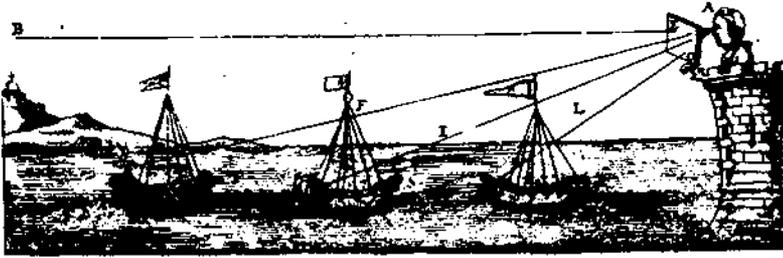


INVESTIGACIÓN



Y EXPERIENCIAS DIDÁCTICAS

INTRODUCCIÓN A LA GENÉTICA EN LA ENSEÑANZA SECUNDARIA Y BACHILLERATO: I. CONTENIDOS DE ENSEÑANZA Y CONOCIMIENTOS DE LOS ALUMNOS

BANET, E.¹ y AYUSO, E.²

¹ Facultad de Educación. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales.
Campus de Espinardo. 30100 Murcia.

² IB Molina de Segura. Murcia.

SUMMARY

In this paper an analysis is made of some of the causes which can hinder the students' learning of genetics at Secondary Level (12-17 years).

This research study highlights the need of introducing changes in content at syllabus design level, and shows that students have a slight knowledge of heredity, although the basic tenets are very often wrong, even before they have their first contact with the subject as academic content at school.

INTRODUCCIÓN

El estudio de algunos aspectos básicos sobre dónde reside y cómo se transmite la información hereditaria se inicia, en nuestro sistema educativo, en los niveles de

enseñanza secundaria. Se supone que, hasta este momento, los estudiantes no han desarrollado los esquemas de razonamiento necesarios, ni poseen los conocimien-

tos pertinentes que les permitan comprender los conceptos elementales de genética. Aun reconociendo las dificultades que éstos plantean (a los profesores para enseñarlos, y a los alumnos para aprenderlos), existe una amplia coincidencia entre el profesorado de biología en la necesidad de incluir contenidos básicos sobre la herencia en estos niveles educativos (Finley, Stewart y Yaroch 1982). Sus resultados destacan la importancia que los profesores de enseñanza secundaria conceden a la genética mendeliana, a la teoría cromosómica de la herencia o al concepto de gen, entre otros.

Sin embargo, como en otras áreas de la biología, muchos trabajos de investigación han puesto de manifiesto que, después de la instrucción, los aprendizajes de los estudiantes sobre la herencia biológica son menos significativos de lo que cabría esperar. Así, por ejemplo, atribuyen significados erróneos a conceptos básicos, como cromosomas, genes, alelos o mutaciones (Collins y Stewart 1989, Albaladejo y Lucas 1988); no alcanzan a comprender el significado de procesos importantes, como la meiosis (Stewart 1982, Brown 1990), ni el papel que juega el azar en la transmisión de los caracteres hereditarios (Hackling y Treagust 1984, García Cruz 1990); interpretan, de manera equivocada, dominancia y recesividad (Heim 1991); sitúan los dos alelos para un carácter en el mismo cromosoma (Moll y Allen 1987).

Para algunos autores, los libros de texto pueden causar o reforzar los errores de los alumnos. Así, Cho, Kahle y Nordland (1985) destacan que los manuales de enseñanza secundaria: *a)* no relacionan adecuadamente genética y meiosis; *b)* tampoco establecen una relación clara entre algunos conceptos básicos (alelo, gen, ADN, cromosoma y carácter); *c)* utilizan términos de forma confusa (alelo, gen, mutación); *d)* no tienen en cuenta la dificultad en el empleo de algunos elementos matemáticos (probabilidades, uso inadecuado de la tabla de Punnett); *e)* no siguen una secuencia adecuada en la presentación de los contenidos. Un planteamiento similar ha sido señalado por otros autores (Mondelo, García y Martínez 1988).

La complejidad del estudio de la genética en la enseñanza secundaria deriva, en buena medida, de la naturaleza de sus conceptos, pero se ve notablemente incrementada por la necesidad de aplicarlos a estrategias de aprendizaje, complejas en sí mismas, como la resolución de problemas. Esta clase de actividades puede servir para comprender mejor la estructura conceptual de la genética y la naturaleza de la ciencia como actividad intelectual y para desarrollar algunas destrezas propias de esta disciplina, como el ensayo de determinadas hipótesis y el uso de algoritmos adecuados, y otras de carácter más general, como redescubrir datos de un problema, búsqueda de información, análisis de datos y resultados (Stewart y Van Kirk 1990).

La capacidad para resolver problemas depende del nivel cognitivo de los alumnos (Walker, Hendrix y Mertens 1980, Smith y Suthern Sims 1992). Los estudiantes con escasa habilidad para usar elementos de un razonamiento científico hipotético-deductivo (combinatorios, pro-

porcionales y probabilísticos), difícilmente podrán resolverlos sin que ésta sea una relación causa-efecto, es decir, no por poseer un razonamiento con estas características los resolverán (Mitchell y Lawson 1988). En todo caso, la resolución con éxito de problemas de genética no implica que se entiendan los conceptos que suponemos que están siendo aplicados (Stewart, Hafner y Dale 1990). Slack y Stewart (1990) han puesto de manifiesto algunos errores comunes en las estrategias de resolución puestas en práctica por los estudiantes, como, por ejemplo, considerar como carácter dominante el fenotipo más abundante o creer que, cuando se producen distinto número de machos que de hembras, se trata de herencia ligada al sexo; también se producen interpretaciones incorrectas de los datos, ignorándose, incluso, aquéllos que contradicen las hipótesis planteadas.

Nuestro trabajo pretende analizar alguna de las causas que dificultan el aprendizaje de los contenidos de genética, los cuales se introducen en niveles de enseñanza secundaria, y plantear, como posibles soluciones, alternativas didácticas que tengan en consideración tres aspectos que, aunque no son los únicos, son importantes cuando los alumnos tienen el primer encuentro académico con contenidos de esta naturaleza:

- Los contenidos de enseñanza y su secuenciación.
- Los conocimientos que poseen los alumnos que inician el estudio de la herencia.
- La resolución de problemas como estrategia de enseñanza de la genética.

En este artículo analizaremos los dos primeros apartados y, en otros posteriores, presentaremos una propuesta didáctica implementada en aulas de secundaria, y consideraremos detenidamente las dificultades que plantea la resolución de problemas.

MÉTODO DE TRABAJO

Los datos que aportamos en este trabajo constituyen un avance de los resultados del proyecto que estamos desarrollando sobre planificación, desarrollo y evaluación de la unidad didáctica «herencia y evolución», para cuarto curso de enseñanza secundaria obligatoria. Las fuentes utilizadas para su obtención han sido las siguientes:

a) El análisis de las ideas de los alumnos se ha realizado a partir de una muestra constituida por dos grupos de estudiantes de enseñanza secundaria (14-16 años). En el primero de ellos (N = 52, de 1º de BUP), al comenzar el curso; en el segundo (N = 46, 4º de ESO), pocas semanas después de que estudiaran la estructura y funciones celulares. Pretendíamos, así, valorar en qué medida los conceptos adquiridos, como consecuencia de este estudio, pueden facilitar la comprensión de la genética. Incluimos resultados obtenidos en una muestra de 3º de BUP (N = 34, 16-18 años) para conocer la repercusión de

estudios anteriores, sobre conocimiento de la herencia biológica, aunque el tamaño de la muestra impida la generalización de nuestros resultados.

b) El procedimiento empleado en la exploración de ideas de los alumnos se ha basado en una combinación de entrevistas individuales y cuestionarios (Banet y Núñez 1990). Los cuestionarios combinan preguntas de respuesta cerrada con otras de elección múltiple; muchas de ellas con justificación de la opción elegida (Tamir 1989). Las entrevistas se realizaron antes y después de administrar los cuestionarios. En el primer caso, sobre una muestra de 12 alumnos de 1º de BUP y 4º de ESO, que incluía estudiantes con distinto rendimiento académico, para determinar el grado de comprensión de ciertos términos y el nivel al que podríamos formular las preguntas escritas (particularmente importante en nuestro caso, ya que alguno de los contenidos pueden ser desconocidos o mal interpretados). Las que fueron llevadas a cabo después se realizaron con un total de 20 alumnos de ambos niveles, seleccionados según sus respuestas a determinadas preguntas del cuestionario, con objeto de conocer su grado de seguridad y obtener aclaraciones sobre algunas de las contradicciones que en ellas se ponen de manifiesto.

El contenido de ambos instrumentos tiene como referencia el mapa de conceptos que presentamos en la figura 1, en el que, teniendo en cuenta el nivel de los alumnos,

hemos evitado incluir conceptos o relaciones demasiado complejos. En todo caso, procuramos concretarlo utilizando un lenguaje que pudiera ser comprendido, y formular diferentes preguntas sobre un mismo aspecto para poder valorar la coherencia de sus respuestas.

c) Los datos de los libros de texto se han obtenido a partir del análisis de manuales de uso muy frecuente en nuestras aulas, pertenecientes a nueve editoriales diferentes (Anaya, Bruño, Ecir, Everest, Marfil, S.M., Santillana, Teide y Vicens-Vives).

