

Enseñar ciencias

M.P. Jiménez Aleixandre (coord.), A. Caamaño,
A. Oñorbe, E. Pedrinaci, A. de Pro



Serie Didáctica de las ciencias experimentales

© María Pilar Jiménez Aleixandre, Aureli Caamaño, Ana Oñorbe, Emilio Pedrinaci,
Antonio de Pro

© de esta edición: Editorial GRAÓ, de IRIF, S.L.
C/ Francesc Tàrrega, 32-34. 08027 Barcelona
www.grao.com

1.ª edición: enero 2003

2.ª edición: enero 2007

ISBN 13: 978-84-7827-285-3

DL:

Diseño de cubierta: Xavier Aguiló

Impresión: Publidisa

Impreso en España

Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios tanto si es eléctrico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización escrita de los titulares del *copyright*.

Índice

Introducción: aprender a pensar científicamente, María Pilar Jiménez Aleixandre | 7

Parte I

- 1. El aprendizaje de las ciencias: construir y usar herramientas, María Pilar Jiménez Aleixandre | 13**
 - El conocimiento situado en su contexto: actividades y problemas auténticos | 14
 - Comunidades de aprendizaje en la clase de ciencias | 18
 - Pensar con conceptos científicos, negociar significados | 22
 - El desarrollo de los procedimientos y el trabajo científico | 27
 - El desarrollo de actitudes y valores | 30
 - Bibliografía comentada | 32

- 2. La construcción del conocimiento científico y los contenidos de ciencias, Antonio de Pro Bueno | 33**
 - El problema de contenidos en la enseñanza de las ciencias | 34
 - ¿Qué no son las ciencias? | 35
 - ¿Creemos que la ciencia es empirista? | 36
 - ¿Creemos que la ciencia es sólo racionalista? | 36
 - ¿Creemos que la ciencia es positivista? | 37
 - ¿Qué son las ciencias? | 38
 - ¿Qué conocimientos aportan las ciencias y cuáles de ellos podemos usar en su enseñanza? | 40
 - ¿Cómo se han construido los conocimientos científicos? | 44
 - ¿Qué consecuencias podemos extraer para la enseñanza de las ciencias? | 51
 - Bibliografía comentada | 53

- 3. Comunicación y lenguaje en la clase de ciencias, María Pilar Jiménez Aleixandre | 55**
 - La comunicación en las clases de ciencias: construcción de significados | 56
 - Explicaciones en las clases de ciencias | 60
 - Comunicación y transformación del discurso | 63
 - Léxico, vocabulario: mecanismos de reformulación | 63
 - Lenguaje figurado: metáforas y analogías | 65
 - El papel de las imágenes en el discurso científico | 66
 - Razonamiento y argumentación: justificar conclusiones con datos | 67
 - Comunidades de pensamiento: hablar ciencias y hacer ciencias | 70
 - Bibliografía comentada | 71

- 4. Resolución de problemas, Ana Oñorbe | 73**
 - ¿Qué es un problema? Objetivos de la resolución de problemas en ciencias | 73
 - Condiciones de existencia de un problema | 76
 - Tipos de problemas | 77
 - Proceso de resolución | 78
 - La enseñanza tradicional de la resolución de problemas | 79

¿Qué propone la didáctica de las ciencias? | 81

- Estudio de los procesos mentales | 82
- Comparación entre expertos y no expertos | 82
- Dificultades en la enseñanza y aprendizaje de la resolución de problemas | 83

Algunas propuestas metodológicas | 88

Bibliografía comentada | 93

5. Los trabajos prácticos en ciencias, Aureli Caamaño | 95

¿Por qué realizar trabajos prácticos? | 96

Tipos de trabajos prácticos | 96

- El aprendizaje de procedimientos y destrezas con relación a los trabajos prácticos | 99

Experiencias y experimentos ilustrativos | 100

Los ejercicios prácticos: aprendizaje de métodos y técnicas e ilustración de la teoría | 103

Las investigaciones: construir conocimiento, comprender los procesos de la ciencia y aprender a investigar | 104

La implementación de las investigaciones en el aula | 106

- ¿A través de qué fases transcurre una investigación? | 108
- ¿Cómo debe ser el guión de una investigación? | 108
- ¿Cuántas sesiones son precisas? | 112

El grado de apertura de una investigación | 112

Factores que inciden en la dificultad de las investigaciones | 115

La investigación sobre los trabajos prácticos en la última década | 117

Bibliografía comentada | 118

Parte II

6. La enseñanza y el aprendizaje de la biología, María Pilar Jiménez Aleixandre | 119

Las grandes preguntas de la biología | 121

- ¿Qué es la vida? Vitalismo contra materialismo | 122
- ¿Cuál es el origen de la vida? Creación y generación espontánea | 124
- ¿Cuál es el origen de las especies? Fijismo y evolucionismo | 125
- ¿Cómo se transmiten los caracteres de una generación a otra? Herencia continua o discontinua. ¿Cómo se desarrolla un individuo? Epigénesis o preformismo | 127
- ¿Qué relaciones tienen los seres vivos entre sí y con su ambiente? | 128

Métodos de investigación en biología: probabilismo, narración histórica | 128

- Narración histórica y fenómenos únicos | 129
- Pluralismo causal | 129
- Azar y probabilidad | 129
- El papel de los conceptos | 130

El aprendizaje de la biología: desafíos en el aula de secundaria | 130

- Los seres vivos | 132
- Ecología y medio ambiente | 135

La biología en el bachillerato: la era de Dolly | 138

- El cambio biológico | 138
- La manipulación genética | 142

- 7. La enseñanza y el aprendizaje de la geología, Emilio Pedrinaci | 147**
- ¿Qué geología debe enseñarse en la educación secundaria? | 149
- ¿Hacia dónde va la geología? | 149
 - ¿Cuáles son las preguntas clave? | 151
 - ¿Qué métodos de investigación utiliza para generar el conocimiento? | 153
 - ¿Cuáles son las afirmaciones clave que formula en respuesta a las preguntas clave? | 154
- ¿Qué dificultades de aprendizaje presenta? | 156
- Una Tierra dinámica | 157
 - Causalidad y cambios en la superficie terrestre | 158
 - El origen de las rocas | 158
 - Diversidad y amplitud de las escalas espaciales | 159
 - El concepto de tiempo geológico | 159
 - El concepto de interacción | 160
- Secuencia de los contenidos geológicos | 160
- Una secuencia para la ESO | 161
 - Una secuencia para el bachillerato | 163
- La propuesta didáctica: algunos ejemplos | 164
- ESO: el origen de las rocas sedimentarias | 165
 - El descubrimiento de la edad de la Tierra | 170
- 8. La enseñanza y el aprendizaje de la física, Antonio de Pro Bueno | 175**
- ¿Qué física debemos enseñar en la educación secundaria? | 176
- ¿En qué ha trabajado la física en los últimos tiempos? | 177
 - ¿Qué conocimientos de física necesitan los ciudadanos? | 180
- ¿Qué dificultades tienen los estudiantes en su aprendizaje de la física? | 181
- ¿Cómo debemos organizar los contenidos? | 187
- ¿Cómo podemos trabajar la física en el aula? | 193
- ¿Cómo podemos trabajar en el aula el tema de los circuitos eléctricos? | 194
- 9. La enseñanza y el aprendizaje de la química, Aureli Caamaño | 203**
- ¿Qué química se ha enseñado en las últimas décadas y qué química convendría enseñar en secundaria? | 204
- ¿Cuáles son las preguntas y los conceptos clave de la química? | 206
- ¿Cómo podemos clasificar la diversidad de sistemas y cambios químicos que se presentan en la naturaleza? | 206
 - ¿Cómo está constituida la materia en su interior? | 207
 - ¿Qué relación existe en las propiedades de los materiales y su estructura, es decir, entre sus propiedades macroscópicas y las propiedades de las partículas que los constituyen? | 208
 - ¿Cómo transcurren las reacciones químicas? | 208
 - ¿Por qué ciertas sustancias muestran afinidad por otras? ¿Por qué ciertas reacciones tienen lugar de forma completa y otras se detienen antes de llegar a completarse? ¿Qué criterios rigen la espontaneidad de los cambios químicos? | 209
- ¿Qué dificultades conceptuales presenta el aprendizaje de la química? | 212
- Concepciones alternativas y dificultades conceptuales | 212
 - Causas de las concepciones alternativas y de las dificultades de aprendizaje | 215

- Dificultades intrínsecas de la química | 216
- Dificultades relativas al pensamiento y la forma de razonamiento de los estudiantes | 218
- Dificultades atribuibles al proceso de instrucción | 220
- Implicaciones didácticas | 220

Criterios para secuenciar los contenidos de química | 221

Un ejemplo de secuencia didáctica a lo largo de la ESO y el bachillerato: el estudio de las reacciones ácido-base | 223

- Ácidos y bases en la ESO | 223
- Ácidos y bases en el primer curso de bachillerato | 224
- Ácidos y bases en el segundo curso de bachillerato | 226

Referencias bibliográficas | 229

6

La enseñanza y el aprendizaje de la biología

María Pilar Jiménez Aleixandre

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales
Universidade de Santiago de Compostela

El aprendizaje y la enseñanza de las ciencias experimentales plantea cuestiones compartidas, como las discutidas en los capítulos de la primera parte, y otras específicas en cuanto a la biología que se abordan en este capítulo:

- *¿A qué preguntas intenta dar respuesta la biología?*
Se recapitulan algunas de las cuestiones que han sido objeto de controversia a lo largo de la historia de la disciplina y las respuestas que han recibido.
- *¿Qué métodos emplean las ciencias de la vida?*
Partiendo del empleo de métodos comunes con otras ciencias, se abordan aspectos metodológicos específicos, como la narración histórica y el pluralismo causal.
- *¿Qué problemas de aprendizaje detecta la investigación didáctica en educación secundaria obligatoria? ¿Cómo diseñar una propuesta que los tenga en cuenta?*
Se resumen algunos problemas para este nivel educativo, discutiendo a continuación propuestas para los seres vivos y la ecología.
- *¿Qué problemas de aprendizaje ha detectado la investigación didáctica en bachillerato? ¿Cómo puede diseñarse una propuesta que los tenga en cuenta?*
Se resumen algunos problemas para los últimos cursos de la educación secundaria, discutiendo a continuación propuestas para la evolución y la manipulación genética.

Las grandes preguntas de la biología

Las ciencias han experimentado intensas transformaciones a lo largo del siglo xx, y la biología lo ha hecho en tal medida que algunos hablan del *siglo de la biología*.

