

Publicado en el libro Resolución de Problemas, páginas 172 a 186. (Perales, F.J., Alvarez, P., Fernández, M.,García, J. González, F y Rivarrosa, A.). 2000. Editorial Síntesis. Madrid.

LOS PROBLEMAS DE GENÉTICA

1. INTRODUCCIÓN: LA DIVERSIDAD DE LOS DISCURSOS.

En este capítulo dedicado a la resolución de problemas de genética probablemente no se puedan encontrar muchas certezas más allá del carácter fundamental de los contenidos de genética en los programas de ciencias y biología.

La Genética mendeliana o clásica es el contenido disciplinar con que los estudiantes se inician a esta parte de la biología. El interés de la genética, en medio de clonaciones y otros temas, es indudable y seguirá aumentando en los próximos años, sin embargo su ubicación curricular ha sido muy discutida y las distintas líneas de investigación sobre su aprendizaje defienden posiciones diversas. Así, Lawson (1989) se manifiesta en contra de su inclusión antes de los 16 años, mientras que Smith y Sims (1992), entre otros, son favorables a su estudio.

Las posturas negativas se basan esencialmente en el nivel de desarrollo psicológico de los alumnos y las demandas que requieren los contenidos de Genética; los argumentos a favor defienden que las técnicas didácticas pueden facilitar la comprensión de los contenidos de esta disciplina. A favor se sitúan también el interés social por la genética y la trascendencia que sus aplicaciones plantearán en el futuro.

El discurso oficial de política científica y educativa resalta que la ciencia es un patrimonio universal que todos deben conocer y que basándose en tal conocimiento los ciudadanos de las sociedades democráticas pueden tomar mejores decisiones en temas como medio ambiente, energía nuclear o ingeniería genética.

En España, en los nuevos currículos de educación secundaria obligatoria, los contenidos básicos de genética aparecen en el área de Ciencias de la Naturaleza. Así, en el bloque 6 de contenidos se lee: "Los cromosomas y la transmisión de la herencia. Las mutaciones". Y en el bloque 9: "Fijismo y evolucionismo. Algunas relaciones entre genética y evolución" (Real Decreto 1345/1991). Este decreto, siguiendo razones psicoevolutivas, aconseja dejar para el cuarto curso de ESO los contenidos de mayor dificultad de comprensión y entre ellos cita al bloque 9 y comenta que "a la luz de algunos aspectos básicos de genética, se podría ampliar y actualizar el concepto de evolución". Los "aspectos básicos de genética" probablemente hagan referencia a los contenidos citados previamente en el bloque 6.

En la realidad de la mayoría de los libros de texto, traductores habituales de las normas del BOE (o de su equivalente autonómico), los aspectos básicos de genética y evolución aparecen en los libros de cuarto curso con planteamientos y niveles de profundidad diversos, aunque tomando las leyes de Mendel como núcleo esencial. Dado que el área de

Ciencias de la Naturaleza es optativa en el cuarto curso de ESO, el conocimiento de los principios básicos de la genética (fundamental para muchas decisiones ciudadanas según el discurso oficial), y de la evolución, principio vertebrador de la ciencia biológica, quedan en manos de la decisión democrática del alumno o de su familia. Queda el consuelo de los medios de la educación informal (prensa, medios audiovisuales, etc.) que se muestran siempre muy interesados en la divulgación de los temas de genética. Valga como ejemplo que el ADN fue calificado en un suplemento dominical de una importante revista nacional como "uno de los diez inventos más importantes del siglo XX".

2. LA DIVERSIDAD DE ERRORES, DIFICULTADES Y OBJETIVOS DE APRENDIZAJE.

Las investigaciones didácticas en el campo de la genética son muy abundantes (hay una excelente revisión en Bugallo, 1995) y, como en otros temas de ciencias, los diversos estudios han puesto de relieve el escaso éxito de los procesos de instrucción, en términos de aprendizaje significativo. En el tema que nos ocupa y en la línea de los errores conceptuales de los alumnos hay numerosos trabajos que detectan significados erróneos en, prácticamente, todos los conceptos básicos de la genética mendeliana. Así se describen errores en los conceptos de cromosoma, gen, alelo, mutación, procesos de meiosis, dominancia, recesividad, relaciones entre gen-alelo-cromosoma-ADN, etc. Se puede decir que, para suerte de los investigadores y desgracia de los alumnos, no hay contenido de la genética clásica que escape al error.