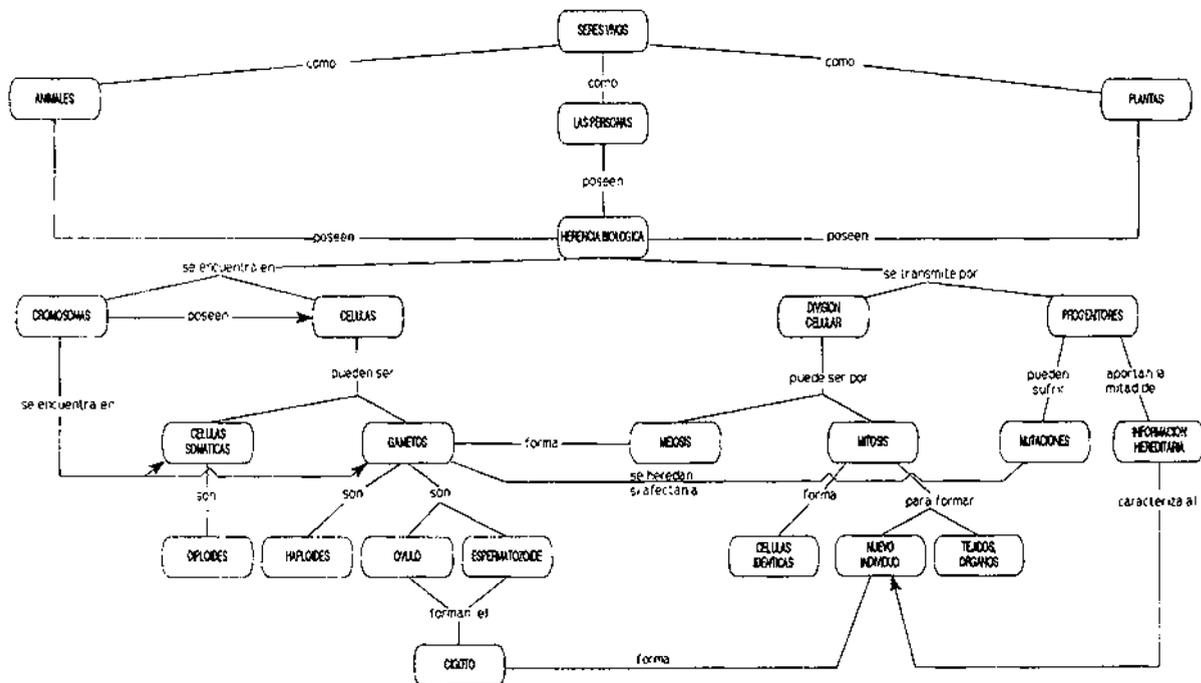
CAMBIOS EN LOS CONTENIDOS DE ENSEÑANZA

En primer lugar, intentaremos poner de manifiesto la necesidad de revisar los contenidos que se imparten a los alumnos que inician sus estudios de genética, aportando sugerencias que pueden mejorar el aprendizaje de los estudiantes.

1. Algunas orientaciones que caracterizan la enseñanza de la genética

Desde nuestro punto de vista, existe una amplia coincidencia en la selección y secuenciación de contenidos que

Figura 1
Células e información hereditaria.



realizan los profesores cuando introducen a los alumnos en el estudio de la herencia biológica. Esta similitud de criterios no deriva tanto de un currículo demasiado prescriptivo como de la interpretación que de él han hecho los libros de texto, instrumentos utilizados como referencias básicas para decidir qué enseñar y en qué orden hacerlo. La mayoría de los manuales responden a las siguientes características:

- El núcleo central de la genética suelen ser las leyes de Mendel. En todos los libros de texto analizados, excepto uno, se incluyen estos contenidos. Una vez estudiados, los alumnos deben reconocer cuál es la ley implicada en un problema y aplicar una estrategia de resolución similar a la utilizada anteriormente por el profesor.

- Con carácter previo, algunos libros incluyen un apartado en el que presentan las definiciones de los conceptos básicos, a menudo confusas y mal utilizadas (Pearson y Hughes 1988), que los estudiantes suelen aprender de memoria. Además, en muchas ocasiones no se establecen las relaciones adecuadas entre ellos: por ejemplo, algunos manuales no mencionan los cromosomas (sí, lógicamente, los genes) cuando explican los términos elementales de genética; de la misma forma que, en otros, no se observan referencias a los genes cuando se describen los procesos de mitosis y meiosis.

- En general, los libros de texto, y por ello, muchos profesores, no incluyen el estudio de la meiosis en este primer curso. En su opinión, este proceso no debería abordarse en estos niveles educativos. Sin embargo, algunos problemas que deben resolver los estudiantes no podrán ser comprendidos por su incapacidad para relacionar, adecuadamente, meiosis y segregación génica (Tolman 1982, Moll y Allen 1987).

- La genética humana se desarrolla como aplicación o apéndice del tema. Muchos de los problemas que se suelen plantear (herencia del sexo, herencia ligada al sexo...) son diferentes a los resueltos anteriormente por aplicación de las leyes de Mendel (herencia autosómica).

- Por último, y aunque este aspecto será tratado en un trabajo posterior, los problemas que se encuentran habitualmente en los libros de texto suelen ser cerrados (con solución única), responden a un esquema de razonamiento causa-efecto y pretenden que los alumnos identifiquen y repitan estrategias puestas en práctica, antes y con ejemplos similares, por el profesor.

2. Dificultades de estos planteamientos

Enfoques como los descritos presentan algunos problemas, en muchos casos ignorados por los profesores, entre los cuales destacamos los siguientes:

a) Las Leyes de Mendel como introducción al estudio de la herencia: Comenzar con las leyes de Mendel puede permitir desarrollar un enfoque histórico de la genética, como proponen Jiménez Aleixandre y Fernández Pérez

(1987), e iniciar su utilización con caracteres relativamente sencillos. Sin embargo, en la práctica se observa que:

- No se aprovechan las posibles ventajas que puede presentar un enfoque de esta naturaleza. La mayoría de los libros de texto analizados y, en consecuencia, muchos profesores se limitan a presentar los trabajos de Mendel como primer hito en la historia de la genética, para continuar con otros aspectos (generalmente genética humana como aplicación o ampliación de los contenidos estudiados).

- Además, de acuerdo con Corcos y Monaghan (1985), los libros de texto son, en buena medida, responsables de muchos mitos que acompañan a los trabajos de Mendel, ya que presentan una perspectiva histórica equivocada de sus resultados, atribuyéndole interpretaciones que, en realidad, fueron muy posteriores a él (las leyes de Mendel no fueron encontradas en sus escritos, ni fue Mendel, a partir de sus datos, quien dedujo la famosa proporción 9:3:3:1, para los dihíbridos).

- Los métodos tradicionales que se aplican en la enseñanza de la herencia mendeliana producen una visión incorrecta del genotipo, ya que presentan los genes como unidades hereditarias independientes, de manera que cada uno de ellos determinaría un carácter específico en los organismos adultos (Rindos y Atkinson 1990).

- Aunque el enfoque histórico puede resultar, en algunas ocasiones, motivador por el interés intrínseco de los contenidos, las experiencias de Mendel sobre los guisantes no responden a estas expectativas.

b) ¿Están formados los vegetales por células? ¿Tienen cromosomas? ¿Y genes? Además, para iniciar el estudio de la herencia utilizando como referencia los guisantes de Mendel, debemos tener la seguridad de que los alumnos conocen que los vegetales son seres vivos, que están formados por células, que contienen cromosomas y genes. Estas consideraciones, que pueden parecer innecesarias, no lo son tanto si tenemos en cuenta sus respuestas a la siguiente cuestión:

A continuación te presentamos una lista de palabras conocidas para que respondas si son seres vivos, si tienen células, si tienen cromosomas y si tienen genes. Coloca (S), si la respuesta es afirmativa, (N), cuando sea negativa y (NS), cuando no estés seguro de la respuesta.

En esta relación, incluimos vegetales más conocidos que las plantas de guisante. Los resultados obtenidos (Tabla I) muestran que los estudiantes de enseñanza secundaria no tienen dificultades para reconocer las plantas como seres vivos. Sin embargo, en relación con los restantes aspectos:

- Coincidimos con Caballer y Jiménez (1992) en que un número considerable de alumnos (que se aproxima, en nuestro caso, al 75% en 1º de BUP y a un 40% en 3º) opina que las plantas no poseen células. El estudio de la

Tabla I
Estructura celular en seres vivos (en %).

