidos que se van a desarrollar. 	<ul style="list-style-type: none"> – Interesar a los estudiantes por los contenidos de enseñanza y fomentar el trabajo individual y en grupo. – Organizar el trabajo en el aula y coordinar las puestas en común. – Informar sobre los contenidos que se van a desarrollar. 	<ul style="list-style-type: none"> – Trabajan de forma individual o en grupo. – Explicitan y clarifican sus ideas en relación con las situaciones que se plantean y participan en las puestas en común. – Elaboran material escrito.
<i>Desarrollo</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Clarificar e intercambiar ideas. – Promover conflicto cognitivo. – Facilitar la construcción de nuevos conocimientos por sustitución, reestructuración o ampliación de los conocimientos iniciales. 	<ul style="list-style-type: none"> – Planificar las actividades de enseñanza y proporcionar los materiales adecuados. – Aportar explicaciones sobre los contenidos de enseñanza y sobre las instrucciones pertinentes a cada situación. – Colaborar y ayudar en el desarrollo de los trabajos prácticos (según los distintos objetivos de los mismos). 	<ul style="list-style-type: none"> – Reflexionan sobre las situaciones de conflicto planteadas por el profesor. – Atienden a las explicaciones e instrucciones. – Participan en las actividades de enseñanza. – Elaboran informes, conclusiones...
<i>Aplicación de conocimientos</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Consolidar aprendizajes. – Ampliar su significado, aplicándolos a nuevas situaciones. – Identificar y tratar de solucionar ciertas dificultades de aprendizaje de los estudiantes. 	<ul style="list-style-type: none"> – Actuar como orientador en el desarrollo de las actividades de enseñanza. – Proporcionar la información adicional que estime pertinente. – Prestar especial atención a los estudiantes que tienen problemas de aprendizaje. 	<ul style="list-style-type: none"> – Trabajan de forma individual o en grupo en las distintas actividades. – Analizan los resultados de las mismas, establecen las conclusiones pertinentes y elaboran los informes correspondientes.
<i>Revisión de aprendizajes</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Hacer conscientes a los estudiantes de lo que han aprendido. 	<ul style="list-style-type: none"> – Dirigir la atención de los estudiantes sobre el análisis del cambio en sus ideas y destacar los aspectos más significativos del mismo. 	<ul style="list-style-type: none"> – Comparan los conocimientos que poseen con los iniciales y establecen las diferencias más destacadas entre ellos.

meiosis con fenómenos observables por los estudiantes, como el crecimiento del cuerpo (y de sus órganos) o el mayor o menor parecido entre hermanos.

– El aprendizaje de actitudes depende, en gran medida, de la naturaleza de las actividades que se seleccionen. En este sentido, la realización de debates intencionados para que los estudiantes discutan y justifiquen, a partir de lo que están aprendiendo, sus puntos de vista sobre algunos de los temas que acabamos de señalar (clonación, genoma humano, alimentos transgénicos...) pueden ser estrategias interesantes para estos propósitos.

– En la medida de lo posible, algunas de estas actividades deben plantearse como pequeñas investigaciones, en las que trabajando en grupo, los estudiantes exploran soluciones ante preguntas relacionadas con la herencia biológica en las personas (lóbulo de la oreja, color de ojos, tipo de pelo...), utilizando como técnica de trabajo los árboles genealógicos. También se pueden utilizar, como ejemplos, especies de animales familiares para ellos. Son actividades de investigación dirigida (Gil,

1993) en las que se pueden poner en práctica las habilidades de investigación a las que ya nos hemos referido. También deben contribuir a desarrollar un conocimiento más profundo sobre cómo se organiza y se transmite la información hereditaria.

– En otros casos, el protagonismo del profesor debe ser mayor, pues le corresponderá aportar información relevante para los objetivos científicos de la actividad. Así será, por ejemplo: *a*) cuando al comienzo de la lección orienta a los estudiantes sobre los contenidos que se van a desarrollar; en este sentido, los mapas de conceptos (Fig. 7) son de gran interés didáctico para el profesor (como referencias para la enseñanza y el seguimiento de los aprendizajes) y para los estudiantes (como orientación y guía durante el proceso educativo); *o b*) cuando después del trabajo en grupo se realizan puestas en común para analizar las conclusiones obtenidas.

– Las consultas y lecturas de material bibliográfico pueden resultar de gran utilidad en el estudio de estos contenidos. En algunos casos este material será seleccio-

nado o elaborado por el profesor, en otras ocasiones requerirá la búsqueda de información, con mayor autonomía, por parte de los estudiantes (cuando recogen datos de distintas fuentes sobre el genoma humano o sobre los alimentos transgénicos, por ejemplo).

– Los cuestionarios de aplicación de ideas aportan datos sobre cómo tiene lugar la progresión en los aprendizajes de los estudiantes en relación con los contenidos básicos de la unidad; circunstancia que permitirá, a su vez, prestar atención a aquéllos que tienen mayores dificultades, con objeto de proponerles la realización de tareas de refuerzo.

En nuestra opinión, estos planteamientos deben contribuir al aprendizaje de los estudiantes en relación con los distintos ámbitos que hemos señalado. Con objeto de intentar ser más explícitos en nuestros puntos de vista, en la tabla V presentamos, a modo de ejemplo, las características de algunas de estas actividades.