La dificultad de predecir el futuro de una ciencia queda en evidencia en la voz «Mendel» de la *Enciclopedia Espasa*, editada en 1917:

Llevó a cabo amplísimos ensayos para establecer las leyes de formación de las plantas híbridas y los resultados de éstos, aunque de interés puramente teórico, han sido la base de una formación racional de nuevas especies y de cruces artificiales de aplicación práctica.

Pocas personas negarían que el desarrollo de la genética, además de cambiar las ciencias de la vida, y originar fructíferas líneas de investigación teóricas, ha afectado y está afectando nuestra forma de vivir. Si comparamos la situación actual de la biología con la de hace un siglo o medio, veremos que incluso tenía otro nombre, pues se hablaba de *ciencias naturales* y de *naturalistas*, y hasta 1951 no se separaron en España los estudios universitarios en biológicas y geológicas.

Algunos autores en filosofía o historia de la ciencia establecían jerarquías entre las ciencias, clasificándolas de «duras» a «blandas» según criterios como su grado de matematización o la posibilidad de realizar experimentos controlados. La biología se encontraba entre las «blandas», lo que equivalía a menos «científicas», ya que muchas de sus teorías no pueden expresarse como ecuaciones, y la realización de experimentos en dominios como la evolución es compleja. Cuando en los años sesenta y setenta se publicó *La estructura de las Revoluciones Científicas* de Kuhn, los especialistas en biología buscaron en vano discusiones sobre su campo, pues, quizás debido a la formación en física, o quizás a ser considerada de inferior estatus en la jerarquía, no aparecían ejemplos de biología. Una experiencia semejante tuvimos quienes comenzamos a trabajar en didáctica de la biología en los ochenta, pues la mayor parte de los artículos sobre problemas de aprendizaje o propuestas versaban sobre física. Hoy en día las perspectivas sobre lo que son las ciencias y las metodologías que aplican son más pluralistas.

El desarrollo de la biología –y otros campos de estudio– conduce a una gran especialización. Según que una persona se dedique a la fisiología vegetal, a la ecología marina o a la biología celular, sus preguntas serán diferentes. Sin embargo podemos recapitular algunas cuestiones que, a lo largo de la historia de la biología, han sido objeto de controversia. Conocer las respuestas distintas –o incluso contradictorias– que se han dado y los obstáculos que han debido superarse para construir determinadas teorías o conceptos, puede resultar útil para entender las dificultades que tienen los estudiantes. Algunas de estas preguntas son:

- ¿Qué es la vida? O, con más precisión, ¿en qué se diferencia lo vivo de lo inanimado?
- ¿Cuál es el origen de la vida? Es decir, ¿cómo apareció el primer ser vivo?
- ¿Cuál es el origen de las especies? Es decir, ¿cómo se ha originado la diversidad biológica?
- ¿Qué confiere a cada organismo su identidad específica y su identidad individual? En otras palabras, ¿por qué de los huevos de perdiz salen perdices, y por qué cada gato no es exacto a ningún otro?
- ¿Cómo tiene lugar el desarrollo? Es decir, ¿qué mecanismos son responsables de transformar en unas semanas un huevo en un pollito?
- ¿Qué relaciones tienen los seres vivos entre sí y con su medio? Por ejemplo, ¿qué relaciones hay entre hormigas, pulgones y rosales?

Se trata de una lista incompleta a la que podrían añadirse otras preguntas sobre «cómo», además de sobre «qué», por ejemplo sobre la organización celular, el metabolismo o el código genético. Algo que puede decirse observándola es que, como ha indicado Francis Crick (1979) muchas explicaciones en biología se preguntan dos cosas: por un lado, lo que es un sistema o cómo actúa; por otro, su origen, cómo ha llegado a ser lo que es. La cuestión del origen se refleja en las preguntas segunda y tercera y, en alguna medida, en la cuarta y quinta. Otro aspecto que tienen en común, sobre todo las tres primeras, es que se les dieron respuestas de carácter religioso, lo que influyó en el debate científico.

¿Qué es la vida? Vitalismo contra materialismo

En el capítulo dedicado a la comunicación y el lenguaje se citan los diferentes significados que el término *vivo* tiene en ciencias (opuesto a *inanimado*) y en la vida cotidiana (opuesto a *muerto*). No es extraño que durante mucho tiempo ambos se confundieran. La explicación, influida por la religión, de las diferencias entre vivo e inanimado era que los seres vivos poseían un alma o espíritu que dotaba de vida al organismo; si se separaba del cuerpo, éste perdía la cualidad de vivo y moría. Más adelante esta explicación intentó adoptar una terminología científica y se denominó *fuerza vital* a la entidad responsable de la vida; de ahí el nombre de *vitalismo* para designar a esta corriente.

Fueron los filósofos griegos Tales y Anaximandro los autores de las primeras explicaciones materialistas, al proponer que la vida era intrínseca a la materia, no una entidad diferente. En el siglo xvii, con la revolución científica, este materialismo, la idea de que la vida puede explicarse por las leyes de la física y la química, adoptó una perspectiva mecanicista y Descartes llegó a afirmar que los organismos (exceptuando al ser humano) funcionaban como máquinas. Como indica Mayr (1998), el mecanicismo tuvo el mérito de refutar el pensamiento mágico o sobrenatural, pero la reducción de los procesos de la vida a leyes físicas y químicas no resultaba satisfactoria.

Durante los siglos xviii y xix vitalismo y mecanicismo compitieron por definir la vida y, aún cuando los segundos refutaron la indetectable «fuerza vital», debían acudir a factores como una indefinida «energía» o el movimiento de los átomos. Los vitalistas propusieron nuevas entidades como el «protoplasma» específico de los seres vivos y los coloides. La síntesis en laboratorio de una molécula orgánica (la urea) a partir de compuestos inorgánicos, lograda por Wöhler en 1828, probó que no existía un abismo infranqueable entre materia orgánica e inorgánica, a pesar de que el propio Wöhler, influido por el vitalismo, se negase a interpretar sus resultados de esta forma, argumentando que en el carbono «no ha desaparecido el carácter orgánico» (Jacob, 1999), lo que muestra una vez más que los experimentos se interpretan siempre en el marco de una teoría.

Desde comienzos del siglo xx, abandonado el vitalismo, se aceptó que los procesos vitales a nivel molecular podían ser explicados recurriendo a la física y la química, pero en cada nivel de organización de los seres vivos aparecen características emergentes, nuevas, lo que se resume en la frase: «el todo es más que la suma de las partes», forma de pensar que ha recibido el nombre de *organicismo*. Por otra

Cuadro 1. Características específicas de los organismos vivos (de Mayr, modificado)

COMPOSICION QUIMICA	<ul style="list-style-type: none"> Los mismos componentes que la materia inanimada, pero organizados en moléculas específicas: proteínas, ácidos nucleicos, hormonas, etc.
ORGANIZACION	<ul style="list-style-type: none"> Sistemas complejos, ordenados, con capacidad de regulación; la célula, unidad de organización.
SISTEMAS ABIERTOS	<ul style="list-style-type: none"> Intercambian energía y materiales del medio.
CICLO VITAL	<ul style="list-style-type: none"> Los organismos pasan por secuencias precisas de etapas, por ejemplo: cigoto, embrión o larva y adulto.
REGULACION	<ul style="list-style-type: none"> Mecanismos reguladores y de control que mantienen el sistema en equilibrio dinámico.
PROGRAMA GENETICO	<ul style="list-style-type: none"> Las macromoléculas se sintetizan de acuerdo con las instrucciones del programa genético transmitido hereditariamente.
EVOLUCION	<ul style="list-style-type: none"> Los organismos cambian como resultado de la acción de la selección natural sobre incontables generaciones.

parte, como dice Jacob (1999) hay que tener en cuenta que el funcionamiento de los seres vivos sigue las leyes fisicoquímicas y además obedece a un segundo grupo de causas: las instrucciones del programa genético. Esto significa que definir los seres vivos implica tener en cuenta una serie de características específicas que siguiendo, con algunas modificaciones, a Mayr (1998) se resumen en el cuadro 1.

¿Cuál es el origen de la vida? Creación y generación espontánea

Este problema está ligado al anterior y, como ha señalado Oparin (1970) las dos posiciones sobre él pueden considerarse variantes de la generación espontánea, puesto que la idea de que los seres vivos con su compleja estructura hubiesen surgido por creación se diferencia de la generación espontánea apenas en la causa de la génesis. La noción de que los seres vivos (gusanos, insectos, ranas o ratones) podían surgir directamente del lodo, de los alimentos o de materia en descomposición aparece en el pensamiento cotidiano de numerosas culturas. Epicuro, en el siglo IV antes de Cristo postuló que nada nace de la nada, y su discípulo Lucrecio desarrolló esta idea en *De rerum natura*. Sin embargo, según Lucrecio los gusanos pueden surgir de la tierra y el estiércol con el calor, sin intervención de ninguna fuerza vital o principio sobrenatural. La idea de la generación espontánea continúa vigente en autores como Agustín de Hipona, para quien Dios puede hacer que los seres vivos nazcan a partir de semillas o de la materia inerte. En la Edad Media se admitía la existencia de crustáceos (*lepas*, semejante al percebe) que nacían en árboles o de corderitos que salían de calabazas. Van Helmont, en el siglo XVII, da una receta para obtener ratones a partir de un montón de granos de trigo.

La primera refutación experimental de la generación espontánea se debe a Francesco Redi, quien en 1668 (mientras estudiaba otro problema: si los insectos tienen reproducción sexual) muestra que las cresas o gusanillos blancos de la carne son larvas de mosca y que si se tapa la carne con una muselina, impidiendo que los huevos lleguen a ella, no aparecen gusanos. Sin embargo este experimento no acabó con la creencia en la generación espontánea, pues el propio Redi creía que los gusanos intestinales o las larvas xilófagas surgían por sí mismos (Oparin, 1970). Aunque a lo largo de los siglos XVIII y XIX numerosas observaciones llevan a abandonar la creencia de que vertebrados o insectos pudiesen surgir de la nada o de materia en descomposición, seguía persistiendo esta noción para los microorganismos entre naturalistas tan destacados como Buffon. En el siglo XVIII Needham y Spallanzani realizaron la misma experiencia –calentar caldo y taponarlo herméticamente– con resultados opuestos: en el de Needham aparecían microorganismos y en el de Spallanzani, no (lo que el segundo atribuía al insuficiente calentamiento por parte de Needham y a que tapaba los frascos, mientras que él los soldaba). Por supuesto, el primero era partidario de la generación espontánea y el segundo contrario a ella. La polémica continuó hasta 1862 en que Pasteur, mediante un brillante experimento, demostró que el caldo de un matraz se mantenía libre de microorganismos si, después de calentarlo, se le doblaba el cuello en «S», impidiendo el paso de los gérmenes del aire.