	No son seres vivos			No tienen células			No tienen cromosomas			No tienen genes		
	4º ESO	1º BUP	3º BUP	4º ESO	1º BUP	3º BUP	4º ESO	1º BUP	3º BUP	4º ESO	1º BUP	3º BUP
Personas	-	-	-	-	-	-	-	57,7	-	-	11,5	-
León	-	-	-	-	7,7	-	6,5	69,2	2,9	6,5	30,8	2,9
Avispa	2,1	-	-	6,5	34,6	8,8	23,9	80,8	11,8	32,6	57,7	11,8
Geranio	17,4	19,2	-	17,4	73,1	41,2	63,0	84,6	82,4	65,2	80,8	35,3
Rosal	13,0	19,2	-	19,6	73,1	41,2	63,0	84,6	82,4	63,0	80,8	35,3

célula vegetal en 4º de ESO, pocas semanas antes, es la razón que explicaría los mejores resultados obtenidos en este nivel.

- Sin embargo, las diferencias son mucho menores en cuanto a los resultados de la siguiente columna. La mayor parte de los alumnos opina que las plantas no poseen cromosomas (superando el 80% en los dos cursos de bachillerato y el 60% en ESO).

- En lo que se refiere a los genes (aspecto que habría que considerar con prudencia en los dos cursos de menor nivel), es evidente que la mayor formación de los estudiantes de 3º de BUP determina que más de un 60% señala su presencia en las plantas. Aun así, se pone claramente de manifiesto la falta de relación significativa entre cromosomas y genes al considerar muchos de ellos que las plantas pueden contener genes, sin tener cromosomas (esto lo afirma casi el 50% de los alumnos de este nivel).

- Además, según se desprende del análisis individualizado de los cuestionarios, son los mismos estudiantes los que señalan, simultáneamente, que los dos vegetales (rosal y geranio) no tienen células, cromosomas o genes. Ello, unido a las diferencias que existen entre estos casos y los otros tres ejemplos, pone de manifiesto una consistencia, ciertamente importante, en sus ideas.

Estos resultados fueron contrastados mediante entrevistas individuales, en las que pudimos comprobar, en unos casos, su confirmación y, en otros, las dudas de los alumnos:

P.: ¿Tienen células los vegetales?

A.: Yo creo que no, siempre he pensado que las células están en los seres humanos y parecidos.

P.: Y, ¿tienen cromosomas los vegetales?

A.: No, no tienen. Sólo los seres humanos.

P.: ¿Dónde encontraríamos los genes?

A.: En los aparatos sexuales: en los espermatozoides y en los óvulos.

P.: ¿Quiénes tienen células?

A.: No estoy seguro de si los vegetales tienen..., aunque ahora recuerdo que estudié la célula vegetal...

c) La herencia humana como introducción a la genética. De acuerdo con Mertens (1990), la herencia en las personas debe constituir un aspecto central cuando se pretende introducir en la genética a estudiantes de estas edades. El interés se justifica, entre otras, con las siguientes consideraciones:

- Aproximar unos contenidos difíciles de comprender por los alumnos de estos niveles a un ámbito experiencial más próximo a ellos. En ocasiones, los ejemplos que se utilizan son plantas o animales y las características que se estudian son desconocidas (color del cuerpo de la mosca de la fruta, plumaje de las gallinas de raza andaluza...). Iniciar el estudio de la genética tomando como referencia la herencia de los caracteres humanos puede despertar el interés de los alumnos, haciendo más significativos los contenidos. En este sentido, Talbot (1991)

ofrece una relación de caracteres que pueden ser utilizados como ejemplos.

– Conferir cierta utilidad a los aprendizajes, condición importante en el proceso de enseñanza. Evidentemente, existen razones sociales y de salud que justifican una atención particular al estudio de la herencia humana (Childs 1983, Haddow et al. 1988). No es necesario comentar la poca utilidad que pueden encontrar los alumnos de enseñanza secundaria en los trabajos de Mendel o en la resolución de problemas, que se plantean frecuentemente, referidos a la herencia en cobayas o mariposas, por ejemplo.

– Por último, aunque los estudiantes de estos niveles no poseen nociones sobre muchos conceptos específicos de genética, es evidente que sus conocimientos son más completos sobre las personas que sobre las plantas (estructura celular, reproducción...), y les resultará más fácil relacionar procesos complejos, como mitosis o meiosis, con la herencia mediante su aplicación a fenómenos como crecimiento, renovación de tejidos o formación de óvulos y espermatozoides.

Lo expuesto hasta el momento pone de manifiesto las dificultades que se pueden presentar al iniciar la genética, tomando como referencia las plantas (muchos alumnos no reconocen que estén formadas por células y que tengan cromosomas o genes). Haber estudiado antes la célula vegetal, como había ocurrido en 4º curso de la ESO, no representa una garantía suficiente, al menos en nuestro caso, para que los estudiantes establezcan relaciones suficientemente significativas entre información hereditaria, célula y cromosoma. En nuestra opinión, habría que comenzar con la herencia humana (tomando como ejemplos características de los mismos estudiantes), lo que supone, en muchos casos, un cambio importante en los programas.

LOS CONOCIMIENTOS DE LOS ALUMNOS

Aunque es la primera vez que entran en contacto formal con los contenidos de genética, los estudiantes de estos niveles educativos tienen explicaciones –más o menos intuitivas y, desde luego, con diferentes grados de articulación y consolidación– en relación con la herencia y los mecanismos hereditarios.

1. Las células y la información hereditaria

Conocer las relaciones entre células, cromosomas (o, en su caso, genes) e información hereditaria es una condición importante para afrontar, con ciertas garantías de éxito el estudio de la genética. En relación con estos aspectos, nuestros resultados, referidos a la herencia en las personas, ponen de manifiesto lo siguiente:

I. Información hereditaria en células humanas. Aunque la mayoría de los estudiantes conocen que, a diferencia de las plantas, las personas tienen células, cromosomas y genes (con excepción de muchos alumnos de 1º de BUP, que afirman no haber oído antes el término «cromosoma»), ello no implica que posean una visión adecuada sobre dónde se localiza la información hereditaria, como se deduce de sus respuestas a la siguiente pregunta:

En el siguiente dibujo puedes observar diferentes células humanas. Responde Sí, No o NS (no estoy seguro) a la siguiente cuestión: ¿Cuáles llevan información hereditaria, cromosomas, genes o cromosomas sexuales...?

Los resultados obtenidos (Tabla II) ponen de manifiesto la confusión existente, entre los alumnos que inician los estudios de genética, sobre algunos aspectos básicos

Tabla II
Información hereditaria en células humanas (en %).

	Llevan información hereditaria			Tienen cromosomas			Tienen genes			Tienen cromosomas sexuales		
	4º ESO	1º BUP	3º BUP	4º ESO	1º BUP	3º BUP	4º ESO	1º BUP	3º BUP	4º ESO	1º BUP	3º BUP
Muscular	26,1	15,4	38,2	54,3	26,9	61,8	23,9	26,9	52,9	–	3,8	2,9
G. blanco	19,6	19,2	29,4	54,3	23,1	50,0	19,6	23,1	47,1	2,2	3,8	–
Espermat.	19,6	76,9	91,2	67,4	19,2	70,6	84,8	53,8	94,1	100	96,2	100
Óvulo	19,6	76,9	91,2	71,1	23,1	73,5	84,8	61,5	91,2	97,8	100	100
C. cerebro	19,6	42,2	44,1	65,2	26,9	64,7	43,5	34,6	67,6	2,2	15,4	11,8
Sí, todas	19,6	3,8	20,6	23,9	3,8	41,2	13,0	3,8	38,2	–	–	2,9

relacionados con la localización de la información hereditaria:

– Para la mayoría de los estudiantes de estos niveles, la información genética reside en los gametos. Aunque, en general, las restantes células no sean portadoras de tal información, algunas, consideradas como más importantes (las del cerebro), son señaladas con cierta frecuencia.

P.: ¿Dónde se encuentra la información hereditaria?

A.: En las células sexuales y en el cerebro

P.: ¿Por qué en el cerebro?

A.: Porque es el responsable de cada cosa que se hace en el cuerpo.

P.: ¿Lleva información hereditaria una célula muscular?

A.: Yo creo que la célula muscular no puede tener información hereditaria, porque la tienen los espermatozoides y los óvulos.

P.: Y en el cerebro, ¿hay información hereditaria?

A.: Creo que sí, porque en el cerebro es donde se desarrolla toda la información; también debe llevar información hereditaria.

– Puede ocurrir que estos resultados sean consecuencia de interpretar erróneamente la expresión «información hereditaria», relacionándola con las características que se transmiten de padres a hijos y situándola, por tanto, en las células sexuales. Aunque, en algunas ocasiones, esto fuera así, muchos alumnos no señalan la presencia de cromosomas o genes en las distintas células que les

presentamos, lo que contribuye a consolidar nuestra opinión de que, en un elevado número de casos, asocian con los gametos, además de la información hereditaria, los cromosomas y genes. Si bien los resultados obtenidos en 1º de BUP derivan del desconocimiento de la estructura celular, el estudio de la célula en 4º de ESO no produce, como efecto, un conocimiento generalizado de la presencia de cromosomas y genes en las distintas células humanas.