Se han apuntado numerosas causas de estos errores y se ha procedido a identificar las principales dificultades para un aprendizaje significativo de los conceptos básicos de la genética. Se pueden destacar, sin ánimo de ser exhaustivos, las siguientes:

- a) Falta de adecuación de los contenidos al desarrollo psicoevolutivo del alumnado.
- b) Presencia de ideas previas en torno a la herencia. Estas concepciones de los alumnos tienen múltiples procedencias: terminología confusa en los libros de texto, mezclas con el lenguaje coloquial y con el conocimiento popular sobre la herencia.
- c) Falta de comprensión y relación con conceptos básicos de la biología celular, principalmente la meiosis.
- d) Escaso conocimiento de nociones de estadística.
- e) Necesidad de aplicar los contenidos conceptuales a estrategias de resolución de problemas.

Las dificultades de la genética, junto a la naturaleza propia de sus conceptos, se ven ligadas en su aplicación habitual con otra estrategia de aprendizaje como es la resolución de problemas. El conocimiento de los mecanismos de transmisión de la herencia se traslada de forma inmediata a los denominados problemas relacionados con la herencia. Después del primer contacto con la ciencia de la herencia, para cualquier estudiante de biología, desde la secundaria a la universidad,

hablar de "problemas de biología" suele ser sinónimo de problemas de genética. En las pruebas de selectividad aparecen con gran frecuencia y en las oposiciones de enseñanza secundaria también continúan siendo planteados.

Como actividad en la disciplina de ciencias, la resolución de problemas, en general, y de genética en particular, puede facilitar la consecución de al menos cuatro objetivos de aprendizaje. Los estudiantes pueden obtener una mejor comprensión de:

- a) La estructura conceptual de la disciplina (conceptos, leyes, teorías su organización) y con ello obtienen una nueva forma de pensar sobre el mundo. Los profesores esperan que los problemas de genética lleven al alumno a trabajar con conceptos como dominante, recesivo, homocigoto, formación de gametos, etc y además relacionen entre sí todos estos conceptos.
- b) Los heurísticos para la toma de decisiones, independientes de una disciplina concreta; como redescubrir los datos de un problema, dividir el problema en subproblemas, etc.
- c) Los heurísticos específicos de la disciplina; como el uso de ciertos algoritmos, tipo cuadro de Punnett.
- d) La naturaleza de la ciencia como actividad humana que resuelve problemas a partir de los conocimientos previos, pero también basada en la creatividad y la discusión.

Sin embargo la investigación didáctica, que ha dedicado particular atención al tema de la resolución de problemas de genética, ha puesto de manifiesto que no hay relación clara entre la resolución correcta del problema y la comprensión conceptual de la disciplina. Para arrojar luz sobre esta paradoja, que conocen todos los profesores cuando más allá de las soluciones preguntan a sus alumnos por el proceso de resolución o simplemente se detienen a examinar las tareas realizadas por aquellos, se requiere un estudio de los tipos de problemas de Genética más habituales.

3. DIVERSOS TIPOS DE PROBLEMAS Y ERRORES EN SU RESOLUCIÓN.

Los tipos de problemas más comunes en los textos de enseñanza secundaria son los que derivan directamente del conocimiento de las leyes de Mendel y de la teoría cromosómica de la herencia. Estos problemas, de lápiz y papel, habitualmente son de tipo cerrado, con una única solución. En sus enunciados, tomados en muchos casos de manuales universitarios, suelen referirse a animales y/o plantas y a características hereditarias poco conocidas para alumnos de 14 a 16 años.

Los problemas planteados, cruces monohíbridos y dihíbridos (ver problemas 1 a 4 del anexo), pretenden aplicar los conceptos básicos de relación genotipo-fenotipo, dominancia-recesividad, homocigosis-heterocigosis, relación cromosoma-gen-alelo, cromosomas homólogos, meiosis, formación de gametos, probabilidad y utilización de la simbología habitual en estos problemas (por ejemplo: mayúscula-minúscula, esquemas de cruces, símbolos de generaciones, etc.). En educación secundaria es

posible encontrar algunos ejemplos de problemas de herencia intermedia y, de forma más rara, se formulan problemas de herencia ligada al sexo y de series alélicas; estos dos últimos tipos son habituales en bachillerato.