3) La *resolución de problemas* constituye una de las tareas emblemáticas en la enseñanza de la genética. A través de estas actividades, los profesores intentamos que los estudiantes aprendan las nociones elementales de un ámbito conceptual complejo. También deberíamos pretender la puesta en práctica de ciertas habilidades y comportamientos consustanciales al trabajo científico.

Como ya hemos señalado, sería necesario plantear algunas de las actividades de enseñanza como problemas que los estudiantes tienen que resolver. Además, se han desarrollado ciertos programas informáticos que simulan situaciones reales, en las que los estudiantes actúan como investigadores, generando sus propias cuestiones, aplicando principios científicos, decidiendo las variables y parámetros que controlan... como, por ejemplo, Mendel (Stewart et al., 1987), Catlab (Simmons, 1987) o, en nuestro contexto educativo, el juego de los genes (Llort y García, 1997). Sin embargo, en este apartado nos vamos a referir a los problemas de lápiz y papel,

Tabla IV
Desarrollo de la secuencia de enseñanza.

Fases	Unidades y actividades de enseñanza			
	1. <i>Características de los organismos y herencia biológica</i>	2. <i>Células, cromosomas y herencia biológica</i>	3. <i>Herencia biológica y genes</i>	4. <i>Reproducción sexual y mutaciones...</i>
<i>Iniciación</i>	<i>Planteamiento general para cada una de las unidades:</i> 1) ¿Qué sabemos sobre explicitación e intercambio de ideas en relación con los principales objetivos de aprendizaje? 2) ¿Qué vamos a aprender? Orientación sobre los contenidos de cada uno de los mapas de la figura 7.			
<i>Desarrollo</i>	3) Los seres vivos y la reproducción sexual. 4) Herencia biológica y diversidad de los seres vivos. 5) Diversidad de las personas: diversidad de la clase. 6) Árboles genealógicos. 7) Lecturas: estructura celular y herencia biológica.	3) La clonación en los seres vivos. 4) Transmisión de información hereditaria entre células: mitosis y meiosis. 5) Teoría cromosómica de la herencia: cariotipo. 6) Anomalías en el número de cromosomas humanos. 7) Lectura: cromosomas y genes.	3) El genoma humano: cromosomas, genes y alelos. 4) Homocigosis y heterocigosis. 5) Lectura: los problemas de lápiz y papel. 6) Lectura: dominancia y herencia intermedia. Resolución de problemas. 7) Alimentos transgénicos.	3) ¿Cuántos gametos distintos podemos formar? Diferencias y similitudes entre hermanos. 4) Embarazos múltiples: gemelos y mellizos. 5) Lectura: causas de la diversidad intraespecífica, mutaciones y reproducción sexual. 6) Lectura: medio ambiente, herencia y diversidad.
<i>Aplicación de conocimientos</i>	8) Diversidad en animales. 9) Diferencias entre hermanos. 10) Lectura: movimiento eugenésico. 11) Cuestionario de aplicación de ideas.	8) Determinación hereditaria del sexo. 9) Cuestionario para aplicación de ideas.	8) De Mendel al descubrimiento del genoma humano. 9) Resolución de problemas: - Investigar la transmisión de caracteres en las personas. - Herencia de dos caracteres. - Algunas aplicaciones de la terapia génica, pruebas de ADN.	7) Resistencia de los organismos a insecticidas. 8) Cuestionario de aplicación de ideas.
<i>Revisión de aprendizajes</i>	<i>Planteamiento general para cada una de las unidades:</i> - Análisis de contenidos desarrollados. - Comparación de sus nuevas ideas con sus conocimientos iniciales.			

Tabla V
Planteamiento de algunas actividades de enseñanza.

Actividad	Algunas referencias sobre su desarrollo
<i>Estudio de la diversidad de la clase (iniciación-desarrollo)</i>	<p><i>Propósito:</i> Introducir a los estudiantes en los contenidos relacionados con la herencia biológica. <i>Planteamiento del problema:</i> Identificar qué características son hereditarias y cuáles no lo son. <i>Desarrollo:</i> Trabajo en grupo. Diseño de estrategias para contrastar las hipótesis. Delimitación del estudio (lóbulo de la oreja, lengua en U, color de ojos). Estudio de la diversidad de la clase. Estudio de la familia: realización de árboles genealógicos. Realización de informes. <i>Finalización:</i> Puesta en común de los resultados y conclusiones. Aportación de información por el profesor.</p>
<i>Lectura: los problemas de lápiz y papel (desarrollo)</i>	<p><i>Propósito:</i> Conocer el algoritmo para resolver problemas de lápiz y papel. <i>Planteamiento:</i> Actividad dirigida por el profesor. <i>Desarrollo:</i> Asignar símbolos a los alelos. Plantear modelo para representar cromosomas y genes. Determinar los genotipos de los padres. Identificar los gametos elaborados por los padres. Determinar los genotipos de los descendientes. Establecer los fenotipos de los descendientes. Calcular las proporciones de los descendientes.</p>
<i>Alimentos transgénicos (aplicación de conocimientos)</i>	<p><i>Propósitos:</i> Conocer y valorar las aplicaciones de la genética. Búsqueda de información. <i>Planteamiento:</i> Trabajo en grupo. Búsqueda de información bibliográfica. (¿qué son?: ¿para qué se obtienen?: ¿son peligrosos para la salud o para el medio ambiente?...). Elaboración de informes. <i>Finalización:</i> Puesta en común de los resultados y conclusiones. Aportación de información por el profesor.</p>

que son los que habitualmente se plantean en aulas de secundaria.