– En consecuencia con lo anterior, existe una amplia coincidencia sobre la localización de los cromosomas sexuales en los gametos que, en algunos casos, serían responsables de la transmisión de las características hereditarias y, en otros, del sexo.

P.: ¿Qué entiendes por información hereditaria?

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

P.: ¿Dónde se encuentran los cromosomas sexuales?

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

– Además, podemos observar que son pocos los estudiantes que responden afirmativamente en todos los casos.

En 3º de BUP, se observa una notable mejoría en sus respuestas (salvo cuando nos referimos a los cromosomas sexuales), aunque persisten las dificultades para reconocer la relación información hereditaria, cromosomas y genes, lo que proporciona una idea sobre la significatividad de los aprendizajes de cursos anteriores.

II. Información hereditaria y diversidad celular. Con la siguiente pregunta (de elección múltiple con justificación) pretendemos complementar datos anteriores, al indagar sobre la posible relación entre información genética y diversidad celular, e incidir, de otra manera, en las relaciones entre información hereditaria y células reproductoras:

Los dibujos siguientes son representaciones de distintas células presentes en un mismo ser humano (incluía siete tipos celulares diferentes: células intestinales, del aparato respiratorio, glóbulos blancos...). ¿A qué se debe esta diversidad?:

a. Las células son distintas porque llevan distinta información hereditaria.

b. Aunque las células sean distintas, todas llevan la misma información hereditaria.

c. La información hereditaria sólo la llevan las células reproductoras (espermatozoides y óvulos).

d. No estoy seguro de la respuesta.

Y como justificaciones:

Tabla III

Información hereditaria y diversidad celular (en %).

Causas de la diversidad celular	4º ESO	1º BUP	3º BUP
a. Llevan distinta información 3. Según su función	28,3 (*)	15,4 (*)	23,5 (*)
b. Llevan la misma información 1. Utiliza sólo una parte	15,2 (*)	11,5 (*)	23,5 (*)
3. Según su función	4,3	11,5	8,8
c. Sólo llevan los gametos 2. Distintas por sus funciones	41,3 (*)	38,5 (*)	26,5 (*)
(*) Coherencia entre la opción y la justificación	84,8	65,4	73,5

1. Aunque todas las células llevan la misma información hereditaria, sólo una parte se utiliza en cada clase de células.

2. Las células no reproductoras no llevan información hereditaria, sus diferencias se deben a las funciones que desempeñan en el organismo.

3. La célula recibe información hereditaria según la función que vaya a desempeñar.

4. Otra justificación tuya.

Los resultados que presentamos en la tabla III incluyen solamente aquellas combinaciones respuesta-justificación más señaladas, que representan más del 75% del total. En primer lugar, queremos destacar la existencia de un elevado grado de coherencia, en todos los niveles, entre la respuesta que eligen y la justificación que seleccionan para explicarla (si consideramos sólo los casos presentados en la tabla, alcanza porcentajes comprendidos entre el 85-95%). Aunque es evidente que la forma de plantear las preguntas puede condicionar las respuestas de los estudiantes (como se puede apreciar por las diferencias entre estos resultados y los presentados en la primera columna de la tabla II), hemos de señalar que:

– Los estudiantes que entonces respondían bien son consecuentes ahora al manifestar que las células llevan información hereditaria, centrandó su elección en las opciones a y b de esta cuestión. De entre ellos, aquéllos que señalan que las células llevan distinta información hereditaria lo atribuyen a la función que éstas desempeñan.

P.: ¿Qué ocurre con la información hereditaria en la célula-huevo?

A.: Al dividirse, reparte la información a cada célula.

P.: ¿Todas las células llevan la misma información?

A.: Yo creo que todas llevan información hereditaria, pero unas llevan para unas cosas y otras para otra.

A.: Yo creo que sí llevan la misma información, lo que ocurre es que algunas células llevan más especificación de la información que esa célula necesita.

– No superan el 15% los alumnos de 1º de BUP y 4º de ESO que responden que todas las células llevan la misma información hereditaria y seleccionan adecuadamente la justificación (opción b, justificación 1). En 3º de BUP no alcanzan el 25%.

– Se vuelve a poner de manifiesto que, según el criterio de muchos de ellos, la información hereditaria se encuentra, básicamente, en los gametos (opción c, justificación 2). En todo caso, reconocen que la información sobre caracteres específicos (color de ojos, grupos sanguíneos) se encuentra también en las células correspondientes (células de los ojos o células de la sangre y del

corazón; en algunos casos, también en las del cerebro, como señalamos antes).

P.: La información hereditaria para caracteres como el grupo sanguíneo, color de ojos, sexo... ¿en qué partes del organismo se encuentran?

A.: En las células sexuales.

P.: ¿Por qué?

A.: Es que las células sexuales tienen que llevar esa información

P.: ¿La información para el color de ojos la podemos encontrar en las células de la sangre?

A.: No, pienso que en los ojos también.

Tabla IV

Información hereditaria y formación de un nuevo organismo (en %).

¿ Qué ocurre con la información hereditaria de la célula-huevo?	4º ESO	1º BUP	3º BUP
a. Se reparte a las células	69,6	80,8	67,6
b. Todas reciben igual información	15,2	7,7	26,4
c. Sólo las células sexuales	8,7	7,7	5,9
NS/NC	6,5	3,8	–

De hecho, confirmamos los resultados anteriores al comprobar que entre aquellos alumnos que opinan que no sólo los gametos llevan información hereditaria, muchos se inclinan por señalar que la que lleva la célula-huevo se reparte entre las distintas células del organismo que se está formando, y esto se hace según las funciones que cada una de ellas va a desarrollar, como se desprende de los resultados obtenidos (Tabla IV) cuando se plantea la siguiente pregunta:

A partir de la célula-huevo, también llamada célula germinal, se forma el resto de las células del bebé (musculares, nerviosas...), como puedes apreciar en el siguiente esquema. ¿Qué ocurre con la información hereditaria presente en la célula-huevo?:

a) La célula-huevo lleva la información hereditaria para todas las células del nuevo ser; a cada célula le corresponde aquella información hereditaria necesaria para su función.

b) Las células del niño llevan la misma información hereditaria que la célula-huevo.

c) La información hereditaria de la célula huevo se transmitirá solamente a las células sexuales del nuevo individuo.

d) No estoy seguro de la respuesta.

En 3º de BUP también parece claro que las células llevan la información hereditaria necesaria para las funciones que realizan.

En todo caso, creemos que las posibles contradicciones existentes entre los resultados presentados ahora y los que comentamos en relación con las tablas II y III, aunque pueden ser debidas a la forma de plantear las preguntas, están motivadas, como señalamos antes, por la utilización de un mismo término (en este caso, «información hereditaria») con significados diferentes, dependiendo del contexto; este hecho lo han puesto de manifiesto, para otras situaciones, Driver, Guesne y Tiberghien (1989). Este término, sin embargo, es utilizado frecuentemente en las clases de genética sin valorar, muchas veces, el significado real que tiene para los alumnos.

III. Información hereditaria y división celular. Como aspecto complementario de los dos anteriores, formulamos la siguiente cuestión: *Cuando una célula muscular se divide, ¿qué puede ocurrir?:*

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

Y como justificaciones:

- 1. Esto es debido a la función que desempeña.
- 2. Esto es debido a la información hereditaria.
- 3. Esto es debido a las necesidades del organismo.

Tabla V
Información hereditaria y división celular (en %).

La división de células musculares	4º ESO	1º BUP
a. Siempre otra célula muscular	19,6	53,8
2. Por la información hereditaria	2,2	3,8
3. Según necesidades organismo	15,2	34,6
b. Casi siempre muscular	60,9	23,1
1. Por la función que desempeña	39,1	15,4
2. Por la información hereditaria	4,3	—
c. Unas veces musculares, otras no	6,5	11,5
1. Por su función	6,5	7,7
NS/NC	13,0	11,5

4. *Depende del estado de salud del organismo, que éste funcione correctamente o no.*

Los resultados que presentamos en la tabla V ponen de manifiesto que estos alumnos no consideran la información hereditaria como una razón relevante para explicar cualquiera de las opciones que han seleccionado, optando por la función que tienen que desempeñar o por las necesidades del organismo, según los casos. Estos datos son coherentes con los señalados anteriormente, en el sentido de confirmar la ausencia de información hereditaria en células que no sean los gametos. Y, en todo caso, habrán de ser tenidos en cuenta al abordar el estudio de la mitosis que, en nuestra opinión, debería relacionarse más con la transmisión de características hereditarias (cromosomas/genes, según los casos) y con fenómenos conocidos por los estudiantes, como crecimiento de órganos, reparación de tejidos, sin importar tanto, al menos en estos primeros niveles, el análisis de las distintas fases de este proceso.

IV. Localización de genes y cromosomas: Las dos preguntas siguientes hacen referencia a la situación en la célula de cromosomas y genes.

A continuación te presentamos el dibujo de una célula. ¿En qué parte de la célula se localizan: a) cromosomas; b) genes?