Con esto quedó resuelta una parte del problema, la que se refiere a los seres vivos actuales. Ahora bien, se mantenía otra incógnita: el origen del primer ser vivo. Como en otros problemas biológicos, el actualismo geológico, las teorías evolucionistas de Darwin, y en esta cuestión sobre todo de Lamarck, proporcionaron un marco diferente para abordarlo, al establecer una continuidad entre los primeros seres vivos y los actuales. En 1924 Oparin realizó una propuesta que pone como condición para la «síntesis primaria», o aparición de la vida, precisamente la inexistencia de vida anterior pues, por un lado si ahora se formasen compuestos orgánicos serían ingeridos por algún organismo, y en segundo lugar esta síntesis sería posible en una atmósfera reductora (que permitiría la formación de compuestos orgánicos del carbono), no en la actual atmósfera oxidante. Los trabajos de Oparin, Haldane y Urey fueron la base del experimento en el que Miller, siendo aún estudiante, logró en 1953 la síntesis abiótica de aminoácidos.

¿Cuál es el origen de las especies? Fijismo y evolucionismo

La teoría de la evolución ocupa un lugar central en la biología. Podemos decir que la biología como tal nace precisamente a mediados del siglo XIX cuando la historia natural, que había dedicado grandes esfuerzos a describir detalladamente plantas y animales, se convierte en una biología que pretende explicar los procesos y los fenómenos biológicos. Pero, además de constituir una revolución en la comunidad científica, el modelo evolucionista fue quizás la primera idea científica que tuvo un impacto inmediato en la opinión pública: *El origen de las especies* de Darwin se agotó el día de su aparición en 1859, y la polémica alcanzó un ámbito más amplio que los círculos científicos. El impacto se debió, en gran medida, a la percepción de que esta teoría cambia la posición del ser humano, haciendo de él un producto de la evolución emparentado con los restantes animales, con lo cual deja de ser una entidad «diferente» y superior.

La cuestión del origen del ser humano –que Darwin evitó discutir en *El origen de las especies*– ha ocupado y ocupa gran parte del imaginario colectivo sobre la evolución, oscureciendo la pregunta a la que pretende dar respuesta esta teoría: ¿cómo se han originado tantos tipos diferentes de seres vivos? En la mayoría de los libros de texto ni siquiera se alude a ella (Jiménez, 1990). A lo largo de la historia, esta pregunta recibió dos tipos de respuestas: las fijistas suponían especies inmutables, fijas, que habrían aparecido simultáneamente; más adelante algunos fijistas como Cuvier admitieron cambios o diferentes creaciones. Una variedad del fijismo es el creacionismo, apoyado en la autoridad de la Biblia, y en general en la ideología religiosa, que se opuso frontalmente al evolucionismo mediante propaganda, prohibiciones y condenas papales. Las conexiones entre la jerarquía religiosa y el poder político causaron que la enseñanza de la evolución estuviese prohibida en muchos países y aún hoy en día sea objeto de restricción en otros, entre ellos Estados Unidos. En España, donde se difundió en pocos años, además de prohibirse, hubo profesores apartados de la docencia por adherirse al darwinismo. Sober (1996) aclara que el creacionismo no fue una pseudociencia en el pasado pero sus hipótesis han sido refutadas científicamente, por lo cual hoy debe considerarse fuera del ámbito científico.

Las explicaciones evolucionistas, que suponían transformaciones o cambios en los organismos a lo largo del tiempo y parentesco entre ellos (es decir, que las especies actuales proceden de antepasados diferentes a ellas), son anteriores a Darwin y Lamarck. Lo que diferencia el modelo darwinista de otros anteriores es la propuesta de un mecanismo de cambio: la selección natural, basada en la variedad intraespecífica, la excesiva descendencia y la supervivencia diferencial, basada en Malthus. En *El origen de las especies* Darwin acepta como posibles otros mecanismos propuestos por Lamarck, como el uso y desuso o la herencia de los caracteres adquiridos. El desconocimiento de los mecanismos de la herencia (el trabajo de Mendel fue publicado en 1866 e ignorado por la comunidad científica hasta 1900) impidió a Darwin completar algunos aspectos del modelo, que fue reformulado a partir de 1937 cuando Dobzhansky mostró la compatibilidad entre los hallazgos de la genética y el evolucionismo. Esta reformulación, debida entre otros al propio Dobzhansky, y a Mayr y Simpson recibió el nombre de *teoría sintética* o *neodarwinismo*. Desde entonces la evolución por selección natural es la teoría aceptada por la comunidad de ciencias de la vida, aunque persisten los debates sobre mecanismos concretos.

La teoría de la evolución no es un descubrimiento parcial o una hipótesis específica, sino que supone una mirada diferente sobre los seres vivos, un cambio de paradigma, en el sentido de Kuhn, que transformó radicalmente las preguntas y los programas de investigación en biología. Como dice Sober (1996) pueden formularse preguntas evolucionistas acerca de cualquier fenómeno biológico. La evolución hace que tengamos que situar los seres y fenómenos biológicos en un proceso histórico. Como se trata más adelante, ello hace que los métodos históricos tengan una relevancia especial en biología. Es evidente la imposibilidad de realizar experimentos sobre problemas referidos al pasado. En cuanto a la enseñanza, la propia complejidad de los procesos evolutivos y del modelo de selección natural tiene relación con las dificultades de aprendizaje de la evolución.

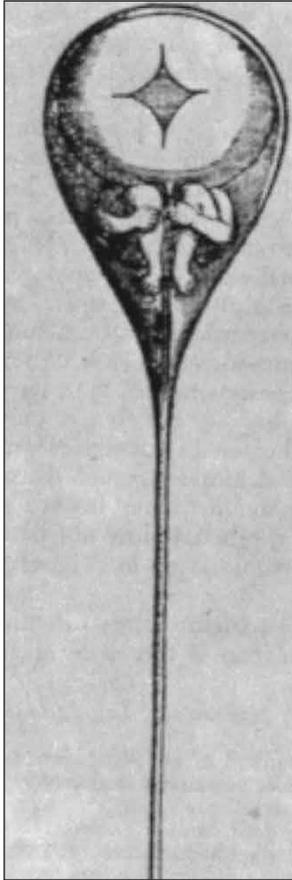
¿Cómo se transmiten los caracteres de una generación a otra? Herencia continua o discontinua. ¿Cómo se desarrolla un individuo? Epigénesis o preformismo

Abordaremos los demás problemas de forma más breve, comenzando por la transmisión de caracteres de progenitores a descendencia. Hasta mediados del siglo XIX algunas explicaciones propuestas eran la predominancia de un sexo (para Leeuwenhoek, en el siglo XVIII, los caracteres paternos predominan sobre los maternos); la mezcla o fusión entre caracteres paternos y maternos que proponía Buffon y el atavismo o reversión al tipo, que pretendía explicar la aparición en los descendientes de un carácter que no poseían sus padres, sino antepasados anteriores (lo que en época de Mendel se explicaba por la estabilidad de las especies que pugnaría contra su alteración por el cultivo y la hibridación). La capacidad explicativa de estas hipótesis se discute en otro trabajo (Jiménez, 1996b).

Mendel, como otros hibridadores de mediados del siglo XIX, pretendía explicar la variabilidad en la descendencia de los híbridos –es decir, en la F₂– y, debido a su formación matemática, formuló la pregunta en términos de las relaciones numéricas entre las diferentes formas (fenotipos) resultantes del cruce de híbridos. Como se menciona en el capítulo «Comunicación y lenguaje en clase de ciencias», realizó un novedoso tratamiento estadístico de los resultados, explicándolos por un modelo particulado (o discontinuo), es decir suponiendo que los «factores» (que hoy se identifican con los genes) responsables de los caracteres no se mezclan en los descendientes y que se transmiten de forma independiente; de las combinaciones entre los «factores» resultan las diferentes formas (fenotipos) posibles en la descendencia. Este genial trabajo pasó desapercibido desde 1866 hasta 1900, por varias razones (Jiménez y Fernández, 1987), entre las cuales se encuentra la falta de formación matemática de sus contemporáneos, que les impidió comprenderlo plenamente.

Otra cuestión difícil de resolver, relacionada con el problema de la herencia, era la del desarrollo. En un principio ambas se planteaban conjuntamente, en términos de quién es responsable del nacimiento de las crías. Las dos grandes tendencias fueron por un lado la *epigénesis*, o colaboración de los dos sexos cada uno con su simiente, propuesta ya en la antigüedad por Demócrito e Hipócrates, aunque en la mayoría de los casos se atribuía una importancia mayor a la aportación masculina (Giordan, 1988); y por otro el *preformismo*, para el que un solo progenitor era responsable del principio esencial, y que contó con dos variantes: los *ovistas* para quienes la cría está preformada en el óvulo, y el macho sólo participa como estimulante, y los *animalculistas*, para quienes la cría está en el espermatozoide («animáculo»), y el papel de la hembra sería alojarlo o proporcionarle alimento –que estaría en el óvulo–. La consecuencia lógica de estas teorías era que en la primera mujer (u hombre) estarían presentes en miniatura todas las generaciones, unas dentro de otras como muñecas rusas. Los preformistas llegaron a dibujar un homúnculo acurrucado dentro de un espermatozoide que aseguraban haber «observado» al microscopio (figura 1 en la página siguiente). Aunque hoy en día estas teorías pueden parecer descabelladas, los preformistas alegaban que era imposible que los complejos tejidos y órganos de los organismos se formasen a partir de principios elementales.

Figura 1. Homúnculo



La teoría celular, es decir, la noción según la cual todos los organismos están formados por células, propuesta por Schwann en 1839, proporcionó un nuevo marco en el que concebir como células tanto al espermatozoide como al óvulo. En 1876 Hertwig mostró que la fecundación implicaba la fusión de ambos núcleos en uno nuevo que a partir de ese momento se dividía para originar la cría. Los complejos mecanismos por los que células con idéntica dotación genética dan lugar a tejidos y órganos muy diferentes tuvieron que esperar al último tercio del siglo xx para ser desentrañados.

¿Qué relaciones tienen los seres vivos entre sí y con su ambiente?