Aprender a partir de estas actividades no resulta sencillo, ya que se pueden presentar diversas dificultades (Ayuso et al., 1996): algunas se relacionan con el nivel de desarrollo cognitivo de los estudiantes; otras son de naturaleza conceptual (falta de significado o interpretaciones inadecuadas de los conceptos implicados: reproducción sexual, gen, alelo...) o tienen que ver con el enfoque de los problemas y con las estrategias intelectuales que ponen en práctica los estudiantes para su resolución. Como consecuencia de ello, la eficacia de estas tareas para promover o consolidar aprendizajes se puede ver seriamente comprometida.

Desde nuestro punto de vista, rentabilizar los resultados educativos de estas actividades requiere que los profesores tengamos en cuenta, entre otras circunstancias, la necesidad de explicitar los objetivos científicos y didácticos que nos proponemos con su realización y que, como consecuencia de ello, tomemos decisiones sobre su enfoque y el momento en el que se van a desarrollar:

– En relación con los *objetivos de aprendizaje*, será difícil que estas actividades promuevan la formación a la que nos hemos referido (conceptos, procedimientos y actitudes) si pueden ser resueltas mediante la aplicación memorística de algoritmos, trucos aprendidos de memoria como consecuencia de su aplicación reiterada en

situaciones similares. Esta clase de «ejercicios» anima a la manipulación inmediata y mecánica de los datos del problema, dificultando que los estudiantes reflexionen y encuentren sentido a los conceptos y a las estrategias implicados en su resolución. Eso favorece que alcancen la solución adecuada (Tabla VI) sin conocer que las plantas tienen reproducción sexual o que poseen cromosomas y genes (Ayuso et al., 1996).

Debemos proponer, por tanto, la realización de «verdaderos problemas» para que, a través de éstos, los estudiantes puedan poner en práctica las habilidades a las que nos hemos referido antes, de manera que no sólo aprendan ciencias, sino también «cómo hacer ciencia», como consecuencia de tareas que fomenten la comprensión por medio de la acción (Hodson, 1994; Gil et al., 1999a).

– En consecuencia, es necesario analizar detenidamente la *naturaleza de los problemas* que proponemos a los estudiantes. En este sentido, y aunque el interés educativo de estas situaciones no se puede limitar a la puesta en práctica de destrezas algorítmicas, uno de sus objetivos iniciales debe ser, precisamente, que los estudiantes aprendan estas estrategias, para lo cual resultan útiles los problemas que se plantean habitualmente en las aulas con un enfoque causa-efecto (conocidos los genotipos de los progenitores y el modelo de herencia, establecer los fenotipos y genotipos de los descendientes).

Tabla VI
Distintos enfoques de los problemas de genética.

Aplicación del algoritmo	Situación problemática
<p><i>Situación A:</i> En determinadas plantas, el alelo carácter <i>tallo largo</i> es dominante con respecto a <i>tallo corto</i>. Se cruza una planta homocigótica de tallo largo con otra homocigótica de tallo corto. Responde a las siguientes cuestiones:</p> <p>a) ¿Cuál será el genotipo y el fenotipo de la descendencia de ese cruce (F_1)?</p> <p>b) Si cruzáramos dos plantas de la F_1, ¿cuál sería el genotipo y el fenotipo de la F_2?</p>	<p><i>Situación B:</i> Laura es una mujer de pelo oscuro que tiene un hermano de pelo claro y una hermana de pelo oscuro. Luis es un hombre de pelo claro que tiene una hermana de pelo oscuro. Teniendo en cuenta estas circunstancias, responde a las siguientes cuestiones:</p> <p>a) ¿Qué color de pelo pueden tener los padres de Luis?</p> <p>b) ¿Cuál puede ser el color de pelo de los padres de Laura?</p> <p>c) ¿Cuál es el carácter dominante?</p> <p>d) ¿Tiene algún significado el hecho de que las mujeres que hemos mencionado en el enunciado del problema tengan el pelo oscuro?</p> <p>e) ¿Cómo podrían ser los descendientes del matrimonio entre Laura y Luis?</p>
<p><i>Características</i></p> <p>* Problema cerrado, causa-efecto, de solución única.</p> <p>* Resolución algorítmica (aplicación memorística de etapas aprendidas): asignación de letras mayúsculas y minúsculas a estos caracteres, aplicación de los conceptos de <i>dominancia</i>, <i>homocigosis</i>..., realización de cruces y obtención de la solución.</p>	<p><i>Características</i></p> <p>* Problema abierto, efecto-cause, con más de una solución posible.</p> <p>* Análisis de datos, elaboración de hipótesis y predicciones, aplicación del algoritmo, interpretación de resultados, análisis de las posibles conclusiones...</p>

Esta circunstancia facilitará que, posteriormente, se puedan abordar situaciones problemáticas más complejas, abiertas, sin solución única, que favorecen el desarrollo del razonamiento científico. En este sentido, los planteamientos efecto-cause (de los fenotipos observables a sus causas: genotipos, modelos de herencia) pueden resultar útiles para estos propósitos (Tabla VI).