Señala V (verdadero), F (falso) o NS (no estoy seguro) en cada una de las siguientes afirmaciones:

- 1. Todos los genes se encuentran en los cromosomas.
- 2. Muchos genes se encuentran en los cromosomas, pero algunos no.
- 3. Los genes no se encuentran en los cromosomas».

Tabla VI
Localización de genes y cromosomas (en %).

Localización	4º ESO	1º BUP	3º BUP
Cromosomas en núcleo	41,3	11,5	52,9
Cromosomas en citoplasma	28,3	3,8	47,0
Genes en cromosomas en núcleo	28,3	3,8	52,9
Genes no en cromosomas	26,1	15,4	5,8
Contradictorios /NS /NC	34,8	73,1	20,6

En la tabla VI presentamos los resultados más significativos del análisis simultáneo de las respuestas a las dos cuestiones, incluyendo en la última categoría aquellos estudiantes que muestran contradicciones evidentes. Podemos observar como los alumnos de 1º de BUP no sitúan adecuadamente los cromosomas (término casi desconocido para ellos, como ya hemos comentado) ni

los genes en los cromosomas. En 4º de ESO, después de estudiar la célula, se observan mejores resultados, aunque son insuficientes, si se tiene en cuenta que menos del 50% localiza los cromosomas en el núcleo y, lo que es más significativo, menos del 40% señala que los cromosomas contienen genes.

Aunque en 3º de BUP las respuestas son considerablemente mejores (más de la mitad de los estudiantes relaciona genes y cromosomas, situándolos en el núcleo de las células), persiste, sin embargo, un número bastante apreciable de ellos (casi la otra mitad) con nociones erróneas o contradictorias.

2. Conocimiento de los alumnos sobre la herencia de caracteres en las personas

A continuación, presentamos un resumen de sus ideas sobre ciertos aspectos de la herencia cuando se refiere a las personas. En concreto nos vamos a referir a:

- Carácter hereditario o no de algunas características conocidas.

- Información hereditaria que recibe un individuo de sus progenitores.

- Cambios en la información hereditaria (mutaciones), y transmisión de estas modificaciones a la descendencia.

En primer lugar, queríamos conocer si eran capaces de distinguir entre caracteres humanos que se heredan y otros que dependen del medio ambiente. Para ello, seleccionando características sencillas, les formulamos la siguiente pregunta:

He aquí algunas características que determinan y distinguen a un ser humano. Clasifícalas según si estos caracteres los poseemos porque: 1) Son caracteres hereditarios. 2) Son caracteres hereditarios fundamentalmente, aunque también influye algo el medio ambiente. 3) No estoy seguro de la respuesta. 4) Fundamentalmente dependen del medio ambiente, aunque también influye algo la herencia. 5) Dependen sólo del medio ambiente.

Los resultados obtenidos (Tabla VII) muestran que casi todos los alumnos saben que nacer con un determinado

Tabla VII
Herencia de algunos caracteres humanos (en %).

	4º ESO					1º BUP				
	Herencia.....M. ambiente					Herencia.....M. ambiente				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Color ojos	89,4	4,3	2,2	4,3	-	61,5	26,9	3,8	7,7	-
Color piel	80,4	17,4	-	-	3,8	61,5	23,1	-	11,5	3,8
Peso	2,2	13,0	8,7	58,7	17,4	19,2	11,5	26,9	26,9	15,4
Calvicie	17,4	23,9	17,4	28,2	13,0	15,4	19,2	11,5	26,9	26,9

color de ojos o de piel depende de la herencia recibida de los progenitores, aunque algunos, particularmente en 1º de BUP, atribuyen una cierta influencia al medio ambiente. Sin embargo, otras características, como la calvicie (menos conocida) o el peso (menos evidente), producen mayor dispersión en sus respuestas. Creemos necesario considerar la opinión de nuestros alumnos sobre estos aspectos, particularmente cuando los vamos a utilizar como ejemplos en el estudio de la genética humana.

P.: *Nacer blanco, negro... ¿depende del medio ambiente?*

A.: *Sí, porque si yo me voy a vivir a Venezuela, allí cogeré un color tostado y mis hijos podrán nacer con un color de piel más tostado.*

P.: *¿El color de ojos depende del medio ambiente o es un carácter hereditario?*

A.: *Los padres tienen una gran influencia y también el medio ambiente. Las personas, según nacen en un sitio u otro, tienen color distinto; por ejemplo, los alemanes tienen todos los ojos azules.*

A continuación intentamos conocer la relación que establecen entre parecido de un individuo con alguno de sus progenitores y la información hereditaria recibida de cada uno de ellos. Nuestros primeros datos nos hacían pensar que pudieran tener dificultades para reconocer que ésta procede, por igual, del padre y de la madre (implícitamente se está obteniendo información sobre el proceso de formación de gametos, en general). Con estos propósitos les formulamos la siguiente pregunta:

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

a) *El mayor lleva más información hereditaria del padre que de la madre, por lo que se parece más a su padre.*

b) *El menor lleva más información hereditaria de la madre que del padre, por eso se parece más a su madre.*

Tabla VIII
Información hereditaria de progenitores (en %).

Causas del parecido a un progenitor	4º ESO	1º BUP	3º BUP
a. Lleva más información hereditaria de él	30,4	38,5	11,7
b. Lleva la misma información de ambos	65,2	53,8	88,2
c. El 1º se parece al padre, el 2º a la madre	2,2	3,8	-
NS/NC	2,2	3,8	-

c) *Los dos llevan la misma cantidad de información hereditaria del padre que de la madre, pero en un caso se utiliza o manifiesta la del padre y en el otro la de la madre.*

d) *Si el primero se parece al padre, el segundo se parecerá a la madre.*

e) *No estoy seguro de la causa.*

Aunque, entre un 30-40% de los alumnos que inician sus estudios de genética relaciona parecido con mayor cantidad de información hereditaria recibida de uno de los progenitores (Tabla VIII), la mayoría de ellos señalaron la opción correcta, aunque esto no significa que comprendan que ello es debido a la formación de gametos haploides.

P.: *Un matrimonio tiene un hijo que se parece más al padre que a la madre, ¿cómo puede ser esto posible?*

A.: *...el espermatozoide del padre ha dejado más información hereditaria que el óvulo de la madre.*

La siguiente cuestión trata de averiguar si conocen la existencia de información hereditaria que no se expresa en el fenotipo de un individuo, pero que puede ser transmitida a la descendencia, por formar parte de su genotipo. Esta pregunta lleva implícitos conceptos como homocigosis/heterocigosis y dominancia/recesividad.

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

a) *Es prácticamente imposible.*

b) *Ocurre a veces.*

c) *Ocurre muchas veces.*

d) *No estoy seguro de la respuesta.*

Y las justificaciones:

1. *Aunque la información hereditaria de los padres es de ojos marrones, puede tener lugar alguna mutación que sea responsable de que el niño sea de ojos azules.*

2. *Los padres son de ojos marrones, pero también pueden llevar información hereditaria de ojos azules.*

3. *Aunque los padres sólo llevan información hereditaria del color de ojos marrón, puede haber algún antepasado en la familia (abuelos, bisabuelos...) que tuviera ojos azules.*

4. *La información de los padres es la correspondiente a ojos marrones, por eso el bebé debe tener ojos marrones.*

Los resultados (Tabla IX) permiten deducir que, si bien casi todos los alumnos reconocen que esto puede produ-

cirse, muy pocos lo justifican como consecuencia de información hereditaria que no se manifiesta: algunos estudiantes (pocos) lo atribuyen a posibles mutaciones, pero la mayoría se refiere a la existencia de antepasados con este carácter, no considerando otras explicaciones que pudieran estar relacionadas con mecanismos hereditarios.

Tabla IX
Información hereditaria y fenotipo (en %).

Padres de ojos marrones, ¿bebé de ojos azules?	4º ESO	1º BUP
a. Imposible	-	11,5
b. A veces	76,1	53,8
c. Muchas veces	23,9	30,8
d. No es seguro	-	3,8
Razones:		
1. Mutaciones	6,5	19,1
2. También pueden llevar información de ojos azules	19,6	23,1
3. Antepasados	73,9	50,0
4. Ojos marrones	-	2,8

Las dos últimas cuestiones se centraron sobre los cambios que puede experimentar la información hereditaria y la transmisión de estas modificaciones a los descendientes. La primera de ellas pretende valorar la influencia del medio ambiente sobre la herencia, utilizando como ejemplo un carácter (color de piel) que anteriormente habían reconocido mayoritariamente como hereditario:

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

a) *En el momento del nacimiento, el bebé de los individuos descendientes tiene el color de la piel más moreno que el de los colonos primeros.*

b) *En el momento del nacimiento, el bebé de los individuos descendientes tiene el mismo color de la piel que el de los colonos primeros.*

c) *Entre los descendientes puede haber de color de piel blanco, negro o moreno.*

d) *No estoy seguro de la respuesta.*

Y las posibles justificaciones:

1. *El nuevo clima no introducirá cambios en la información hereditaria sobre el color de la piel.*

2. *El nuevo clima sí introducirá cambios en la información hereditaria sobre el color de la piel.*

3. *Después de tantas generaciones, se ha ido produciendo un cambio en la información hereditaria, hasta llegar a la situación actual.*

4. *Otras posibilidades (especificalas).*

Los resultados obtenidos (Tabla X) ponen de manifiesto que, si bien aproximadamente un 30% de los estudiantes señala que la descendencia tendrá el mismo color que los primeros colonos, son muy pocos aquéllos que lo justifican indicando que el clima no afecta a la información hereditaria (las restantes justificaciones son contradictorias con esta respuesta). En todo caso, la mayoría selecciona las opciones primera o tercera, según los cursos, y en estos casos existe también un elevado porcentaje de alumnos (incluidos en la última categoría) que no contestan o justifican contradictoriamente la opción elegida (menos elevado en 1º de BUP, ya que una tercera parte de estos alumnos opina que el clima afecta a las características hereditarias).