Diversos autores han estudiado de forma específica los errores más habituales en la resolución de los problemas de monohíbridos y dihíbridos. Los errores más comunes que se detectan son las predicciones equivocadas en los tipos de fenotipos y en las proporciones fenotípicas; errores que derivan mayoritariamente de equivocaciones en la formación de los gametos y de la incapacidad de aplicar las proporciones fenotípicas mendelianas a nuevas situaciones.

Estos errores aparecen ligados a tres dificultades básicas en el aprendizaje: dificultades en habilidades básicas de cálculo, dificultades en la determinación de la composición de los gametos y aplicación no apropiada de aprendizajes previos a nuevas situaciones.

En el primer caso, probablemente, también habrá serias dificultades en la resolución de problemas en general. Procede en estos casos a una correcta identificación de estos individuos y su asesoramiento por personal específico.

La falta de comprensión de la meiosis y de su papel en los procesos genéticos es, según numerosos trabajos, el origen de los errores en el trabajo con los gametos.

Al tercer caso, que suele ser el mayoritario, se debe prestar atención detenidamente. Los alumnos fracasan, una y otra vez, cuando se les plantean nuevos enunciados de problemas que en el fondo requieren movilizar los mismos conceptos básicos o bien parecen dar las respuestas correctas, pero no saben justificar en términos de genética los procesos que llevaron a esas respuestas. En definitiva, resolver el problema no implica necesariamente que se estén reforzando ni utilizando los conocimientos conceptuales apropiados. Con ello se falsea uno de los principales objetivos de la enseñanza de los problemas de genética.

Como en otras muchas tareas y disciplinas, las personas tienden a mecanizar las actividades, a buscar el mecanismo (el algoritmo) que lleva a la solución por la vía más rápida. Cuando un alumno no sabe justificar, en términos de conceptos de genética, sus respuestas o sólo responde en términos de autoridad ("por que lo dice Mendel..."), se reconoce que esta funcionando el algoritmo y no la comprensión de la materia. El problema de genética se convierte entonces en un juego de letras mayúsculas y minúsculas, con unas reglas que las combinan y que adecuadamente utilizadas, por cualquiera, dan un resultado positivo.

Los problemas de genética pueden clasificarse de formas diversas:

1. Desde la lógica de la disciplina: por el tipo de herencia implicado, de genética humana o no, arboles genealógicos (pedigris), etc.
2. Desde la lógica de los objetivos de aprendizaje que se pretenden alcanzar con la resolución de problemas, se pueden clasificar por el tipo de razonamiento que generan.

Esta segunda clasificación, realizada por Stewart (1988),

diferencia dos tipos de razonamiento en la resolución de problemas y con ello dos tipos básicos de problemas.

a) Problemas que implican razonamiento causa-efecto (Tipo Causa-Efecto, C-E): para su solución se razona desde las causas (los genotipos o el tipo de herencia implicada es conocido o dado en el problema) a los efectos (se pregunta la proporción de fenotipos de la descendencia y sus genotipos).

b) Problemas que implican razonamiento efecto-origen (Tipo Efecto-Causa, E-C): para su solución se requiere razonar desde los efectos (fenotipos dados en los cruces) a las causas (los genotipos) y suponen hallar el tipo de herencia implicado.

a) La mayor parte de los problemas de los libros de texto que introducen al conocimiento de la genética son del tipo causa-efecto (los cuatro primeros ejemplos del anexo pertenecen a este tipo y están transcritos de textos actuales). La dificultad de estos problemas puede variar básicamente por dos dimensiones: su contenido conceptual y el vocabulario utilizado en su enunciado.

El problema puede basarse en diversos tipos de herencia, sucesivamente más complejos, desde un modelo de herencia de simple dominancia autosómica, codominancia, alelismo múltiple, herencia ligada al sexo, letalidad, epistasis, genes ligados, etc.

Por otro lado un mismo problema puede enunciarse de forma distinta y a un nivel de iniciación a la genética ello puede incrementar la dificultad del problema. Pensemos en el problema 3 del anexo, cuyo enunciado podría ser más simple en su parte inicial o más complejo en su parte final.

En el enunciado de los problemas C-E se proporciona información sobre el modelo de herencia (causa) y se pregunta sobre las expectativas fenotípicas del cruce (efecto). Conceptos como homocigoto, heterocigoto, dominante, recesivo, genotipo, fenotipo, segregación alélica, etc, deben ser conocidos para su resolución. Sin embargo, y en relación a los contenidos conceptuales y a la problemática planteada anteriormente, numerosas investigaciones han puesto de manifiesto que los estudiantes pueden resolver estos problemas aplicando un simple algoritmo que ha sido memorizado.