En todo caso, debemos procurar que el contenido de los problemas se refiera a aspectos relevantes desde el punto de vista educativo y que, en la medida de lo posible, interese a los estudiantes. Un vistazo a los que se proponen en muchos de los libros de biología pone de manifiesto cómo los ejemplos que se utilizan se refieren a organismos o a características poco conocidos, que tienen pocas posibilidades de implicarles mentalmente en su resolución.

– En cuanto al *momento*, habría que señalar que, si bien esta clase de actividades resultan útiles como tareas en las que los estudiantes consolidan y aplican, de manera más autónoma, lo que han aprendido, también lo son en otras fases del desarrollo de la lección:

– En la medida en que su contenido pueda interesar a los estudiantes (cuando se relacionan con la genética humana, por ejemplo), puede ser conveniente proponer problemas al comienzo de la lección, como punto de partida para su desarrollo. Además de los posibles efectos motivadores, permitirán explicitar las ideas de los estudiantes o poner de manifiesto sus habilidades y destrezas para resolver las situaciones planteadas.

– También constituyen excelentes actividades para favorecer la construcción de conocimientos durante la fase de desarrollo. En todo caso, de acuerdo con Pashley

(1994), creemos necesario sustituir algunos símbolos que se utilizan para representar los genes (letras mayúsculas o minúsculas, encerradas en un círculo) por modelos que sitúen los genes en los cromosomas (Fig. 8). De esta manera, los estudiantes pueden comprender mejor las relaciones cromosomas-genes-alelos, haciendo más significativos sus aprendizajes.

SEGUIMIENTO DEL PROGRAMA DE ENSEÑANZA

Sea cual sea nuestro programa de enseñanza, parece necesario que los profesores dispongamos de una información actualizada que nos permita valorar si las distintas actividades responden a los objetivos didácticos y científicos para los que fueron diseñadas y constatar en qué medida favorecen el aprendizaje de los estudiantes. Desde nuestro punto de vista, el desarrollo de una secuencia de enseñanza como la que hemos propuesto permite disponer de diversas posibilidades para realizar este seguimiento. Así, por ejemplo, los profesores deberíamos conocer:

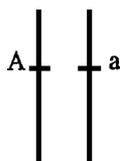
– Si las actividades de iniciación: a) motivan realmente a los estudiantes, utilizando como posibles indicadores la participación e interés de los distintos grupos de trabajo por llevar a cabo las tareas asignadas; b) son útiles para explicitar sus ideas sobre aspectos relevantes del tema, así como para suscitar cierto nivel de debate en torno a las situaciones planteadas.

– Durante la fase de desarrollo, deberíamos estar al tanto de la eficacia de las distintas tareas para favorecer la construcción de aprendizajes en los distintos ámbitos

formativos que proponíamos. Para ello sería necesario realizar un seguimiento intencionado del trabajo de los distintos grupos de estudiantes, que ponga de manifiesto aspectos tales como su interés, el grado de dificultad de las tareas, los resultados y las conclusiones que se obtienen, el tiempo necesario para su realización. También habría que considerar el nivel de implicación y atención de la clase en relación con las lecturas que se proponen, las explicaciones del profesor o las puestas en común.

– En cuanto a la fase de aplicación, sería necesario evaluar la capacidad de los estudiantes para resolver los cuestionarios y los problemas que les planteamos, a partir de los conocimientos que suponemos que han aprendido. En lo fundamental, el seguimiento de estas situaciones sería semejante al propuesto para la fase anterior. No obstante, comprobar el desarrollo y los resultados de las actividades que se realizan en estos momentos puede servir para proponer a los estudiantes actividades de refuerzo o ampliación, según los casos.

Figura 8



Aunque estemos de acuerdo en la importancia de este seguimiento, coincidiremos en que llevarlo a cabo supone un trabajo adicional para el profesor, por lo que es difícil de poner en práctica en las aulas. Una posible alternativa para intentar facilitar esta tarea pasaría por la elaboración de instrumentos de recogida de información, que fueran sencillos de utilizar mientras se desarrollan las distintas actividades. A través de ellos podemos conocer, en una primera aproximación, algunas de las circunstancias que acompañan al desarrollo de la enseñanza; sin embargo, con frecuencia será necesario realizar matizaciones adicionales una vez finalizada la clase. En la tabla VII presentamos algunos de los que hemos utilizado, con un aceptable nivel de eficiencia.

En la medida en que nuestra planificación de la enseñanza sobre la herencia biológica no coincida con la que desarrollan los libros de texto, será necesario elaborar hojas de trabajo (que reflejen las instrucciones y los resultados de las distintas actividades) o información escrita adicional. Revisar estos cuadernos de los estudiantes proporcionará un material muy valioso para llevar a cabo el seguimiento del programa de enseñanza. En particular, podemos comprobar en qué medida finalizan las tareas, las conclusiones que obtienen, sus respuestas y reflexiones ante determinadas cuestiones... Centrar esta revisión sobre aquellos aspectos que consideramos más relevantes, y llevarla a cabo, de manera periódica, sobre un número limitado de estudiantes pueden ser buenas medidas para hacer posible este seguimiento, aunque ello limite la información disponible.