Tabla X
Clima e información hereditaria (en %).

Influencia del clima en el color de piel la de los descendientes	4º ESO	1º BUP
a. Más morenos	2,2	50,0
2. El clima afecta a la herencia	-	38,4
b. Blancos	30,4	26,9
1 El clima no afecta a la herencia	2,2	11,5
c. Blancos, negros, morenos	50,0	11,5
1. El clima no afecta a la herencia	41,3	-
2. El clima afecta a la herencia	6,5	11,5

Los datos anteriores se complementan con los obtenidos en la última cuestión sobre la posibilidad de transmisión de las mutaciones a la descendencia, cuando no afecta a los gametos:

Imagina que una persona está expuesta a una fuente de radiación que produce algunas mutaciones que afectan

a las células de la piel. ¿Las mutaciones causadas se manifestarán en la descendencia? ¿Por qué?

En los casos en que la respuesta ha sido negativa, hemos considerado dos situaciones (Tabla XI): la de aquellos alumnos que lo explican haciendo referencia expresa, de alguna manera, a las células reproductoras, y los que no lo hacen. En todo caso, los estudiantes que piensan que estos cambios serían transmitidos a la descendencia superan el 50% en todos los cursos. Resultados de esta naturaleza evidencian el profundo desconocimiento sobre principios básicos de la transmisión hereditaria, incluso en 3º de BUP (clara manifestación de la poca incidencia de los estudios anteriores, no sólo sobre genética, sino también sobre otros aspectos, como la reproducción sexual).

Tabla XI
Información hereditaria y fenotipo (en %).

Transmisión de mutaciones en la piel	4º ESO	1º BUP	3º BUP
Explicación correcta (indica gónadas)	6,5	7,7	5,9
Explicación correcta (no indica gónadas)	13,0	26,9	8,8
Se transmite a los descendientes	60,9	53,8	52,9
NS/NC	19,6	11,5	32,4

P.: *¿Si una mutación afecta exclusivamente a las células de la piel de una persona, ¿sus descendientes podrán nacer afectados?*

A.: *Sí.*

P.: *¿En qué partes del cuerpo?*

A.: *En la piel, también.*

3. *¿Se encuentran organizadas las ideas de los alumnos sobre la herencia?*

Los datos aportados en este trabajo, que resumen algunos de los resultados obtenidos en nuestra investigación, ponen de manifiesto que, de acuerdo con Serrano (1987), los estudiantes inician sus estudios sobre la herencia con determinados conocimientos que pueden condicionar aprendizajes posteriores: a) En unos casos, se refieren a conceptos estudiados anteriormente, que deben servir de base para comprender significativamente la nueva información (estructura celular, cromosomas, gametos...). b) En otros casos, creemos que responden a un conoci-

miento intuitivo, ligado a la experiencia personal, a la influencia popular o de los medios de comunicación social.

Como hemos tenido ocasión de comprobar, estos conocimientos son en muchas ocasiones equivocados, y deben ser tenidos en cuenta por los profesores, ya que los alumnos interpretan por medio de ellos los nuevos contenidos. En este sentido, estos datos señalan las dificultades que pueden tener los estudiantes para comprender el significado que los profesores pretendemos atribuir a determinados procesos (mitosis/meiosis), a la genética mendeliana (desde la simbología que se utiliza para representar genes y alelos hasta la resolución de problemas que implican segregación de genes) y, en general, a la localización y mecanismos de transmisión de la herencia en los seres vivos.

Es cierto que, cuando analizamos individualmente las respuestas de los estudiantes, podemos encontrar algunas contradicciones entre ellas, como hemos señalado en alguna ocasión, derivadas del desconocimiento de los contenidos específicos, de la naturaleza de las preguntas formuladas, de la falta de reflexión sobre sus respuestas o de la interpretación *ad hoc* que hacen en relación con alguno de los términos utilizados («información hereditaria», por ejemplo). Sin embargo, ello no invalida los resultados obtenidos, ya que el análisis conjunto de las

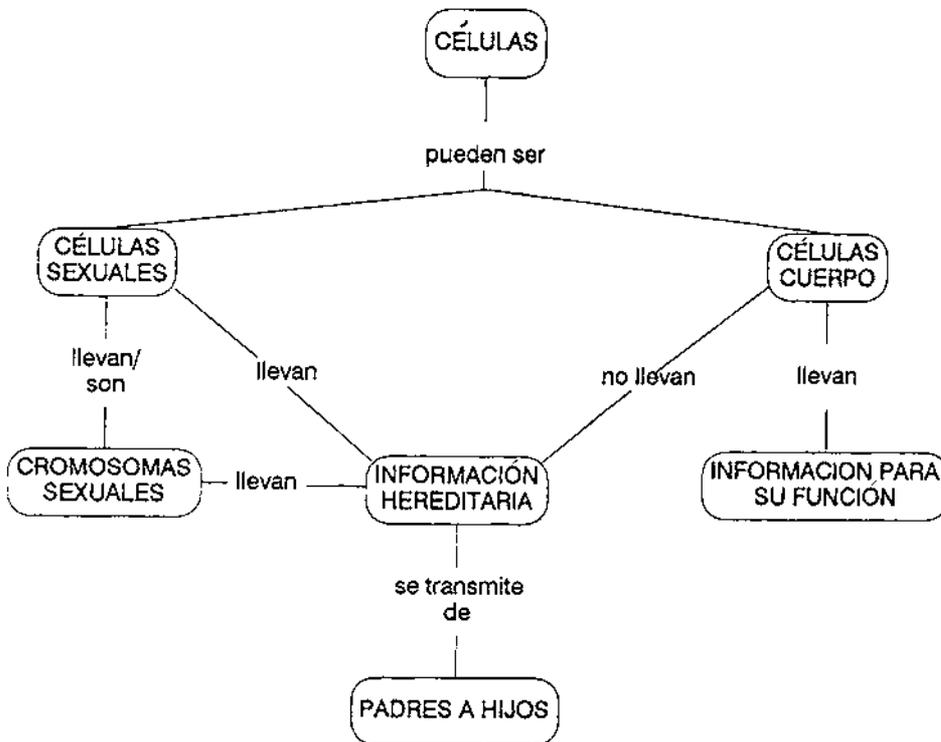
respuestas a los cuestionarios y entrevistas individuales muestra un elevado nivel de coherencia sobre determinados aspectos, los cuales permiten incluso señalar la existencia de incipientes esquemas conceptuales —adecuados, teniendo en cuenta los niveles que analizamos o alternativos a los científicos— que relacionan entre sí conceptos elementales relacionados con la herencia biológica. Éstos son esquemas que podrían explicar esas respuestas y que interaccionan, en mayor o menor grado, con los nuevos contenidos. A continuación, describimos los que nos han parecido más consistentes.

Esquema 1. Falta de conocimiento:

Sus características son las siguientes:

- En relación con la herencia biológica, reconocen dos clases de células: las sexuales (gametos) y las del resto del cuerpo. Información hereditaria es aquella que se transmite de padres a hijos. En consecuencia, reside exclusivamente en las células reproductoras (para algunos alumnos pueden llevarla, también, células de órganos importantes, como el cerebro).
- Esta información (a veces genes) residiría en los cromosomas sexuales (que muchos identifican con células sexuales) de óvulos y espermatozoides, ya que, en

Esquema 1
Falta de conocimiento.



general, se desconoce la existencia de otros cromosomas distintos a éstos.

– Las células de otros órganos del cuerpo no tienen cromosomas (en muchos casos no saben el significado de esta palabra), aunque las células de la sangre o las de los ojos llevarían información para los grupos sanguíneos o el color de los ojos, respectivamente.

– Por supuesto, no se relaciona la división celular con la transmisión de la información hereditaria (esto sólo ocurre de padres a hijos).

En nuestro trabajo, esta forma de razonar se pone de manifiesto, básicamente, en alumnos de 1º de BUP, y es consecuencia de un profundo desconocimiento de la célula (aún no la habían estudiado en este curso).