Por otro lado los problemas causa-efecto, al poder ser resueltos de este modo algorítmico, hacen menos probable que el estudiante adquiera una correcta comprensión de los heurísticos generales (dividir la tarea en subtareas, por ejemplo) y de los específicos (en un problema de dihíbridos, considerar cada rasgo por separado).

Aparece como evidente que una resolución de problemas basada en la aplicación de recetas algorítmicas puede favorecer una visión de la actividad científica como un proceso de etapas concretas y repetitivas.

b) Los problemas efecto-origen que aparecen en los libros de texto suelen ser problemas donde el enunciado proporciona los resultados fenotípicos de una o más generaciones y se pregunta por el modelo de herencia que explica los resultados presentados (ver ejemplos problemas 5-7 del anexo). Estos problemas también pueden presentarse en forma de pedigrís o árboles genealógicos.

Los problemas E-C no se solucionan de forma inmediata por algoritmos, el alumno debe decidir qué hipótesis (modelo de herencia) quiere cuestionar y debe movilizar sus conocimientos para ello, siendo muy probable que su trama conceptual se vea reforzada. En la resolución de estos problemas el alumno debe utilizar diversos heurísticos generales y específicos y aplicarlos sucesivamente a todas las hipótesis que plantee. Esta forma de trabajo es más próxima a la verdadera naturaleza de la actividad científica y permite concebir a la ciencia como una actividad que requiere capacidad de juicio e imaginación.

En los libros de texto estos problemas suelen ser minoritarios y además, por obvias razones de espacio y estructura, los enunciados suelen sugerir los modelos de herencia subyacentes. Así, en el ejemplo 5 del anexo, en el libro de texto donde aparecía, se añadía al enunciado que: "(A= alas normales, a=alas cortas, B= cuerpo de color normal, b= cuerpo marron). Estas limitaciones pueden verse superadas con el uso de programas de ordenador que generan una amplia variedad de modelos de herencia y de datos fenotípicos. Estos programas se vienen utilizando incluso para sustituir las prácticas de laboratorio en las que se planteaba el estudio de un modelo de herencia, es decir, un problema real de efecto-causa, un problema tal como se les plantea a los genetistas en la realidad. Otra alternativa es la construcción "ad hoc" de pedigrís por parte del profesor. O simplemente obviando ciertas "ayudas" en los textos, como en el caso comentado.

4. PROPUESTAS DE DIVERSAS SOLUCIONES.

Perales (1993) afirma que la resolución de problemas es un ejemplo diáfano de la situación de transición en la que se encuentra la didáctica de las ciencias. Por ello se comentaba al inicio de este capítulo que no es posible tratar con muchas certezas en esta disciplina. Son muchas las variables que inciden en el aula y muy diversas las dificultades y errores a superar. Lógicamente también existen diversas propuestas de soluciones. Entiéndanse estas propuestas no como recetas mágicas, que no las hay, sino como vías surgidas de la investigación educativa que pretenden mejorar los procesos de enseñanza.

1). Desde la investigación en los contenidos conceptuales de la genética se recalca que los libros de texto suelen centrarse excesivamente en las leyes de Mendel, no abordan con claridad las relaciones entre cromosomas-genes-alelos, no se refieren a los genes cuando describen los procesos de mitosis y meiosis o incluso no hacen referencia a la meiosis, y el desarrollo de la genética humana se considera como un apéndice o en otras actividades de profundización. Todas estas características plantean problemas de comprensión para los alumnos.

Se recuerda que:

- Antes de iniciar la resolución de problemas de genética, parece fundamental que los alumnos conozcan el proceso de la meiosis, no en toda su complejidad, pero sí como mecanismo en el

que se originan los gametos haploides.

- El profesorado debe elegir con cuidado el texto de referencia escolar, primando aquellos que presenten con más claridad los conceptos básicos reseñados. Algo tan obvio como una buena elección del texto no debe ser olvidado.

- El trabajar con la herencia de los caracteres humanos puede ser más interesante y motivador para los alumnos que el estudio de las alas de las moscas, la forma de la cresta de las gallinas o la forma de la vaina del guisante.