A lo largo de este artículo hemos pretendido aportar algunas referencias que creemos útiles para llevar a cabo la enseñanza de la genética en la educación secundaria. Aunque, en líneas generales, nuestros puntos de vista pudieran ser compartidos, somos conscientes de las enormes dificultades para trasladarlos al aula. Como consecuencia de ello, no queremos finalizar este análisis sin reflexionar brevemente sobre la cuestión siguiente.

¿ES POSIBLE LLEVAR A CABO ESTOS PLANTEAMIENTOS EN AULAS DE SECUNDARIA?

Desde nuestro punto de vista, responder a esta pregunta requiere tener en cuenta dos consideraciones importantes: *a)* por una parte, las circunstancias que hemos analizado en este artículo marcan, con claridad, la necesidad de introducir cambios significativos en el desarrollo de los programas de enseñanza sobre la herencia biológica; *b)* por otra, aun estando de acuerdo con esta idea, la práctica diaria pone de manifiesto los obstáculos que se pueden presentar si decidimos acometer algunas de las sugerencias realizadas. Comentaremos algunas de ellas:

– Incorporar procedimientos y actitudes como objetivos de aprendizaje requiere cambios significativos en el proceso educativo, que afectan al enfoque de las actividades de enseñanza, pero también al proceso evaluador, ya que la importancia de aprender en estos ámbitos debe ser claramente percibida por los estudiantes.

– Organizar la clase para trabajar en grupo suele requerir un entrenamiento específico, también por parte del profesor; en caso contrario, un menor control de la situación se puede traducir en un lío monumental en el aula y producir la sensación de que estamos perdiendo el tiempo.

– Desarrollar unos planteamientos educativos como los que hemos propuesto requiere un diseño de actividades y una elaboración de materiales de aprendizaje *ad hoc*, que no encontraremos en los libros de texto.

– Por último, llevar a cabo la enseñanza de acuerdo con los planteamientos expuestos no sólo requiere una mayor dedicación del profesor sino también más implicación de los estudiantes en el proceso educativo (circunstancia nada fácil de lograr) y períodos de tiempo más prolongados.

Es evidente, por tanto, que las inquietudes que tenemos los profesores por mejorar la calidad de la educación y las posibilidades reales de innovación en las aulas se asemejan a una carrera de obstáculos, algunos de ellos muy difíciles de superar. Como consecuencia de ello, una lógica prudencia obliga a reflexionar sobre algunas circunstancias, antes de introducir cambios importantes en nuestra práctica educativa (Banet, 2001):

– No creemos aconsejable plantear modificaciones muy amplias y complejas cuyo desarrollo sea difícil de con-

Tabla VII
Características de los instrumentos para el seguimiento de las actividades.

Explicitación de ideas	Desarrollo: tareas de investigación
<p><i>En relación con la motivación o interés que genera la actividad:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Participación de los distintos grupos de estudiantes:</i> Todos o casi todos los grupos la desarrollan con interés. La mayoría de los grupos la desarrollan con interés. Algunos grupos la desarrollan con interés. Existe poco interés por el desarrollo de la actividad. - <i>Participación de los estudiantes en cada grupo:</i> Todos o casi todos los estudiantes participan en la actividad. La mayoría de estudiantes participa. Sólo algunos estudiantes participan. La participación de los estudiantes en la actividad es escasa. 	<p><i>Grado de comprensión de la información (verbal o escrita):</i> La información es entendida con facilidad por todos los alumnos. La información se entiende pero es necesario aclarar algunos aspectos. La información requiere muchas aclaraciones para ser comprendida. La información es difícil de entender para la mayoría de los alumnos:</p> <p><i>Grado de dificultad en la realización de la tarea</i> La tarea es realizada por casi todos los alumnos o grupos. La tarea es realizada por la mayoría de los alumnos o grupos. La tarea sólo es realizada por algunos estudiantes o grupos. Muy pocos grupos o estudiantes logran finalizar la tarea.</p>
<p><i>Otras observaciones:</i></p>	<p><i>Observaciones (causas por las que no se realiza la tarea)</i></p>
<p><i>En relación con la explicitación de ideas, el planteamiento y desarrollo de la actividad son:</i> Muy adecuados para la explicitación de ideas. Adecuados para la explicitación de ideas. Parcialmente útiles para la explicitación de ideas. Poco útiles para la explicitación de ideas</p>	<p><i>En relación con el interés de la actividad:</i> Casi todos los alumnos o grupos realizan con interés la actividad. La mayoría de los alumnos o grupos la realizan con interés. Algunos estudiantes o grupos desarrollan la actividad con interés. Existe poco interés por el desarrollo de la actividad.</p>
<p><i>Pertinencia de las ideas explicitadas:</i> Las ideas explicitadas son importantes en el contexto de la lección. Muchas ideas explicitadas son importantes. Algunas ideas explicitadas son importantes. Pocas o ninguna de las ideas explicitadas son importantes.</p>	<p><i>Grado de acuerdo en la puesta en común de los resultados de la actividad:</i> Los resultados son coincidentes en todos los alumnos o grupos. Los resultados coinciden en la mayoría de ellos. Existen algunos resultados contradictorios entre alumnos o grupos. Gran diversidad en los resultados obtenidos por alumnos o grupos.</p>
<p><i>Otras observaciones (naturaleza y variedad de las ideas explicitadas, grado de debate que suscitan...)</i></p>	<p><i>Otras observaciones de interés sobre la actividad</i></p>

trolar. Es posible que estas iniciativas no generen los resultados que esperamos y produzcan cierta sensación de fracaso, acompañada de la aparición de nuevos problemas (relacionados con la dedicación del profesor o con la organización y desarrollo de las clases). Por ello, nuestra primera consideración se refiere al *carácter gradual* de estos procesos de innovación.