La ecología es una ciencia de síntesis que procede de varias raíces independientes, entre ellas la descripción del paisaje, la biogeografía o la demografía. Para Giordan (1988) puede considerarse precursor a Linneo, con su concepción providencialista de la armonía de la naturaleza debida al designio divino, expresada en 1735 en su *Systema Naturae*. Un trabajo pionero es la *Geografía de plantas* de Humboldt, de 1805, que atribuye la distribución de los vegetales a la temperatura, la altitud y los factores físicos, mientras que otro gran impulso procede de Darwin, quien refutó el providencialismo, explicando la «armonía natural» en términos de competencia, predación o fecundidad, y estudió aspectos como la dependencia entre plantas e insectos o el papel de las lombrices en la formación del suelo. Una polémica que ha dividido a los ecólogos es la que enfrenta a los que

ven a la comunidad vegetal como una unidad y los que rechazan la existencia de estas comunidades así como de los ecosistemas, concibiendo la cubierta vegetal como un *continuum* que cambia gradualmente. En todo caso la ecología es un campo en expansión, que ha de ser tenido en cuenta en la resolución de los graves problemas originados por el impacto humano sobre el ambiente.

Métodos de investigación en biología: probabilismo, narración histórica

Aunque durante el siglo xx algunos autores han discutido el carácter científico de la biología, al no prestarse a una formulación mediante ecuaciones, tomaremos como punto de partida la noción de que la biología es una ciencia, un cuerpo organizado de conocimiento que pretende explicar el mundo de los seres vivos, y tra-

taremos brevemente, siguiendo a Mayr (1998), algunos de los aspectos metodológicos que le son específicos: la *narración histórica*, el *pluralismo causal*, el *probabilismo* y el *papel de los conceptos*.

Narración histórica y fenómenos únicos

Los seres vivos cambian continuamente, tanto a nivel individual como a lo largo de generaciones. Muchas de las preguntas que se hace la biología se refieren –como ocurre en geología– a fenómenos únicos e irrepetibles, por ejemplo: ¿por qué se extinguieron los dinosaurios? o ¿cómo se originaron los ojos de los cefalópodos?, cuyas respuestas no pueden formularse como leyes universales. El método apropiado en estos casos es el *histórico* y, aunque no sea posible «probar» que una explicación histórica es «cierta», la aceptación de una de ellas (por ejemplo, el impacto de un asteroide en la extinción de los dinosaurios) se produce cuando las pruebas disponibles la apoyan.

Pluralismo causal

Los seres vivos, las poblaciones, son sistemas muy complejos, y en las interacciones que tienen lugar en ellos no siempre es fácil identificar una única causa. ¿Por qué es muy alta determinada persona? Sin duda el genotipo, la combinación de genes, es parte de la explicación, pero también hay que tener en cuenta la alimentación, que, si es insuficiente, impide que se llegue a alcanzar esa estatura. Cuando se trata de interacciones entre dos o más individuos, que tienen varias opciones de actuación, resulta imposible predecir la cadena causal, aunque sí puede reconstruirse *a posteriori*. Lewontin (2000) apunta la distinción entre *causas* y *agentes*, indicando que los organismos cambian, pero también modifican el ambiente; relaciones genes/ambiente/organismo que denomina la *triple hélice*. También hay que tener en cuenta que los procesos o fenómenos biológicos tienen, como indica Mayr, dos tipos de causas: funcionales y evolutivas. Por ejemplo, podemos explicar el dimorfismo sexual, funcionalmente, como consecuencia de los cromosomas sexuales, de las hormonas, o evolutivamente.

Azar y probabilidad

En muchos casos las predicciones en biología sólo pueden expresarse como probabilidades. Por ejemplo, en genética, en la descendencia de un cruce de híbridos para un par de alelos dominante/recesivo, habrá una probabilidad del 75% para el fenotipo dominante y del 25% para el recesivo. Naturalmente esto significa que las frecuencias reales sólo se aproximarán a las esperadas en muestras grandes, mientras que en muestras pequeñas la distribución no tiene por qué cumplirse (aunque resulte frustrante para los padres que un tercer hijo sea del mismo sexo que los dos anteriores). Siendo la genética esencialmente probabilística, resulta difícil entender por qué los textos escolares presentan los resultados de los cruces de forma determinista. El probabilismo tiene relación con la multicausalidad a la que se hace referencia más arriba: de las distintas causas responsables de un fenómeno, algunas pueden depender del azar, así por ejemplo las mutaciones aleatorias, que tan importante papel juegan en la evolución.

El papel de los conceptos

Los conceptos juegan, como indica Mayr (1998), un papel fundamental en la formación de las teorías biológicas, mientras que en las ciencias físicas quizás este papel corresponda a las leyes. En cada campo de la biología hay una serie de conceptos específicos, por ejemplo *población*, *especie*, *selección*, *adaptación*, *célula*, *codón*, *mutación*, *antígeno*, *clonación*, y el desarrollo de algunos de ellos ha resultado crucial en la construcción de las respectivas teorías.

En resumen, la biología comparte con otras ciencias el hecho de plantear preguntas sobre el mundo natural y tratar de elegir la respuesta más adecuada entre varias posibles, teniendo en cuenta los datos disponibles. Pero esta elección y búsqueda de datos cuenta con aspectos metodológicos particulares que hay que tener en cuenta.

El aprendizaje de la biología: desafíos en el aula de secundaria

Los problemas de aprendizaje de la biología no han generado una literatura tan extensa como en física. En mi opinión, algunas razones de este hecho son que, al menos a primera vista, los resultados del aprendizaje de la biología son aceptables en parte de los temas y que sigue despertando el interés del alumnado a lo largo de la escolarización. En cuanto al aprendizaje de conceptos de biología, hay muchos, por ejemplo *ser vivo*, *animal* o *célula*, que no requieren el cambio conceptual profundo que Hewson denomina *intercambio* y otros autores *reestructuración*, sino más bien una diferenciación, extensión o ampliación de las ideas previas, lo que Hewson llama *captura conceptual*. Esta distinción entre ambos tipos de cambio conceptual se discute en otro trabajo (Jiménez, 1991). Esto no significa una ausencia de problemas, que existen por ejemplo en el aprendizaje de la genética, la evolución o la fotosíntesis, tanto en cuanto a la comprensión y uso de conceptos y modelos como en cuanto al desarrollo de destrezas o de actitudes. A continuación se presenta un análisis didáctico de algunos temas, en primer lugar para secundaria obligatoria y a continuación para bachillerato aunque, por supuesto, algunos se tratan en ambos niveles educativos. En el cuadro 2 se resumen algunos ejemplos de dificultades en una selección de temas relevantes en el currículo de secundaria obligatoria, teniendo en cuenta que se pretende la mayor especificidad posible, por lo que no se incluyen dificultades sobre procedimientos y actitudes comunes a las ciencias experimentales, como cuidado del material de laboratorio, o rigor en el registro de datos, o generales para la biología, como respeto por los seres vivos.

Al ser imposible tratar todos los temas con detalle, se discuten a continuación dos ejemplos: los *seres vivos* y la *ecología*, en cada uno de los cuales se analizan los problemas en cuanto a conceptos, procedimientos y actitudes así como algunas sugerencias para abordarlos en el aula. La nutrición es objeto de un exhaustivo análisis por Banet (2001). En cuanto a la fotosíntesis una propuesta original es la de Barker y Carr (1989) en la unidad *¿De dónde viene la madera?* En la actualidad hay disponibles numerosas guías que ayudan a la identificación de plantas o animales en una localidad, o incluso en un parque.

Cuadro 2. Algunos ejemplos de dificultades de biología en secundaria obligatoria

TEMA	DIFICULTADES DE APRENDIZAJE
Los seres vivos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Conceptos</i>: confusión entre atributos de vivo y de animal; presencia no universal de células; «vivo» restringido a «animal»; creencia en generación espontánea (microorganismos). ▪ <i>Procedimientos</i>: clasificación siguiendo criterios de semejanza morfológica; dificultades en la identificación con claves. ▪ <i>Actitudes</i>: insuficiente respaldo conceptual al mantenimiento de diversidad; sesgo hacia problemas más publicitados (pieles); identificación de microorganismo con «perjudicial».
Plantas y fotosíntesis	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Conceptos</i>: atribución de presencia de flores y frutos sólo a plantas que los tienen conspicuos; confusión fruto/fruta; las plantas se «alimentan» del agua, la tierra. ▪ <i>Procedimientos</i>: dificultades en la identificación de plantas del entorno. ▪ <i>Actitudes</i>: falta de interés por la conservación de plantas; no inclusión de conocimientos sobre árboles en la «cultura general».
Animales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Conceptos</i>: «animal» restringido a vertebrados/mamíferos; antropomorfismo. ▪ <i>Procedimientos</i>: dificultades en la identificación de animales comunes del entorno. ▪ <i>Actitudes</i>: desinterés por la conservación de insectos.
Ecología	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Conceptos</i>: ecosistema restringido a seres vivos; percepción lineal de las relaciones (cadenas, no redes); concepción estática. ▪ <i>Procedimientos</i>: dificultades en la interpretación de redes alimentarias; en la escala de tiempo, en atribución causal. ▪ <i>Actitudes</i>: «problema ambiental» restringido a contaminación, escasa atención a recursos, sobre todo abióticos; dificultades para aceptar la propia responsabilidad personal.
El ser humano y la salud	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Conceptos</i>: confusión entre nutrición y alimentación; papel de la nutrición restringido a aporte de energía, ignorando nutrientes plásticos; confusión excreción/defecar; creencias inadecuadas sobre dieta equilibrada; insuficiente conocimiento sobre reproducción, embarazo, ETS; estereotipos sobre contagio. ▪ <i>Procedimientos</i>: dificultades para la interpretación del etiquetado de alimentos. ▪ <i>Actitudes</i>: falta de disposición a seguir una dieta equilibrada de forma continuada; estereotipos sobre sexualidad y roles de género.

Los seres vivos

En cuanto al aprendizaje del concepto de *ser vivo*, las dificultades para explicar las diferencias entre vivo e inanimado discutidas en el primer apartado pueden ilustrar algunos problemas que este concepto presenta para los adolescentes, como la aplicación del mismo a objetos inanimados (Osborne y Freyberg, 1991). Algunas de estas dificultades pueden deberse a la coexistencia de dos significados: *vivo* opuesto a *inanimado* (en el contexto de ciencias), y *vivo* opuesto a *muerto* (en el contexto cotidiano). A partir de los 12 años esta confusión debería estar superada para la mayoría del alumnado por un proceso de ampliación (captura conceptual); sin embargo continúan otros problemas, por ejemplo en cuanto a:

1. La identificación de los atributos de los seres vivos, es decir, los rasgos que permiten diferenciar a los seres vivos de los inertes, por ejemplo los del cuadro 1 de la página 124.
2. Establecer una identificación de «ser vivo» con «animal», negando atributos de los seres vivos a plantas o a microorganismos.