Esquema 2. La información hereditaria reside en los cromosomas:

Como consecuencia de un mejor conocimiento de la célula, encontramos un esquema algo más preciso (en nuestro caso corresponde a las ideas de los alumnos de 4º de ESO), cuyas características son las siguientes:

– El término cromosoma es conocido y, en muchos casos, se sitúa en el núcleo celular. Se establecen ciertas relaciones gen-cromosoma, aunque en muchos casos no existe esta correspondencia.

– La mayoría de los alumnos localizan cromosomas (y genes, en su caso) exclusivamente en los gametos. Algunos siguen considerando los cromosomas sexuales como los únicos portadores de la información hereditaria.

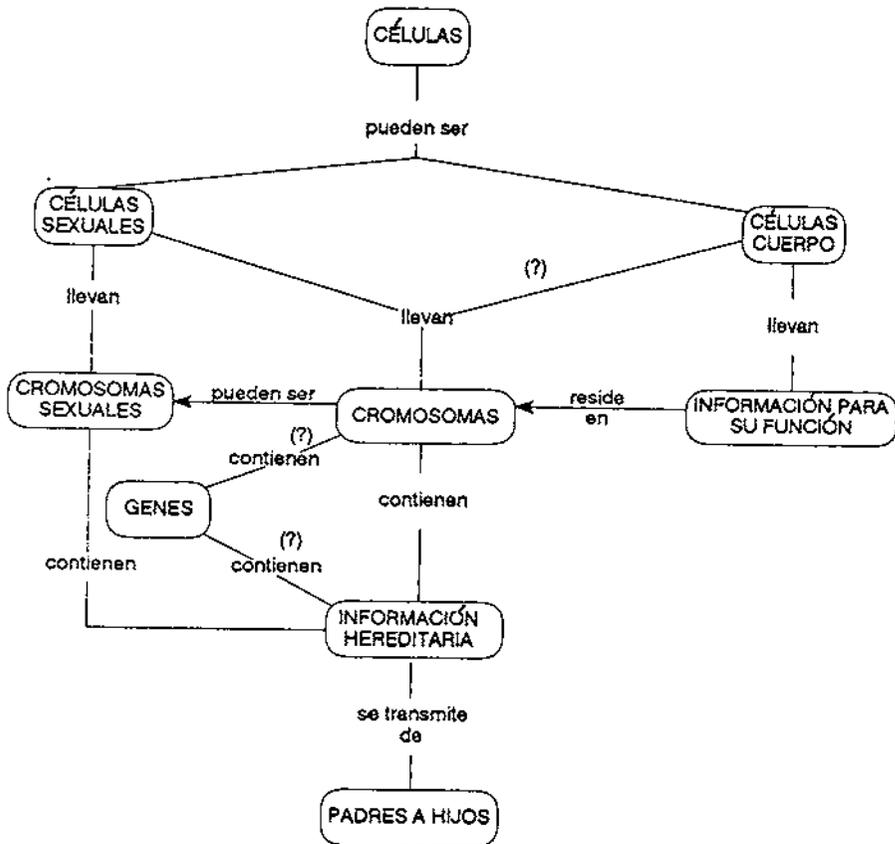
– Cuando estos alumnos admiten que otras células distintas de los gametos llevan información hereditaria, se afirma que cada tipo de células ha recibido del cigoto únicamente la que corresponde a su función.

– Tampoco se considera relevante el proceso de división celular como un procedimiento que tiene que ver con la transmisión de la información hereditaria.

Esquema 3. Los cromosomas contienen los genes:

Aunque en 3º de BUP el conocimiento de los alumnos es algo más preciso, no se aprecian, suficientemente, los efectos de la instrucción recibida en cursos anteriores:

Esquema 2
La información reside en los cromosomas (relación que se establece en algunos casos).



- Existe un conocimiento más generalizado de que todas las células llevan cromosomas y ahora también genes, aunque sitúan los cromosomas sexuales únicamente en los gametos.

- La mayoría de los alumnos no relacionan información hereditaria como la que llevan las distintas células, persistiendo dificultades para reconocer, por tanto, que todas las células llevan la misma información genética, y coinciden con estudiantes de niveles anteriores en que el cigoto reparte la información a las distintas células, según las funciones que éstas van a desempeñar.

- En muchos casos, se reconocen las relaciones existentes entre cromosomas y genes (éstos se encuentran en los cromosomas, en el núcleo de las células).

Evidentemente, esta generalización no resulta representativa de todos los alumnos de un determinado nivel (en cada curso se encuentran alumnos con esquemas más o

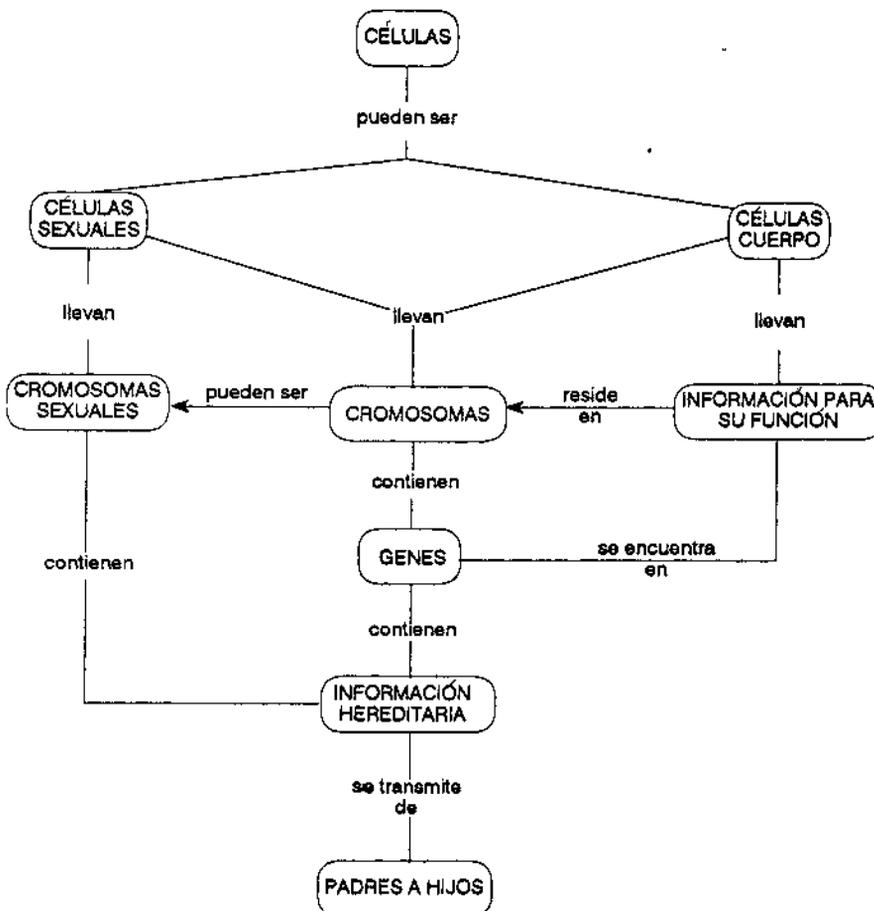
menos avanzados); sin embargo, se aproximan al conocimiento que posee un número importante de ellos, en las condiciones en que efectuamos la exploración de ideas.

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA

Los resultados expuestos en este artículo aconsejan tener presente algunas consideraciones, tanto desde un punto de vista curricular como desde una perspectiva didáctica, cuando se introducen los contenidos de genética en los niveles de enseñanza secundaria obligatoria. De entre ellas, destacamos las siguientes:

- Antes de profundizar sobre el estudio de la herencia biológica y sus mecanismos de transmisión, los alumnos deben conocer las relaciones entre la información hereditaria y la estructura y funciones celulares, lo que

Esquema 3
Los cromosomas contienen los genes.



supone comprender, entre otros aspectos, que todos los seres vivos están formados por células, y que éstas contienen –para un mismo organismo– idéntica información hereditaria (con independencia de las funciones que desempeñen). Evidentemente, alguno de estos objetivos deben ser adquiridos con anterioridad, pero, en caso contrario, se deberían tener en cuenta, planificando actividades específicas para lograrlos.

– A ello puede contribuir establecer las relaciones oportunas entre mitosis y transmisión de información hereditaria idéntica de célula a célula (proceso que se inicia a partir del cigoto), así como entre este proceso y fenómenos observables por los estudiantes, como crecimiento del cuerpo (y de sus órganos) o reparación de tejidos, sin conceder tanta importancia a sus fases y desarrollo (los detalles dificultan comprender el significado del proceso), que muchas veces se aprenden de memoria.

– Debemos tener en cuenta que algunos términos que se utilizan en clase (información hereditaria, cromosomas...) pueden ser interpretados por los alumnos con un significado distinto al que le atribuimos los profesores. Como consecuencia de ello, no se producen los aprendizajes adecuados y podemos estar reforzando, sin ser conscientes de ello, nociones equivocadas.