- Este carácter progresivo favorecerá el *entrenamiento* de profesor y estudiantes, proporcionando mayor seguridad y confianza, permitirá profundizar en los procesos de cambio y generará competencias para llevar a cabo una gestión del aula que responda a nuevos planteamientos educativos (trabajo en grupo, mayor participación de los estudiantes en la enseñanza...).

- Por último, ante la dificultad del mayor *tiempo* que requieren estos enfoques de la enseñanza, habría que señalar que, al menos en los niveles de educación obligatoria, se pueden presentar argumentos que justifican un desarrollo más pausado de los programas de aprendizaje:

- La necesidad de prestar una mayor atención educativa a la formación, en sentido amplio, de los estudiantes; es decir, no se trata de reducir contenidos, sino de aligerar el peso específico tradicional de aquéllos de carácter conceptual e incorporar otros, que no pueden ser ignorados en estos niveles educativos.

- La importancia de proporcionar a los estudiantes suficientes oportunidades para aprender significativamente, circunstancia que es difícil que se produzca con programas enciclopédicos, que se desarrollan con cierta celeridad. Lograr cambios sustanciales en los conocimientos de los estudiantes sobre la herencia biológica y en sus habilidades intelectuales o en sus actitudes requiere su tiempo.

En definitiva, de acuerdo con Duschl (1997), nos parece necesario que los profesores nos planteemos la selección de los contenidos de enseñanza de manera más crítica y fundamentada, con criterios que apunten hacia la calidad de los aprendizajes más que a su cantidad, y que consideren su utilidad formativa para los estudiantes de niveles obligatorios de enseñanza.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBALADEJO, C. y LUCAS, A.M. (1988). Pupils' meanings for «mutation». *Journal of Biological Education*, 22(3), pp. 215-219.
- AYUSO, G.E. (2000). *La enseñanza de la herencia biológica y la evolución de los seres vivos. Fundamentación, planificación, aplicación y evaluación de una propuesta didáctica para la educación secundaria obligatoria*. Murcia: Universidad de Murcia.
- AYUSO, G.E. y BANET, E. (1997). Dificultades de los estudiantes de enseñanza secundaria para resolver problemas sobre la herencia biológica, en Jiménez, R. y Wamba, A.M. (eds.). *Avances en la didáctica de las ciencias experimentales*, pp. 73-82. Huelva: Universidad de Huelva.
- AYUSO, G.E., BANET E. y ABELLÁN, M.T. (1996). Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y el bachillerato: II. ¿Resolución de problemas o realización de ejercicios? *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), pp. 127-142.
- BANET, E. (2001). *Los procesos de nutrición humana*. Madrid: Síntesis.
- BANET, E. y AYUSO, G.E. (1995). Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y bachillerato: I. Contenidos de enseñanza y conocimientos de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), pp. 137-153.
- BANET, E. y AYUSO, G.E. (2000). Teaching Genetics at Secondary School: a strategy for teaching about the localitation of Inheritance information. *Science Education*, 84(3), pp. 313-351.
- BANET, E. y NÚÑEZ, F. (1997). Teaching and learning about human nutrition: a constructivist approach. *International Journal of Science Education*, 19(10), pp. 1169-1194.
- BANET, E., MARTÍNEZ SEGURA, M.J. y PRO, A. (1999). Diseño, aplicación y evaluación del módulo «Estudio de la alimentación, salud y consumo», en De Pro, A. y Banet, E. (eds.). *Constructivismo y enseñanza de las ciencias: planificación, desarrollo y evaluación de propuestas para la educación secundaria*, pp. 109-181. Murcia: DM editorial.
- BIZZO, N. (1994). From Down House Landlord to Brazilian High School Students: What has happened to Evolutionary knowledge on the way? *Journal of Research in Science Teaching*, 31(5), pp. 537-556.
- BLISS, J. (1995). Piaget an after: the case of learning science. *Studies in Science Education*, 25, pp. 139-172.
- BROWN, C.R. (1990). Some misconceptions in meiosis shown by students responding to an Advanced level practical examination question in biology. *Journal of Biological Education*, 24(3), pp. 182-186.
- CAREY, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge: MIT Press.
- CHO, H., KAHLE, J. y NORDLAND, F. (1985). An investigation of high school biology textbooks as sources of misconceptions and difficulties in genetics: Some suggestions for Teaching Genetics. *Science Education*, 69(5), pp. 707-719.
- CLOUGH, E.E. y WOOD-ROBINSON, C. (1985). Children's understanding of inheritance. *Journal of Biological Education*, 19(4), pp. 304-310.
- COLLINS, A. y STEWART, J.H. (1989). The knowledge structure of Mendelian Genetics. *The American Biology Teacher*, 51(3), pp. 143-149.
- DEADMAN, J.A. y KELLY, P.J. (1978). What do secondary schoolboys understand about evolution and heredity before they are taught the topics? *Journal of Biological Education*, 12(1), pp. 7-15.
- DRIVER, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), pp. 109-120.
- DRIVER, R. (1989). Students' conceptions and the learning of Science. *International Journal of Science Education*, 11(5), pp. 481-501.
- DRIVER, R. y OLDHAM, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in Science. *Studies in Science Education*, 13, pp. 105-112.
- DUSCHL, R.A. (1997). Renovar la enseñanza de las ciencias: importancia de las teorías y su desarrollo. Madrid: Narcea.
- DUSCHL, R.A. (1998). La valoración de argumentaciones y explicaciones: promover estrategias de retroalimentación. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), pp. 3-20.
- FINLEY, F.N., STEWART, J.H. y YARROCH, W.I. (1982). Teachers' Perceptions of Important and Difficult Science Content. *Science Education*, 66(4), pp. 531-538.
- GARRISON, J. (1997). An alternative to Von Glasersfeld's subjectivism in science education: deweyan social constructivism. *Science & Education*, 6(1-2), pp. 301-312.
- GEELAN, D.R. (1997). Epistemological anarchy and the many forms of constructivism. *Science & Education*, 6(1-2), pp. 15-28.
- GIL, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), pp. 197-212.
- GIL, D. y CARRASCOSA, J. (1994). Bringing pupils' learning closer to a Scientific Construction of Knowledge: a permanent feature in innovations in Science Teaching. *Science Education*, 78(3), pp. 301-315.
- GIL, D., FURIÓ, C., VALDÉS, P., SALINAS, J., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., GUIASOLA, J., GONZÁLEZ, E., DUMAS-CARRÉ, A., GOFFARD, M. y PESSOA DE CARVALHO, A. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), pp. 311-320.
- GLYNN, S.M. y DUIT, R. (1995). *Learning science in schools*. Hillsdale, Nueva Jersey: Erlbaum.
- GUNSTONE, R.F., GARY, M.R. y SEARLE, P. (1992). Some long-term effects of uniformed conceptual change. *Science Education*, 76(2), pp. 175-199.
- HACKLING, M. y TREAGUST, D. (1984). Research data necessary for meaningful review of grade ten high school genetics curricula. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(2), pp. 197-209.
- HARDY, M.D. y TAYLOR, P.C. (1997). Von Glasersfeld's radical constructivism: a critical review. *Science & Education*, 6(1-2), pp. 135-150.
- HEWSON, P.W. y THORLEY, N.R. (1989). The conditions of Conceptual Change in the classroom. *International Journal of Science Education*, 11, pp. 541-553.