Una actividad que tiene por objetivo movilizar las ideas del alumnado sobre estas cuestiones es la siguiente (ACES, 1997, unidad *¡Viva la diferencia!*):

¿Son seres vivos las habichuelas?

- *Material:* un puñado de habichuelas
- La pregunta que se plantea es: *¿son seres vivos?*

Para responderla debéis argumentar vuestra opinión y anotar las razones que dais. Si no llegáis a acuerdos en el equipo, anotad los argumentos a favor y en contra de las diferentes posturas.

Diseñad una experiencia o comprobación que permita saber si estáis en lo cierto (o quién del equipo tiene razón).

Díaz de Bustamante (1992) muestra que el grado de utilización de criterios o atributos aceptables (nacen, se reproducen... o comen, respiran) es alto desde los 12 años, aunque hasta los 15 más del 60% utiliza al mismo tiempo criterios alternativos. Pero sólo una pequeña proporción, entre el 18% (universidad) y el 1% (12 años) mencionan que están formados por células. Entre los atributos alternativos citan funciones y actividades animales (ver, oír...) o humanas (pensar, recordar...); cuando dicen «se mueven» es difícil saber si se refieren al desplazamiento o a movimientos como los tropismos. En otras palabras, decir que identifican «ser vivo» con «animal», no significa que ante la pregunta directa: *¿son seres vivos las plantas?* respondan negativamente, sino que no tienen en cuenta a las plantas. Caballer y Giménez (1992) muestran que el 86% del alumnado de 13 años responde que los animales sí están formados por células, mientras que sólo el 59% afirma lo mismo respecto a los vegetales. Hay que insistir, pues, en la necesidad de incluir en la instrucción ejemplos y experiencias sobre plantas.

La actividad pretende movilizar sus ideas sobre los seres vivos, provocar que las apliquen; por ello se utiliza una cuestión problemática. Si el organismo fuese claramente «vivo» o «no vivo» para todos, no habría discusión en el grupo. Otro objetivo

es que, al discutir las razones por las que consideran (o no) que las habichuelas son seres vivos, elaboren un listado de rasgos que, según ellos, los caracterizan.

En cuanto al desarrollo de destrezas de clasificación y determinación, conviene mencionar la confusión entre ambas. *Clasificar* significa agrupar a los organismos en categorías taxonómicas (como hicieron Linneo o Lamarck, entre otros). Lo que suele hacerse en las clases de ciencias es determinar, es decir *identificar* a qué categorías pertenece un organismo (sea árbol, insecto, etc.) clasificado con anterioridad. Ambas destrezas, clasificar y determinar, son objetivos de las ciencias, pero conviene aclarar cuando trabajamos una u otra. Las destrezas de determinación y el trabajo con claves suelen figurar como objetivo en el currículo de ciencias y, aunque en la reforma de la ESO de 2000 no se incluyen referencias explícitas a los procedimientos, puede deducirse que los contenidos sobre clasificación y taxonomía (por ejemplo, en primer curso y en la biología y geología de 1.º de bachillerato) implican el desarrollo de las destrezas correspondientes. Sin embargo, parece que no siempre se trabajan en el aula. Sahuquillo, Jiménez y Díaz (1993) han encontrado que en 2.º y 3.º de la licenciatura en biología sólo un 22% y un 8% de los estudiantes dicen haber empleado claves en el bachillerato, dato confirmado por el bajo grado de acierto en tareas con ellas.

El desarrollo de destrezas pasa por ejercitarse en el uso de las mismas; en este caso por realizar actividades de clasificación, y por determinar organismos haciendo uso de claves sencillas. Un ejemplo de lo primero, tomado de la unidad *¡Viva la diferencia!* (ACES, 1997) es la siguiente:

Clasificando conchas

- *Material:* conchas de bivalvos de diferentes tipos (una bandeja con 20 o 30 ejemplares para cada equipo).
1. Cada equipo debe *clasificar* (es decir, hacer grupos) las conchas que tiene utilizando los criterios que establezca, por ejemplo: forma, simetría, color, tamaño, textura etc. Hay que tener en cuenta que deben ser criterios *observables* en los ejemplares (así, no es válido si es o no comestible). Debe establecer al menos tres niveles de clasificación y asignarle un código a cada grupo y subgrupo; por ejemplo si el primer criterio es la textura y el segundo el color, los grupos podrían ser: *A* lisas y *B* estriadas o rugosas; *A1* lisas blancas, *A2* lisas estriadas, etc.
 2. Distribuid los grupos en la mesa y escribid sólo los códigos (*A1*, *B2*, etc.) en una etiqueta junto a cada uno. Escribid en un papel los criterios y lo que significa cada código y entregadlo al profesor o profesora.
 3. Los equipos se cambian de mesa, rotando, y cada equipo debe intentar averiguar los criterios que ha utilizado el anterior en su clasificación. Al final lo comparan con lo escrito en el papel y, si es necesario, piden aclaraciones.

En esta actividad hemos escogido a propósito un material más homogéneo que en otras, en las que se usan organismos de distintos grupos, para que los alumnos tengan que proponer sus propios criterios de agrupamiento o clasificación. En lugares del interior puede realizarse con hojas, setas, gramíneas, etc. Para la identificación es conveniente utilizar claves sencillas de plantas o animales del entorno.

Es lógico que los alumnos, al identificar organismos, presten atención a aspectos morfológicos: el primer criterio utilizado en la clasificación fue la semejanza externa. Aristóteles incluía en el mismo grupo a insectos y lombrices por tener cuerpo segmentado, y usaba otro criterio de tipo jerárquico: la «escala natural», con un orden creciente de «perfección». En su *Historia de los animales* los clasifica en dos grupos: con sangre y sin sangre, con subdivisiones que persisten apenas modificadas hasta Ray en el siglo XVII como se ve en el cuadro 3.

La clasificación de Aristóteles tiene aspectos más modernos que la de Ray, al incluir en los cuadrúpedos vivíparos a cetáceos, focas y murciélagos. En el siglo XVI se realizaron clasificaciones de influencia platónica, que incluían en los peces toda clase de animales acuáticos: crustáceos, moluscos, ranas, cetáceos, castores (por lo que la Iglesia autorizó a comerlo durante la Cuaresma); entre los reptiles a los caracoles; entre las aves a moscas, abejas y murciélagos. Parecen deber menos a la observación que la de Aristóteles.

La nomenclatura binomial y la clasificación taxonómica que utilizamos fueron creadas por Linneo en 1758, aunque la clasificación ha sufrido modificaciones y hoy se emplean frecuentemente cinco reinos (Margulis y Schwartz, 1985).

Algunos ejemplos de actitudes específicas relacionadas con este tema pueden ser la conciencia de la importancia de la conservación de las especies y la apreciación de las ventajas y los inconvenientes que comporta el uso de animales por la especie humana. Parece importante plantear estas cuestiones huyendo de posiciones simplistas, discutiendo en clase los aspectos positivos y negativos que presentan, y proporcionando una información adecuada. Un ejemplo de actividades pueden ser las siguientes:

- Proponed tres argumentos para justificar por qué es necesario el mantenimiento de la diversidad de los seres vivos.
- Discutid las ventajas e inconvenientes de las medidas para favorecer el mantenimiento de la biodiversidad.
- La clase se divide en dos mitades. Una mitad representa a una asociación opuesta a la experimentación con animales y la otra a una asociación de enfermos que está a favor. Cada grupo debe buscar (con ayuda de documentación) argumentos para defender su postura.

Cuadro 3. Clasificación de Ray (de Jahn y otros, 1990)

CON SANGRE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cuadrúpedos. ▪ Aves. ▪ Reptiles (incluyen anfibios). ▪ Cetáceos (Aristóteles en cuadrúpedos). ▪ Peces.
SIN SANGRE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Moluscos (cefalópodos). ▪ Crustáceos. ▪ Bivalvos. ▪ Insectos (incluyen gusanos).

La conservación de las especies no parece ser uno de los problemas que más preocupa a los adolescentes. En el estudio de Stanisstreet y otros (1993) mientras que el 75% son contrarios a la cría intensiva de animales para comida o uso de la piel, menos del 50% piensan que *todos* los animales deben ser conservados, quizás porque es una cuestión más abstracta. Sin embargo, como indica Delibes (2001) el uso de piel de codrilo puede permitir el mantenimiento de marismas en Louisiana o de selvas en Indonesia, mientras que su prohibición podría llevar a la sustitución de esos ecosistemas naturales por cultivos. En un estudio de Millett y Lock (1992) sobre el uso de animales se ponen de manifiesto algunas confusiones: más de la mitad no cree (o no está seguro) que la experimentación con animales haya mejorado la vida de las personas.

Ecología y medio ambiente

A pesar de que la ecología recibe gran atención de los medios, muchos de sus conceptos son utilizados de forma distorsionada y es frecuente encontrar en el alumnado, junto con una gran motivación hacia este tema, un cierto número de dificultades. En primer lugar hay que tener en cuenta la complejidad de los conceptos ecológicos; por ejemplo, comprender las redes alimentarias de un ecosistema implica: identificar los niveles alimentarios, las conexiones entre ellos, el reconocimiento de que estas conexiones no son lineares (cadenas) sino ramificadas (redes), y la comprensión de que las relaciones no se establecen entre individuos, sino entre poblaciones. Diversos trabajos se han ocupado de estos problemas, como Fernández Manzanal y Casal (1995).

Una actividad de exploración de ideas puede ser la siguiente:

¿Qué compone un ecosistema?

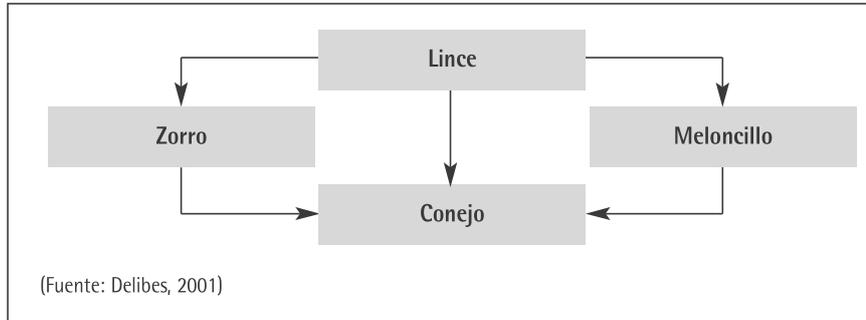
Tomad como ejemplo un ecosistema que conozcáis bien, por ejemplo un bosque, la zona intermareal en una playa, una charca...