2). El estudio de los conocimientos de los alumnos pone de manifiesto que antes de contactar formalmente con la genética, el alumnado posee explicaciones propias de los mecanismos hereditarios. Estos conocimientos derivan de:

- La propia instrucción escolar. En tercer curso de ESO se estudia de forma amplia la reproducción humana y anteriormente se ha estudiado la reproducción como característica básica de los seres vivos.

- El contexto familiar de los alumnos (¿a quién se parece el hermano o el primo?), social o de los medios de comunicación que recogen a menudo noticias derivadas de los avances en la investigación genética.

Antes de iniciar el estudio de la genética, el alumnado debe conocer adecuadamente las relaciones entre estructura y función celular; y el profesorado debe interesarse por conocer si este tema ha sido ya tratado y comprendido adecuadamente.

3). Los problemas tipo C-E pueden iniciar al alumno en la resolución de problemas, pueden facilitar las relaciones entre los conceptos básicos y con ellos se suelen aprender los heurísticos específicos más elementales. Pero debe recordarse que su uso único o muy repetido conduce, en muchos casos, a un modo mecánico de la resolución, a una memorización simple de los algoritmos sin llegar a ninguna relación ni comprensión significativa de los conceptos genéticos básicos.

En definitiva los denominados problemas se convierten en ejercicios repetitivos. El alumno meramente identifica el ejercicio y aplica el algoritmo o abandona el ejercicio si no identifica un modelo conocido o no recuerda alguna etapa del proceso.

El lector experto en la resolución pensará que también él aplica algoritmos de forma casi automática, sin duda. Pero debe considerarse el nivel de partida de los alumnos y que existe toda una progresión desde las situaciones simples de causa-efecto hasta la interacción de diversas variables y la aplicación del cálculo de probabilidades. Por ello el uso exclusivo de los problemas tipo C-E, aunque necesarios, no permiten una total progresión de los alumnos.

4). La resolución de problemas como un proceso de investigación es una propuesta ligada a la renovación en la enseñanza de las ciencias. En el capítulo segundo han sido comentadas con amplitud las características de esta propuesta. En el campo de la genética esta orientación insiste en el interés que presentan los problemas tipo E-C, por permitir la elaboración de

estrategias que reflejan el proceso de investigación que un problema real requiere para su solución. Se encuentran diversas estrategias didácticas que aprovechan esta cualidad:

- En algunos casos se utilizan diferentes programas informáticos (GCK, CATLAB, BIRDBREED) que simulan cruces diversos a los que el alumno, generalmente trabajando en grupos, debe encontrar explicación.

- Otras estrategias realizan un tratamiento histórico y contextualizado de la ciencia y suelen plantear la repetición o seguimiento de los trabajos de Mendel, el uso de sus trabajos originales, etc. Sin embargo estas estrategias parecen más propias para alumnos de cursos universitarios o en todo caso requieren de un tiempo elevado del que no se suele disponer en secundaria ni bachillerato.

5). Sin necesidad del uso de programas informáticos, existe un caso particular de problemas de genética (también del tipo E-C) en cuya resolución se requiere generar hipótesis y someterlas a prueba. Nos referimos a los árboles genealógicos, genealogías o pedigris.

Los árboles genealógicos representan la herencia de un carácter o rasgo en una familia mas o menos extensa. Su análisis permite determinar el tipo de herencia del carácter (autosómico dominante o recesivo, ligado al sexo, etc), aunque dado que existen numerosos tipos de herencia, estos problemas solo pueden ser resueltos con certeza por falseamiento de las diversas hipótesis alternativas (ver problema 8 del anexo).

Las hipótesis pueden probarse de dos formas:

a) Asignando genotipos a los individuos del pedigrí. Si es posible asignar un genotipo a todos ellos y si son consistentes entre si y con el tipo de herencia que se está comprobando, la hipótesis puede ser aceptada.

b) Dado que con la estrategia anterior no siempre es posible eliminar hipótesis alternativas, podemos buscar algún dato fenotípico del pedigrí (datos críticos) que permita rechazar o aceptar las diversas hipótesis alternativas.

Los estudios comparativos de estrategias de resolución de pedigris en expertos (profesores, estudiantes avanzados) y novatos (estudiantes iniciales) ponen de manifiesto que estos últimos utilizan muy a menudo la primera estrategia y, cuando tras varias pruebas (vía ensayo-error) encuentran una hipótesis aceptable, no llevan a cabo intentos de falsación de otras posibles hipótesis. Por contra los expertos usan más los datos fenotípicos y a partir de ellos realizan más falsaciones de hipótesis alternativas (Hackling y Lawrence, 1988).