- HODSON, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), pp. 299-313.
- JENSEN, M.S. y FINLEY, F.N. (1995). Teaching Evolution using a historical arguments in a conceptual change strategy. *Science Education*, 79(2), pp. 147-166
- JOHNSON, M.A. y LAWSON, A.E. (1998). What are the relative effects of reasoning ability and prior knowledge on Biology achievement in expository and inquiry classes? *Journal of Research in Science Teaching*, 35(1), pp. 89-103.
- KINDFIELD, A. (1994a). Understanding a basic Biological Process: Expert and novice models of meiosis. *Science Education*, 78(3), pp. 255-283.
- KINDFIELD, A. (1994b). Assessing Understanding of Biological Process: elucidating students' models of Meiosis. *The American Biology Teacher*, 56(6), pp. 67-371.
- KINNEAR, J. (1983). Identification of misconceptions in genetics and the use of computer simulations in their correction. En Helm, H. y Novak, J.D. (eds.). *First International Seminar on Misconceptions and educational strategies in Science and Mathematics*, pp. 84-92. Ithaca, Nueva York: Cornell University Press.
- LAWSON, A.E. (1988). The acquisition of Biological knowledge during childhood: cognitive conflict or tabula rasa? *Journal of Research in Science Teaching*, 25(3), pp. 185-199.
- LEWIS, J., LEACH, J. y WOOD-ROBINSON, C. (2000a). All in the Genes? Young people's understanding of the Nature of Genes. *Journal of Biological Education*, 34(2), pp. 74-79.
- LEWIS, J., LEACH, J. y WOOD-ROBINSON, C. (2000b). What's in a Cell? Young people's understanding of the Genetic relationship between Cells, within an individual. *Journal of Biological Education*, 34(3), pp. 129-132.
- LEWIS, J., LEACH, J. y WOOD-ROBINSON, C. (2000c). Chromosomes: The missing link. Young people's understanding of Mitosis, Meiosis, and Fertilisation. *Journal of Biological Education*, 34(4), pp. 89-199.
- LONGDEN, B. (1982). Genetics: Are there inherent learning difficulties? *Journal of Biological Education*, 16(2), pp. 135-140.
- LLORT, J.M. y GARCÍA, M.P. (1997). El juego de los genes. V Congreso Internacional sobre la Investigación e Innovación en la Didáctica de las Ciencias. Murcia, pp. 255-256.
- MATTHEWS, M.R. (1994). Vino viejo en botellas nuevas: un problema con la metodología constructivista. *Enseñanza de las ciencias*, 12(1), pp. 79-88.
- MATTHEWS, M.R. (1997). Introductory comments on philosophy and constructivism in science education. *Science & Education*, 6(1-2), pp. 5-14.
- MILLAR, R. (1989). Constructive criticisms. *International Journal of Science Education*, 11(3), pp. 587-596.
- NEEDHAM, R. y SCOTT, P. (1987). Teaching Strategies for Developing Understanding in Science. University of Leeds: Centre for Studies in Science and Mathematics Education.
- NOLA, R. (1997). Constructivism in science and science education: a philosophical critique. *Science & Education*, 6(1-2), pp. 55-83.
- NOVAK, J.D. (1988). Constructivismo humano: un consenso emergente. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), pp. 213-223.
- OGBORN, J. (1997). Constructivist metaphors of learning science. *Science & Education*, 6(1-2), pp. 121-133.
- OGBORN, J., KRESS, G., MARTINS, I. y MCGILLIKUDAY, K. (1998). *Formas de explicar*. Madrid: Santillana.
- O'LOUGHLIN, M. (1992). Rethinking science education: beyond piagetian constructivism toward a sociocultural model of teaching and learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(8), pp. 791-820.
- OSBORNE, J.F. (1996). Beyond constructivism. *Science Education*, 80(1), pp. 53-82.