1. Haced una lista de *componentes* de ese ecosistema (al menos 10).
2. ¿Qué *relaciones* tienen estos componentes entre ellos? (por ejemplo quién se alimenta de quién). Tratad de representarlo en un esquema.

Algunas dificultades que se ponen de manifiesto son, en cuanto a la primera pregunta, que en muchas listas no aparecen componentes abióticos. Les cuesta tener en cuenta que en la playa hay agua, arena, rocas, luz del sol o aire como parte del ecosistema. En cuanto a la segunda, no tienen muy en cuenta las interacciones entre componentes abióticos y seres vivos, sino sólo entre éstos; representan las relaciones como cadenas y raramente como redes y tienden a ignorar a los descomponedores y su papel.

En cuanto a las destrezas vinculadas a estos conceptos, Fernández y Casal (1995), analizan la interpretación de las redes alimentarias. Determinar el efecto de un cambio en la población predadora sobre la población presa resulta relativamente sencillo (a la inversa menos), pero no ocurre lo mismo si la segunda población no está en la misma cadena, en casos en que el efecto puede transmitirse por más de una ruta. Para poner de manifiesto la complejidad de las redes, proponemos la siguiente actividad, a partir de la figura 2 de la página siguiente.

Figura 2. Red alimentaria en Doñana



La figura representa parte de una red alimentaria en el parque de Doñana, en la que las flechas indican quién come a quién, lince a zorros, meloncillos y conejos; zorros y meloncillos a conejos. Teniendo en cuenta esto, ¿qué crees que les ocurrirá a las poblaciones de conejos en las áreas donde no hay lince? ¿Aumentarán o disminuirán? Razónalo.

Puede que parte de los biólogos que no sean especialistas en el tema dijese, igual que los alumnos, que los conejos aumentarán. Sin embargo, como ha mostrado Palomares (citado en Delibes, 2001), el efecto de la disminución de los lince es justamente el contrario, ya que su presencia reduce el número de los otros predadores, lo que se conoce como *cascada trófica*. Hay que tener en cuenta, no sólo el efecto directo (lince/conejo) sino otros transmitidos a través de la red.

El aprendizaje de la ecología, además de la resolución de problemas abiertos, debe incluir salidas al campo y pequeños estudios (por ejemplo de un muro, un solar, líquenes) como indicadores del grado de contaminación en distintos puntos de una ciudad o propuestas como las del proyecto CAMBIO (Fernández Rojero, 1993).

En la ecología se ponen de manifiesto aspectos metodológicos característicos de la biología, como el *pluralismo causal*. La siguiente actividad puede ayudar a que el alumnado comprenda que en muchos casos un efecto se debe a la interacción de distintos factores.

¿Por qué desaparecen las ranas?

Desde 1989 los herpetólogos advierten de una disminución alarmante de las poblaciones de anfibios (ranas, sapos, salamandras, tritones) en distintos lugares de Centroamérica, Australia, o Europa.

Algunas causas propuestas fueron:

- La contaminación del agua por pesticidas o abonos (nitratos, nitritos).
- La acidificación, apoyada en que pequeños cambios de pH pueden impedir la reproducción de algunas especies, o el desarrollo de los renacuajos.
- La disminución de la capa de ozono y el consiguiente aumento de la radiación ultravioleta, apoyada en que esta radiación es dañina para los renacuajos.
- El cambio climático que conduce a elevación de las nubes y reducción de la humedad.

Algunos de estos factores son tolerados por separado, pero no combinados.

En 1998 un equipo dirigido por Rick Speare mostró que las muertes en Australia se debían a una infección por el hongo quitridium (*Bachachotrydium dendrobatidis*), que desde entonces se ha identificado como responsable del declive en distintos países. En España, Bosch y colaboradores han mostrado la relación entre el quitridium y la práctica desaparición del sapo partero en Peñalara. La cuestión es la siguiente: ¿afecta el quitridium a los anfibios en condiciones naturales? ¿o bien sólo son vulnerables cuando hay una alteración del medio? Según Speare parece probable lo segundo.

- ¿Puede decirse que este declive se debe a la acción humana? Razona tu respuesta. ¿Qué medidas habría que tomar para recuperar estas poblaciones?

Se trata de un problema complejo ante el que acciones encaminadas hacia un solo factor pueden ser poco efectivas. Otro problema en el que se muestra la dificultad de la atribución causal única es la disminución en Australia del pequeño marsupial ualabí o rata-canguro (Calver y otros, 1998), atribuida en principio a la predación por los zorros introducidos por los europeos. Aunque puede ser uno de los factores hay que tener en cuenta otros como la degradación del hábitat, las consecuencias del pastoreo y la ganadería intensiva o la competencia por el alimento por parte de herbívoros introducidos (ratones, conejos).

Otras cuestiones tienen que ver con la dificultad de razonar en términos de poblaciones (Berzal y Barberá, 1993), lo que también interfiere en el aprendizaje de la evolución. La interpretación que se da a las relaciones entre los organismos está cargada de finalismo.

Por ejemplo a la pregunta: «En la Tierra hay muchos tipos distintos de animales y vegetales, muchas especies. ¿Cómo explicas esta diversidad?», parte del alumnado responde «porque unos se necesitan a otros», «para nuestro bien y el de la naturaleza», «para mantener el equilibrio ecológico» (Jiménez, 1990). Llamamos «ecologicistas» a respuestas como éstas en las que un objetivo de finalidad se erige en factor causal, llevando ideas de la ecología (o del ecologismo) más allá de su campo de validez.

Esto nos lleva a la cuestión de las actitudes y valores, que en este tema cobra especial relevancia, pues si la educación ambiental debe impregnar todas las áreas transversalmente, parece inconcebible tratar de los ecosistemas sin hacer referencia a su equilibrio y al impacto humano en ellos.

En nuestra opinión (Pereiro y Jiménez, 2001) para traducir los valores ambientales en toma de decisiones y comportamientos coherentes deben fundamentarse en conocimientos y no estar guiados por meras opiniones. Cristina Pereiro muestra en su tesis doctoral cómo los estudiantes de bachillerato son capaces de evaluar un proyecto (real) de saneamiento ambiental movilizándolo conceptos de ecología.

Aunque una discusión detallada sobre la educación ambiental excede el propósito de este capítulo, cabe señalar que la percepción de los problemas ambientales por el alumnado (y probablemente por el público en general) es simplificadora y sesgada hacia los problemas de degradación (Jiménez, Federico y Lima, 2001), ignorando o prestando mínima atención a recursos como el agua o el suelo. Otra cuestión

que merece atención es la dificultad para aceptar la propia responsabilidad en los problemas del medio. A continuación se incluye una actividad utilizando datos de Delibes (2001).

¿Gatos sí o gatos no?

En varias islas de Canarias (Tenerife, Hierro, Gomera) subsisten pequeñas poblaciones de lagartos gigantes. Pero su existencia está amenazada por los gatos cimarrones, abundantes en todas ellas. Algunas personas han propuesto eliminar a los gatos (especie introducida) de las islas, para asegurar la supervivencia de la fauna autóctona.

Las sociedades protectoras de animales se han opuesto a esta propuesta en varios países (por ejemplo, Australia) alegando los derechos animales.

Otras propuestas intermedias consistirían en registrar a los gatos y eliminar a los que no tuviesen dueño, prohibirlos durante la noche o castrar a los machos. Todas ellas tendrían un coste elevado (a pagar por los contribuyentes).

Por otra parte, como indica Delibes, la eliminación de los gatos puede llevar a un aumento explosivo de ratas y ratones (también introducidos), en la actualidad controlados por los felinos.

- Escribe dos (o más) razones a favor y otras tantas en contra de erradicar los gatos. ¿Se te ocurre alguna propuesta alternativa para conservar los lagartos?

La biología en el bachillerato: la era de Dolly

Si la biología en la secundaria obligatoria presta más atención al nivel de los organismos, el que resulta más inmediato para el alumnado, los contenidos del bachillerato se centran sin embargo en el nivel celular. La investigación educativa ha detectado algunos problemas de aprendizaje sobre los temas tratados en este tramo y algunos de ellos se resumen en el cuadro 4.

Estudios de diferentes países coinciden en señalar las mayores dificultades en los temas de genética y evolución, muy relacionados entre sí. Las dificultades de aprendizaje de la genética, incluyendo la resolución de problemas, han sido estudiadas por Ayuso y Banet (Ayuso, 2002; Ayuso, Banet y Abellán, 1996). Por razones de espacio, abordaremos únicamente el aprendizaje de la selección natural y la biotecnología como ejemplo de cuestión biológica de fuerte impacto social.

El cambio biológico

La interpretación de los cambios que han experimentado las especies a lo largo del tiempo como un proceso de selección natural constituye un modelo de gran potencia que ha generado, como se discutía más arriba, transformaciones en las propias teorías e investigaciones en biología, así como en la forma de contemplar el mundo y la posición de los seres humanos en él. Sin embargo, como han mostrado diversos estudios, en castellano Jiménez (1990, 1991) o Manuel y Grau (1996), el aprendizaje de la evolución tropieza con numerosos obstáculos.

Para discutir estas dificultades una actividad que resulta productiva en el aula es el análisis de noticias de prensa, como las que se muestran en la página 140.