Estos trabajos han puesto de manifiesto que en el análisis de genealogías se ponen en marcha estrategias similares a las necesarias para resolver los problemas de la investigación científica y médica. De hecho, las genealogías son la base de trabajo real de los genetistas y consejeros genéticos.

Por su particular estructura el trabajo con los árboles genealógicos requiere un tratamiento especial que permita aprovechar las ventajas comentadas. Se recordará que:

a) En su trabajo en clase con los pedigris, el profesor debe

"pensar en voz alta", describir todos sus procesos mentales, aunque para él sean obvios, debe describir las hipótesis que pone a prueba y cómo las somete a tal prueba.

b) Es preferible la búsqueda de los datos críticos a la estrategia del ensayo-error.

c) Comenzando con problemas sencillos se debe insistir en la necesidad de comprobar otras hipótesis, aunque ya tengamos una aceptable. Esta necesidad será obvia al ir presentando problemas más complejos.

d) Las genealogías pueden trabajarse en pequeños grupos donde los alumnos pueden ver hipótesis alternativas presentadas por los compañeros.

e) El trabajo individual puede realizarse pensando en voz alta, "obligando" a describir qué se está haciendo y por qué. Este tipo de práctica proporciona la oportunidad al estudiante de pensar sobre lo que hace y por qué lo hace.

f) Individualmente o en grupo, el alumno puede construir genealogías familiares utilizando diversos rasgos humanos, es decir el mismo recoge datos (fenotipos) que le resultarán más próximos.

g) Se pueden construir genealogías con diversos caracteres humanos de determinación génica sencilla y de fácil identificación: lóbulos de las orejas pegados, pico de viudo, capacidad de enrollar la lengua, dedo meñique curvado, pulgar extensible, pelo en la articulación media de los dedos, longitud relativa del dedo índice, sensibilidad a la feniltiocarbamida, factor sanguíneo Rh, grupo sanguíneo, etc.

h) El trabajo con los árboles genealógicos requiere centrarse en el proceso de resolución y no sólo en el resultado final, resultado que puede ser de una o varias soluciones, según su dificultad, y además pueden presentarse como problema tipo C-E si en el enunciado se da a conocer el tipo de herencia del carácter.

Ayuso y col. (1996) han puesto de manifiesto que tampoco los problemas tipo E-C garantizan una resolución correcta o una comprensión de los conceptos implicados. Estos y otros investigadores advierten que al adquirir más experiencia en la resolución de problemas el alumno puede aprender, conscientemente o no, ciertos heurísticos generales y específicos pero que continúe empleando los algoritmos para la búsqueda de soluciones, incluso en este tipo de problemas. ¿Cuál es la fuerza del algoritmo?

5. CONCLUYENDO: LA DIVERSIDAD DE LOS DISCURSOS DE ALUMNOS Y PROFESORES.

Los problemas de genética tienen la capacidad potencial de producir o reforzar un cierto aprendizaje, pero no lo garantizan.

Muchas investigaciones en nivel de secundaria y bachillerato han puesto de manifiesto el escaso grado de comprensión conceptual de la genética. En relación a los problemas de genética hemos apuntado diversas razones que pueden

coadyuvar a ello.

El uso de algoritmos que mecanizan la resolución de los problemas y los convierten en meros ejercicios que no conducen a un aprendizaje significativo de conceptos se ha configurado como un escollo particularmente escabroso.

Se han contemplado diversas estrategias que pueden ayudar a que los alumnos, a la vez que resuelven los problemas de genética, comprendan sus conceptos básicos y se acerquen a la ciencia como actividad humana.

En todo caso, no se puede despreciar a los algoritmos, todo problema, en algún modo, requiere su uso, y este no es el problema; pero los algoritmos se aprenden y se usan limitando con ello la comprensión, y este sí que es un problema de la enseñanza.

Si se premia sólo la respuesta correcta para el problema tipo del libro de texto, y no se tiene en consideración el proceso que ha llevado a la respuesta, es probable que los alumnos busquen el camino más sencillo para esa respuesta.

Uno de los poderes del algoritmo deriva de que los alumnos saben lo que los profesores quieren, es decir, los alumnos aprender a ser alumnos.