- OSBORNE, R. y WITTROCK, M. (1983). Learning Science: a Generative Process. *Science Education*, 67(4), pp. 489-508.
- OSBORNE, R. y FREYBERG, P. (1985). *Learning and Science: the implications of «Children's Science»*. Nueva Zelanda: Heinemann Educational.
- PASHLEY, M. (1994) A-level students: Their problems with gene and allele. *Journal Biological Education*, 28(2), pp. 120-126.
- PINES, A. y WEST, L. (1986). Conceptual understanding and Science Learning: An interpretation of research within sources-of-knowledge framework. *Science Education*, 70(5), pp. 583-604.
- POZO, J.I. y GÓMEZ CRESPO, M.A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Morata: Madrid.
- POSNER, G.J., STRIKE, K.A., HEWSON, P.W. y GERTZOG, W.A. (1982). Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, 66(2), pp. 211-227.
- RADFORD, A. y BIRD-STEWART, J.A. (1982). Teaching Genetics in schools. *Journal of Biological Education*, 16(3), pp. 177-180.
- RAMOROGO, G. y WOOD-ROBINSON, C. (1995). Botswana Children's Understanding of Biological Inheritance. *Journal of Biological Education*, 29(1), pp. 60-71.
- RESNICK, L.B. (1983). Mathematics and science learning: a new conception. *Science*, 220, pp. 477-478.
- RUMELHART, D.E. y NORMAN, D.A. (1981). Analogical processes in learning, en Anderson, J.R. (ed.). *Cognitive Skills and their Acquisition*. Hillsdale, Nueva Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- SIMMONS, P.E. (1987). «Misconceptions of experts and novices during Genetics computer simulation». Proceeding of the International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics, pp. 447-451. Ithaca, Nueva York: Cornell University, II.
- SLACK, S. y STEWART, J.H. (1990). High school students' problem solving performance on realistic genetics problem. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(1), pp. 55-67.
- SMITH, M.U. y GOOD, R. (1984). Problem solving and classical genetics, «Successful versus unsuccessful performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(9), pp. 895-912.
- SOLOMON, J. (1994). The rise and fall of constructivism. *Studies in Science Education*, 23, pp. 1-19.
- STEWART, J.H. (1982). Difficulties Experienced by High School Students when learning basic Mendelian Genetics. *The American Biology Teacher*, 44(2), pp. 80-89.
- STEWART, J.H. (1983). Student problem solving in High School Genetics. *Science Education*, 67(4), pp. 523-540.

- STEWART, J.H., STREIBEL, M. y COLLINS, A. (1987). «Computers as tutors: Mendel as an example». Proceedings of International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics. Ithaca, Nueva York: Cornell University, II, pp. 477-489.
- STEWART, J.H., HAFNER, B. y DALE, M. (1990). Students' alternate views of Meiosis. *The American Biology Teacher*, 52(4), pp. 228-232.
- THOMPSON, N. y STEWART, J.H. (1985). Secondary school genetics instruction: «Making problem solving explicit and meaningful». *Journal of Biological Education*, 19(1), pp. 53-62.
- VICENTINI, M. (2001). Comunicación personal.
- WHEATLEY, G.H. (1991). Constructivist perspectives on Science and Mathematics learning. *Science Education*, 75(1), pp. 9-21.
- WOOD-ROBINSON, C. (1994). Young people's ideas about Inheritance and Evolution. *Studies in Science Education*, 24, pp. 29-47.
- WOOD-ROBINSON, C., LEWIS, J, LEACH, J. y DRIVER, R. (1997). «Young people' understanding of the nature of genetics information in the cells of an organism». First Conference of the European Science Education Research Association. Rome.

[Artículo recibido en junio de 2001 y aceptado en octubre de 2001.]