Cuadro 4. Algunos ejemplos de dificultades de biología en el bachillerato

TEMA	DIFICULTADES DE APRENDIZAJE
La célula	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Conceptos</i>: célula tridimensional <i>versus</i> célula plana; membrana celular como límite pasivo; períodos de «inactividad» entre mitosis; confusión niveles de microscopía óptica y electrónica. ▪ <i>Procedimientos</i>: dificultades de interpretación de muestras con el microscopio; atribución de rasgos macroscópicos.
Fisiología	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Conceptos</i>: falta de integración entre digestión, circulación y respiración; vasos y órganos «impermeables»; fotosíntesis como intercambio de gases; oposición anabolismo «bueno» con catabolismo «malo». ▪ <i>Procedimientos</i>: interpretación de diagramas e imágenes. ▪ <i>Actitudes</i>: hábitos alimentarios inadecuados; escasa capacidad de crítica ante supuestas dietas milagrosas.
Genética	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Conceptos</i>: confusión gen/alelo; determinismo <i>versus</i> probabilismo; atribución del origen del fenotipo sólo al genotipo; confusión células somáticas/gametos; significado diploidía, cromosoma, meiosis. ▪ <i>Procedimientos</i>: resolución mecánica de problemas siguiendo un algoritmo; dificultades con problemas abiertos. ▪ <i>Actitudes</i>: reconocimiento de las dimensiones sociales y éticas de la manipulación genética.
Evolución	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Conceptos</i>: cambios individuales <i>versus</i> cambios de poblaciones; adaptación «a medida» <i>versus</i> supervivencia de los más aptos; herencia de caracteres adquiridos; atribución de homogeneidad genética a las poblaciones. ▪ <i>Procedimientos</i>: aplicación del modelo de selección natural a situaciones de cambio biológico. ▪ <i>Actitudes</i>: delimitar campo de creencias de modelos y teorías científicos.
Enfermedades infecciosas, inmunología	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Conceptos</i>: confusión sobre el papel de los microorganismos; confusión entre resistencia e inmunidad; falta de distinción funcional bacterias/virus. ▪ <i>Procedimientos</i>: dificultades en la interpretación de las instrucciones en medicamentos. ▪ <i>Actitudes</i>: automedicación; uso inadecuado de antibióticos; prejuicios sobre contagio.

Lee estas dos noticias sobre resistencias a los insecticidas y a los antibióticos.

1. Sobre el incremento de la resistencia a los insecticidas, una doctora, especialista en salud pública, explica por qué desaconseja las colonias: «Dejas poca cantidad de insecticida en el pelo, de manera que el piojo, lejos de morir, aprende y se hace resistente». (*El País*, 11-4-2000)

2. El microbio que provoca la tuberculosis contraataca cuando la mayoría de los países industrializados creían derrotada la enfermedad. El *Mycobacterium tuberculosis*, que fue una plaga a principios de siglo, vuelve reforzado por el aprendizaje de décadas en contacto con antibióticos. Este desembarco de cepas resistentes a un extenso arsenal de medicinas preocupa a los investigadores. (*El País*, 5-10-1992)

- ¿Qué opinas de la explicación que se da en 1? ¿Y en 2? ¿Serías capaz de explicar alguno de estos dos problemas, o los dos, de otra forma?

A la mayoría del alumnado de bachillerato le resulta difícil criticarlas o dar una explicación acorde con el modelo darwinista, porque las interpretaciones antropomórficas y lamarckistas, como las que en ellas se expresan, son las más frecuentes. Discutirlas puede ser útil además para poner de manifiesto que la selección natural continúa actuando, que no es cosa del pasado y que puede tener grandes implicaciones sociales. Para analizarlas, comparemos, en el cuadro 5, algunas de las ideas centrales en el modelo darwinista con las del modelo lamarckista.

Cuadro 5. Ideas centrales de las interpretaciones darwinista y lamarckista

IDEAS CENTRALES	MODELO DARWINISTA	MODELO LAMARCKISTA
Variabilidad	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hay diferencias heredadas entre los individuos de una misma especie, no son idénticos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Todos los individuos de una especie adquieren o pierden un rasgo a la vez.
Excesiva descendencia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En la mayoría de las especies nacen muchos más descendientes de los que pueden sobrevivir. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Los descendientes de los seres vivos sobreviven todos o casi todos.
Supervivencia diferencial	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Los individuos que presentan cierto rasgo (mejor adaptados) aportan más descendientes a la siguiente generación (preadaptación). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Todos los individuos están un poco más adaptados en cada generación, «acostumbrándose» al medio (postadaptación).
Cambios en la población	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cambia la población, aumentando o disminuyendo la proporción de individuos con uno u otro rasgo (portadores de uno u otro alelo). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cambian los individuos adquiriendo o perdiendo un rasgo dado.

Una explicación darwinista de la resistencia de piojos o bacterias haría referencia al elevado número de descendientes de estos organismos y a la supervivencia diferencial de portadores de un rasgo (antes de la exposición al insecticida o antibiótico) lo que daría lugar a una nueva población formada por sus descendientes en la que los no resistentes habrían muerto.

Sin embargo las dos noticias ofrecen interpretaciones de las denominadas *lamarckistas* (aunque ello no haga justicia a Lamarck) que explican la supervivencia en términos de herencia de caracteres adquiridos («aprende y se hace resistente»), expresando una idea de la adaptación similar a la del alumnado cuando dice que es «acostumbrarse» al insecticida. El cambio en la población se atribuye, no a cambios de frecuencias entre resistentes y no resistentes, sino a cambios individuales en organismos que pasarían a ser resistentes en respuesta a la exposición al insecticida o antibiótico («reforzado por el aprendizaje de décadas en contacto con antibióticos»). Cierto que esta exposición, sobre todo cuando se hace de forma inadecuada como ocurre con los antibióticos (abuso, tomándolos para cualquier pequeña dolencia, incluso vírica, dosis insuficientes, o período de medicación menor que el prescrito), puede causar la muerte de los organismos sensibles y favorecer el aumento en las poblaciones de individuos resistentes que, aunque originariamente constituyesen una pequeña proporción, son ahora los únicos que tienen oportunidad de reproducirse sin competencia.

¿Por qué es tan difícil aplicar el modelo de selección natural a situaciones de cambio biológico? Algunos obstáculos, como las mutaciones o la herencia de los caracteres adquiridos tienen que ver con la genética, otros se resumen en el cuadro 5. Muchas de estas ideas no se enuncian, sino que forman parte del razonamiento implícito que respalda una determinada interpretación:

1. *¿Variabilidad o uniformidad?*: se cree que los individuos se transforman quizás por no comprender que algunos pueden poseer determinada característica (resistencia). Suele pensarse en la herencia como un mecanismo que conserva las semejanzas y no las *diferencias*.
2. *Excesiva descendencia*: requisito para la supervivencia diferencial (si todos sobreviven las proporciones no cambian). La experiencia (especie humana, animales domésticos) puede llevar a creer que la supervivencia de todas las crías es lo normal.
3. *Supervivencia diferencial*: idea clave para comprender la selección natural, pero es más intuitiva la creencia en cambios individuales y graduales, «cada vez» «un poco más» (resistentes, oscuros, etc.)
4. *Cambios en la población*: probablemente resulte difícil conceptualizar procesos que, a escala de la vida humana, son imperceptibles.

¿Son todas las situaciones de cambio biológico igualmente difíciles de interpretar? Puesto que la interpretación requiere integrar estas complejas ideas, no es extraño que sea difícil aplicarlas a otros contextos. Las dificultades de transferencia pueden tener que ver con aspectos como la percepción de vertebrados e invertebrados. Así, el caso de los insectos es más difícil de interpretar que la cuestión de si unos ratones nacerán sin cola tras cortársela durante varias generaciones. En la mayoría

de los ejemplos de los libros la población, después de cambiar, presenta un rasgo que supone una ventaja: color más oscuro en un ambiente contaminado (polilla geométrica) o patas más largas. En nuestra experiencia problemas que presentan el caso opuesto, como el color amarillo de los pollitos criados en granja, resultan más difíciles para el alumnado.

¿Qué podemos hacer en clase ante estas dificultades?

Deben abordarse de forma explícita las interpretaciones lamarckistas. Más que pedir al alumnado que resuelva un problema, para a continuación hacerles ver que están «equivocados», se trata de poner de manifiesto que hay interpretaciones distintas, y que fueron aceptadas en otro tiempo. Sin embargo, muchos textos no atienden a estas cuestiones. Solicitar la interpretación de distintos ejemplos desde el modelo darwinista y desde el lamarckista ayuda a que sean conscientes de qué perspectiva usan, de su propio perfil conceptual (Mortimer, 2000), contribuir a que controlen su aprendizaje. Es importante que los problemas a resolver y los casos a interpretar estén situados en contextos variados: animales y plantas, vertebrados e invertebrados, cuestiones anatómicas, cambios de tamaño, forma, color, y fisiológicas; rasgos que constituyen una ventaja y otros que, en un ambiente dado, resultan indiferentes. También es conveniente incluir actividades de simulación que faciliten la aplicación del modelo y, como se ha indicado, la prensa y la actualidad científica proporcionan nuevos casos que interpretar.

¿Por qué hemos perdido olfato?

La secuencia del genoma humano, hecha pública en 2001, ha deparado algunas sorpresas. Una de ellas es que las diferencias en el número de genes entre el ser humano (alrededor de 30.000, muy lejos de los 100.000 previstos) y organismos como la mosca o un gusano (20.000) no es tan grande como se creía. Otra es una gran cantidad de ADN que no codifica proteínas, sino que, tras copiarse una y otra vez y experimentar mutaciones, ha quedado inutilizado (el llamado «ADN basura»). Un caso curioso es el olfato:

[Nuestros] antepasados usaban alrededor de 1.000 genes en relación con el olfato. Pero en los últimos 10 millones de años, alrededor de 600 de esos genes de los receptores olfativos se han perdido. El genoma humano indica que nuestro sentido del olfato ha disminuido. Normalmente cuando un gen no se necesita es rápidamente destruido al copiar errores. (Mark Ridley, TLS, 19 octubre 2001)

- ¿Cómo explicas ese cambio en los genes del olfato?

Aunque la evolución no es fácil de aprender ni de enseñar, hay muchas posibilidades de trabajo en el aula para facilitar la transferencia en este tema que, por otra parte, posee una gran ventaja: el interés y la fascinación que despierta en el alumnado.

La manipulación genética

La enseñanza de la biología se enfrenta en la actualidad a nuevos desafíos en relación con investigaciones de gran impacto social, tanto en términos de transformaciones (reales o potenciales) de las condiciones de vida humanas, como

en términos de percepción social. Esto ocurre con el proyecto Genoma, con las aplicaciones de la biotecnología (incluyendo clonación e ingeniería genética) y con otras líneas que estudian las enfermedades infecciosas emergentes (sida, encefalopatía espongiiforme bovina), así como con la conservación del ambiente.

Abordar estas cuestiones supone, además de aprendizajes conceptuales, atender a las dimensiones de educación ambiental o educación para la salud; tener en cuenta que la pobreza imposibilita o dificulta un desarrollo armónico del ambiente; que no es posible enfrentarse al sida en África sin actuar sobre las condiciones sociales. En este contexto se ponen de manifiesto conexiones inextricables entre investigación científica e intereses empresariales, por ejemplo en las investigaciones paralelas, pública y privada, sobre el genoma humano.