Obviamente, también el profesorado aprende de las demandas externas y quizás piense muy a menudo en la selectividad, casi la única evaluación externa del sistema educativo español, que se sitúa muy próxima en el tiempo en que se imparten los contenidos de genética.

Cabe la reflexión y la pregunta: ¿Se quiere repetir siempre el mismo proceso o, aprendiendo de la diversidad genética, utilizar diversas estrategias en las aulas? ¿Qué se quiere enseñar: cómo obtener la respuesta correcta por el algoritmo que nos lleva a ella o la capacidad de razonamiento que puede implicar que ocasionalmente nos equivoquemos?, ¿qué necesita más tiempo, esfuerzo y recursos de todo tipo?

6. ANEXO: ALGUNOS EJEMPLOS CLASICOS DE PROBLEMAS

Los enunciados (o formas muy similares) de los problemas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 pueden encontrarse en los textos de tercer y cuarto curso de ESO de las editoriales Santillana, Bruño, Anaya y Edelvives. Los problemas 6 y 8 han sido recogidos de manuales universitarios.

Problema 1: El pelaje negro de los ratones es dominante, y el blanco es recesivo. Individuos heterocigóticos son cruzados entre sí. ¿Qué tanto por ciento de la camada resultante puede esperarse que sea blanca?

Problema 2: Sabiendo que el color del pelo negro es dominante sobre el color rubio, ¿puede una pareja con el pelo de color negro tener un hijo rubio? Justifica la respuesta.

Problema 3: La presencia de plumas en las patas de las gallinas se debe a un alelo dominante y las patas sin plumas a un alelo recesivo. La cresta en forma de guisante es producida por otro alelo dominante, y la cresta simple por uno recesivo. Cruzamos un gallo doble homocigoto para esos caracteres con una gallina de patas sin plumas y cresta simple. ¿Cómo es la F_1 ?

Problema 4: Cruzando un gallo y una gallina de la F_1 del

problema anterior, ¿cómo será la segunda generación?

Problema 5: En un cruce entre moscas normales se obtuvieron descendientes con los siguientes fenotipos: 180 normales, 60 de alas cortas, 60 de cuerpo marrón y 20 de cuerpo marrón y alas cortas. ¿Cuáles de estos caracteres son dominantes y cuáles son recesivos? ¿Cuál es el genotipo de cada uno de los fenotipos de la descendencia? ¿Cuál es el genotipo de los padres?

Problema 6: Un agricultor, que usualmente produce variedades de rábanos dulces y picantes, desea concentrar su producción en los rábanos picantes. ¿Qué pasos debería realizar para conseguirlo?

Problema 7: Cuando cruzamos un conejo de pelo oscuro con una coneja de pelo blanco, todos los conejitos descendientes son de pelo negro. Si se deja cruzar a esta descendencia entre si, algunos de los conejitos de la segunda generación son blancos. ¿Qué explicación daría a estos resultados?

Problema 8: Los tres árboles genealógicos que aparecen a continuación hacen referencia a un carácter humano. De las siguientes posibilidades: dominancia, recesividad, autosomía y ligamiento al sexo, ¿cuáles podríamos excluir? ¿En base a qué dato podemos rechazar cada una de ellas?

7. REFERENCIAS CITADAS.

- Ayuso, E., Banet, E. & Abellán, T. 1996. Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y el bachillerato: II. ¿Resolución de problemas o realización de ejercicios?. Enseñanza de las Ciencias, 14: 127-142.
- Bugallo, A. 1995. La Didáctica de la Genética: revisión bibliográfica. Enseñanza de las Ciencias, 13: 379-385.
- Hackling, M.W. & Lawrence, J.A. 1988. Expert and novice solutions of genetic pedigree problems. Journal of Research in Science Teaching, 21: 531-546.
- Mitchell, A. & Lawson, A.E. 1988. Predicting genetics achievement in nonmajor college biology. Journal of Research in Science Teaching, 25: 23-37.
- Perales, F.J. 1993. La resolución de problemas: una revisión estructurada. Enseñanza de las Ciencias, 11: 170-178.
- Real Decreto 1345/1991, de 6 de Septiembre, por el que se establece el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria. BOE número 220, 1991. Madrid.
- Smith, M.U. & Sims, O.S. 1992. Cognitive development, genetics problem solving and genetics instruction: a critical review. Journal of Research in Science Teaching, 29: 701-713.
- Stewart, J. 1988. Potential learning outcomes from solving genetics problems: a typology of problems. Science Education, 72: 237-254.