– Aunque hemos puesto de manifiesto las dificultades que se presentan al iniciar los estudios de genética con las leyes de Mendel, no pretendemos restar importancia a la contribución que estos contenidos en el aprendizaje de los mecanismos hereditarios. Nuestra opinión es, más bien, que deben ser abordados con posterioridad y, en todo caso, cuando los alumnos puedan interpretar adecuadamente los resultados de estas experiencias.

– En nuestra opinión, el estudio de la meiosis debería ser introducido en estos niveles, si bien debemos obviar su complejidad, centrándonos, prioritariamente, en que se trata de un proceso en el que se originan gametos haploides. Muchas de las dificultades que tienen los estudiantes para resolver, significativamente, problemas de genética derivan de no conocer o no entender la naturaleza de este proceso (Slack y Stewart 1989). Consideramos importante estudiar su significado, en cuanto a la constancia cromosómica de las especies y tomando como referencia la célula-huevo, para analizar la información hereditaria que poseen los seres vivos. Además, destacar la diversidad que produce en cuanto a la información

hereditaria que llevan óvulos y espermatozoides (se pueden utilizar ejemplos próximos a ellos, como diferencias entre hermanos) ayudará a comprender los mecanismos de la evolución.

– Hemos manifestado nuestra opinión con relación a que la herencia de los caracteres humanos ocupe un lugar destacado en la enseñanza de la genética. Ello, además de solucionar algunas de las dificultades relacionadas con los conocimientos de los estudiantes sobre los vegetales, puede facilitar el aprendizaje de estos contenidos (complejos por su propia naturaleza), especialmente si los profesores somos capaces de dotarlos de interés y utilidad.

– En todo caso, nuestros resultados, así como los obtenidos por Brumby (1984) o Engel Clough y Wood-Robinson (1985), entre otros, destacan la necesidad de considerar la influencia de las experiencias personales de los alumnos, fuera de las aulas, sobre sus modos de entender la herencia en las personas, como, por ejemplo, la aportación genética de cada uno de los progenitores, las razones con las que explican la aparición de ciertos caracteres en la descendencia y el papel que atribuyen al medio ambiente sobre las características hereditarias o como agente causante de mutaciones.

Por otra parte, los resultados obtenidos en 3º de BUP han puesto de manifiesto que, si bien los estudiantes de estos niveles poseen conocimientos más precisos en relación con determinados aspectos (relaciones entre información hereditaria, cromosomas y genes, por ejemplo), persisten nociones equivocadas, impropias de estos niveles (como el desconocimiento de la presencia de cromosomas o genes en las células vegetales o ignorar que la información hereditaria que poseen todas las células de un mismo organismo es idéntica).

Estas consideraciones marcan, con claridad, la necesidad de introducir cambios significativos en los programas, en los contenidos y también en los planteamientos habituales de enseñanza de la genética. En este sentido, en un próximo artículo presentaremos una propuesta didáctica, la cual estamos desarrollando en niveles de enseñanza secundaria obligatoria, que, retomando las conclusiones de este trabajo, tiene en cuenta los conocimientos previos (en ocasiones específicos sobre la herencia biológica, en otros casos de carácter más general) e intenta favorecer una reestructuración más o menos radical, según los casos, de los mismos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBALADEJO, C. y LUCAS, A.M., 1988. Pupils' meanings for «mutation», *J. Biological Education*, 22(3), pp. 215-219.

BANET, E. y NÚÑEZ, F., 1990. Esquemas conceptuales de los alumnos sobre la respiración, *Enseñanza de las Ciencias*, 8(2), pp. 105-110.

- BROWN, C.R., 1990. Some misconceptions in meiosis shown by students responding to an advanced level practical examination question in biology, *J. Biological Education*, 24(3), pp. 182-186.
- BRUMBY, M., 1984. Misconceptions about the concept of natural selection by medical biology students, *Science Education*, 68(4), pp. 493-503.
- CABALLER, M.J. y JIMÉNEZ, I., 1992. Las ideas de los alumnos y alumnas acerca de la estructura celular de los seres vivos, *Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), pp. 172-180.
- CHO, H., KAHLE, J.B. y NORDLAND, F.H., 1985. An investigation of high school Biology textbooks as sources of misconceptions and difficulties in genetics and some suggestions for teaching genetics, *Science Education*, 69(5), pp. 707-719.
- CHILDS, B., 1983. Why study human Genetics?, *The American Biology Teacher*, 45(1), pp. 42-46.
- COLLINS, A. y STEWART, J.H., 1989. The knowledge structure of Mendelian Genetics, *The American Biology Teacher*, 51(3), pp. 143-149.
- CORCOS, A. y MONAGHAN, F., 1985. Some myths about Mendel's experiments, *The American Biology Teacher*, 47(4), pp. 233-236.
- DRIVER, R., GUESNE, E. y TIGERGHEN, A., 1989. *Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia*. (Morata: Madrid).
- ENGEL CLOUGH, E. y WOOD-ROBINSON, C., 1985. Children's understanding of inheritance, *J. Biological Education*, 19(4), pp. 304-310.
- FINLEY, F.N., STEWART, J. y YARROCH, W.L., 1982. Teacher's perceptions of important and difficult science content, *Science Education*, 66(4), pp. 531-538.
- GARCÍA CRUZ, C.M., 1990. Algunos errores conceptuales sobre genética derivados de los libros de texto, *Enseñanza de las Ciencias*, 8(2), pp. 197-198.
- HACKLING, M.W., y TREAGUST, D., 1984. Research data necessary for meaningful review of grade ten high school genetics curricula, *Journal of Research in Science Teaching*, 21(2), pp. 197-209.
- HADDOW, P.K., EUNPU, D.L., SINGER, N., BRANT, D.L. y LEDWITH, M.B., 1988. Introducing high school students to Human Genetics, *The American Biology Teacher*, 50(8), pp. 496-500.
- HEIM, W.G., 1991. What is a recessive allele?, *The American Biology Teacher*, 53(2), pp. 94-97.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. y FERNÁNDEZ PÉREZ, J., 1987. El «desconocido» artículo de Mendel y su empleo en el aula, *Enseñanza de las Ciencias*, 5(3), pp. 239-246.
- KARGBO, D., HOOPS, E. y ERICKSON, G., 1980. Children's beliefs about inherited characteristics, *J. Biological Education*, 14(2), pp. 137-146.
- MERTENS, T.R., 1990. Using human pedigrees to teach Mendelian genetics, *The American Biology Teacher*, 52(5), pp. 288-290.
- MITCHELL, A. y LAWSON, A.E., 1988. Predicting genetics achievement in nonmajor college Biology, *Journal of Research in Science Teaching*, 25(1), pp. 23-37.
- MOLL, M.B. y ALLEN, R.D., 1987. Student difficulties with Mendelian Genetics problems, *The American Biology Teacher*, 49(4), pp. 229-233.
- MONDELO, M., GARCÍA, S. y MARTÍNEZ, M.C., 1988. Genética y resolución de problemas: Aspectos didácticos, *Actas IX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Tarragona*, 68.1-68.5.
- PEARSON, J.T. y HUGHES, W.J., 1988. Problems with the use of terminology in genetics education: 1. A literature review and classification scheme, *J. Biological Education*, 22(3), pp. 178-182.
- RINDOS, D. y ATKINSON, J.W., 1990. Pizza chromosomes. A method for teaching modern Genetics, *The American Biology Teacher*, 52(5), pp. 281-287.
- SERRANO, T., 1987. Representaciones de los alumnos en biología: estado de la cuestión y problemática para su investigación en el aula, *Enseñanza de las Ciencias*, 5(3), pp. 181-188.
- SLACK, S.J. y STEWART, J., 1989. Improving student problem solving in genetics, *J. Biological Education*, 23(4), pp. 308-312.
- SLACK, S.J. y STEWART, J., 1990. High school students' problem-solving performance on realistic genetics problems, *Journal of Research in Science Teaching*, 27(1), pp. 55-67.
- SMITH, M.U. y SUTHERN SIMS, O., 1992. Cognitive development, genetics problem solving, and genetics instruction: A critical review, *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (7), pp. 701-713.
- STEWART, J.H., 1982. Difficulties Experienced by High School Students when learning basic Mendelian Genetics, *The American Biology Teacher*, 44(2), pp. 80-84, 89.
- STEWART, J.H., HAFNER, B. y DALE, M., 1990. Students' alternate views of Meiosis, *The American Biology Teacher*, 52(4), pp. 228-232.
- STEWART, J.H. y VAN KIRK, J., 1990. Understanding and problem-solving in classical genetics, *International Journal of Science Education*, 12(5), pp. 575-588.
- TALBOT, C., 1991. Teaching genetics: A review of selected human characteristics, *School Science Review*, 73(263), pp. 75-76.
- TAMIR, P., 1989. Some issues related to the use of justifications to multiple choice answers, *J. Biological Education*, pp. 285-292.
- TOLMAN, R.R., 1982. Difficulties in Genetics problem solving, *The American Biology Teacher*, 44(9), pp. 525-527.
- WALKER, R., HENDRIX, J. y MERTENS, T., 1980. Sequenced instruction in genetics and Piagetian cognitive development, *The American Biology Teacher*, 42(2), pp. 104-108.