Son cuestiones complejas cuyo tratamiento detallado requeriría un espacio muy superior al disponible, por lo que el objetivo de este apartado es identificar algunas de las controversias en torno a la manipulación genética y sus implicaciones sociales y éticas, sugiriendo estrategias para abordarlas en el aula. Distinguimos estas dos dimensiones, entendiendo por *sociales* repercusiones que afectan a las estructuras (sean económicas, familiares o políticas) de la sociedad, y por *éticas* las que se sitúan en un plano normativo.

¿Niños a la carta?

La determinación cromosómica del sexo, la relación entre el tipo de espermatozoide y el sexo del bebé abre el camino hacia el sueño o la pesadilla, en palabras de Amartya Sen, de poder elegir entre niños o niñas. Se trata de un ejemplo de lo que los padres podrían solicitar y, cuando en 2001 se autorizó a las clínicas (privadas) de Estados Unidos a atender peticiones en este sentido, uno de los argumentos a favor en los medios de comunicación españoles era que, igual que de forma natural el azar se encarga de que nazcan niños y niñas en la misma proporción (en la práctica el número de niños es ligeramente superior, 100 a 95 a escala mundial), las preferencias de los padres, tomadas en conjunto, se equilibrarían. Sin embargo la realidad muestra que, al menos en determinados contextos, no ocurre esto. Aún sin selección en la concepción, las técnicas que permiten conocer el sexo del embrión han llevado en la India a un elevado número de abortos selectivos de niñas durante los pasados 20 años, lo que, en estimaciones de Sen (2001) ha causado, sólo en India, un déficit de 37 millones de mujeres, con la caída de la relación niñas/niños de 0 a 6 años de 94,5/100 en 1991 a 92,7/100 en 2001. Algunas repercusiones sociales son secuestros y ventas de muchachas en las regiones de la India donde esta desigualdad es más acusada.

Desde la perspectiva ética la selección de una característica sobre otra, sea sexo, color de ojos o estatura, es una práctica de eugenesia, considerada por muchos autores una forma de racismo. Incluso en enfermedades hereditarias debidas a alelos recesivos, como la fibrosis quística, la selección mediante aborto selectivo conduce, como indica Soutullo (1997), al aumento de la frecuencia del gen en la población, al favorecer el nacimiento de individuos heterocigóticos (cabe señalar que los homocigotos en la actualidad tienen una esperanza de vida de 30 años).

Proponemos la siguiente actividad:

El estudio de los cromosomas en seres humanos

Hasta 1956 (Tjio y Levan) se creía que el número de cromosomas de la especie humana era 48 (24 pares en vez de 23). Algunos de los trabajos anteriores más importantes sobre los cromosomas en la especie humana son:

- Winiwarter, 1912: analizó muestras de testículos de 4 sujetos.
- Painter, 1923: realizó una revisión de 26 trabajos anteriores, entre ellos el de Winiwarter, de los que las muestras eran en 8 casos de células somáticas (por ejemplo, córnea) o no especificadas y 18 de testículos. Él mismo analizó muestras de testículos de 3 hombres, dos de raza negra y uno de raza blanca, internos de un manicomio que, por masturbarse o comportarse violentamente, fueron castrados por prescripción médica.
- ¿Encontráis algún problema metodológico en estos trabajos? ¿Cuál?
- ¿Tendría esto alguna incidencia en las conclusiones? ¿De qué tipo?
- ¿Os parece que estos problemas tienen su origen en algún modelo teórico o creencia? ¿En cuál?

Algunas cuestiones que suscita esta actividad son, por una parte, el sesgo androcéntrico en las muestras –todas de varones–, lo que, en mi opinión, podría estar relacionado con los problemas en la determinación del número, al aparecer en los varones 24 cromosomas morfológicamente distintos. Por otra, las ideas eugenésicas que conducirían a la castración de internos por los motivos apuntados, sin que Painter critique esta cruel forma de obtener muestras.

Clonación: mito y realidad

La existencia de gemelos monovitelinos y observaciones, como la realizada por Driesch en el siglo XIX, de que la escisión temprana de un embrión de erizo de mar originaba, no dos mitades, sino dos organismos completos, están en la base de la clonación. Aunque la mayor parte de la investigación en este campo se dirige a los animales de granja, e incluso puede decirse que muchos vegetales cultivados a gran escala como el maíz son clones (obtenidos por selección clásica, no por ingeniería genética), en el imaginario colectivo la clonación suscita visiones de sociedades estratificadas en castas de personas idénticas, como *Un mundo feliz* de Huxley o recientes sagas de cine. Cuando en 1996 el instituto Roslin anunció la creación de Dolly, una oveja clonada a partir de una adulta, la mayor polémica giró sobre la clonación de seres humanos, pues era evidente que el camino quedaba abierto. Las cuestiones implicadas en la clonación, además de los conocimientos genéticos específicos, van del determinismo biológico al impacto que podría tener en los pequeños agricultores y ganaderos la dependencia de organismos suministrados por una empresa, cuestión que se discute más abajo al hablar de los transgénicos.

La clonación de seres humanos con el objetivo de producir adultos «idénticos» (clonación reproductiva, que conlleva implantar el embrión en una mujer) parece poco probable, mientras que la línea de investigación que se está siguiendo –en los países en que no está prohibida– es la creación de embriones, que no se implantan, con el objetivo de producir tejidos para trasplantes. Al hablar de clonar personas,

algunos entienden que se originarían individuos totalmente idénticos, lo que revela una posición determinista. Dos personas pueden compartir el genotipo y, debido a la interacción entre éste y el ambiente, presentar incluso diferencias físicas (peso, estatura, etc.), y desde luego en aspectos como inteligencia o comportamiento, que dependen en gran medida de la educación. Si además son criadas en épocas distintas, las diferencias serían aún mayores. Como dice Lewontin (2000) que ha dedicado varios libros a refutar el determinismo, *no todo lo que somos está en los genes*. Desde el punto de vista ético la clonación reproductiva de seres humanos es rechazable.

Organismos transgénicos y patentes de genes

Organismos transgénicos son en sentido estricto aquellos en los que se han introducido genes ajenos, aunque a veces se incluye en este grupo cualquiera que haya sido manipulado genéticamente. Este segundo caso es el del tomate de reblandecimiento lento, que lleva un «gen antisentido» que codifica un ARN complementario del ARN del enzima diana (responsable de que el tomate se ablande); ambos ARN hibridan y la síntesis del enzima no tiene lugar. Este tomate no contiene ningún gen o proteína de otra especie. El maíz resistente a los insectos lleva un gen de la bacteria del suelo *Bacillus thuringiensis* (Bt) que codifica una proteína de acción insecticida, y la oveja Tracy lleva un gen humano que le permite producir leche con alfa-antitripsina (AAT), una proteína en la que son deficientes los enfermos de la variedad hereditaria de enfisema pulmonar (otros enfisemas se deben a fumar o a procesos de asma).

¿Transgénicos sí o no?

La clase se divide por sorteo en tres grupos:

1. Partidarios de los transgénicos: asociación de enfermos, científicos de un centro de investigación genética, empresas de biotecnología, agricultores.
2. Opositores a los transgénicos: agricultores ecológicos, científicos de un departamento de ecología, asociación ecologista, asociación de amigos de Latinoamérica.
3. Comisión de la Unión Europea que debe autorizarlos o no (número impar).

Los grupos 1 y 2 preparan intervenciones de cinco minutos contando con documentación (véanse direcciones de Internet). Las opiniones deben justificarse. Después la comisión (3) tiene 10 minutos para debatir su decisión, que debe ser justificada.

- *Tarea individual*: escribir un breve informe con las dos razones que te parecieron más convincentes a favor del uso de transgénicos y las dos más convincentes en contra. A continuación expón tu propia opinión y las razones que te llevan a ella.

Algunas direcciones de Internet sobre biotecnología y transgénicos:

<http://www.biotech-info.net/bt-transgenic.html> (empresas)

<http://milksci.unizar.es/transge.html> (Universidad de Zaragoza)

<http://ww2.grn.es/avalls> (boletín informativo con artículos de críticos como Altieri)

Entre las razones a favor de utilizar organismos transgénicos se cuentan la posibilidad de reducir el uso de pesticidas convencionales en la agricultura, al producir el insecticida la propia planta; o de usar herbicidas selectivamente (al ser la planta

resistente a ellos); lograr mayores rendimientos, organismos que se pudren o ablandan más despacio o que resistan heladas o sequías; la obtención de productos, bien alimentos como glucosa o fructosa (maíz), o medicinas (ATT, insulina).

Entre las razones a favor de un mayor control sobre ellos, hay argumentos *éticos*, por ejemplo que el genoma de los organismos es patrimonio común y no puede ser patentado por una empresa, especialmente en el caso de plantas nativas de países menos desarrollados que son patentadas por otros (la llamada «biopiratería»). Desde el punto de vista *social* que incrementa la dependencia de los agricultores respecto a las grandes empresas, al obligarles a comprar cada año semillas (los procesos *terminator* impiden que la planta las produzca), o al tener que usar conjuntamente cultivo y herbicida; la producción de fructosa a partir del maíz ya ha causado la caída de los precios del azúcar y la pérdida de puestos de trabajo (igual que ocurrió antes con la vainilla), lo cual aumenta la crisis de la agricultura en los países menos desarrollados. En cuanto a los argumentos *ecológicos*, el riesgo de transferencia de genes de cultivos resistentes a herbicidas hacia variedades silvestres, lo que podría originar malezas difíciles de eliminar; la selección de variedades de insectos resistentes (como ocurrió con los insecticidas); el riesgo de acumulación de estos herbicidas en las cadenas alimentarias y su efecto sobre animales o humanos; la toxicidad de las plantas resistentes para otras especies que no son plagas (como el maíz transgénico para la mariposa monarca). Los críticos piden más control, sobre todo teniendo en cuenta la dificultad de separar cuestiones científicas de intereses económicos.

Otras actividades didácticas sobre biotecnología y cómo evaluarlas han sido tratadas por Simonneaux (2000).

En resumen, el contexto actual de relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad nos plantea nuevos problemas sobre qué biología enseñar y cómo enseñarla, sobre cómo interesar a los adolescentes en la biología y cómo promover la formación de un pensamiento crítico, puesto que nuestros objetivos no se reducen a enseñar biología, sino que también incluyen formar ciudadanos y ciudadanas capaces de resolver problemas, de participar en la toma de decisiones.