

Permanencia de ideas alternativas sobre Evolución de las Especies en la población culta no especializada

Juan José Fernández

Centro de Educación Secundaria "Ntra Sra Rosario", Valencia

Vicente Sanjosé

ERI-Polibienestar y Didàctica de les Ciències
Experimentals i Socials, Universitat de València

Resumen:

Este trabajo muestra los resultados de un estudio exploratorio realizado con estudiantes universitarios y estudiantes de secundaria con el objetivo de averiguar qué ideas sobre evolucionismo biológico, científicas y alternativas, quedan en la memoria a largo plazo de la población adulta, culta y no-especialista en Ciencias experimentales. La hipótesis tentativa es que el efecto de la maduración podría incrementar las capacidades metacognitivas que se requieren para detectar inconsistencias en las representaciones mentales sobre el tema. Entonces algunas ideas alternativas podrían ser cuestionadas. Un total de 87 estudiantes de la Universitat de València, no especialistas en Ciencias, participaron en el estudio. Sus ideas fueron comparadas con las de 82 estudiantes de ESO estudiados al mismo tiempo. En contra de la hipótesis, los resultados no muestran descenso en los porcentajes de ideas alternativas en los estudiantes universitarios respecto de los de secundaria.

Palabras clave: Evolucionismo; Ideas Alternativas; Estudiantes Universitarios; Educación Científica.

Abstract:

This work shows an exploratory study with university students and secondary students in order to find out what scientific and alternative ideas on biological evolutionism remain in the long term memory of the adult, non-specialist, educated people. The initial hypothesis is that the maturation should improve certain metacognitive skills needed to detect lack of coherence in the mental representations about evolution. Then some alternative ideas could be removed.

Eighty seven students in the Universitat de Valencia, not specialists in experimental sciences, took part in the study. His ideas were compared with those of eighty two students of ESO at the same time. Contrary to the hypothesis, the results show no decrease in the percentages of alternative ideas in university students with respect to secondary students.

Key Words: Evolutionism; Alternative Ideas; University Students; Scientific Education.

(Fecha de recepción: septiembre, 2007, y de aceptación: Octubre, 2007)

Introducción

El estudio de las ideas alternativas de los alumnos sobre la naturaleza de la Ciencia ha sido un eje central de investigación a lo largo de estas últimas décadas (Vienott, 1979; Driver et al, 1989; Pozo, 1996; Campanario y Otero, 2000). En Biología, la Evolución constituye uno de los ejes vertebradores que permiten convertir un conocimiento meramente descriptivo (conocimiento de ‘hechos’) en un conocimiento explicativo y predictivo de ‘fenómenos’. Es deseable que la población culta conozca y sepa utilizar los mecanismos evolutivos científicamente aceptados, al menos a un nivel elemental. Comprender el mecanismo evolutivo permite acceder a otros conceptos tales como las taxonomías, los ecosistemas o el flujo de materia y energía en los mismos. Además, el disponer de un marco conceptual correcto sobre la Evolución y la herencia genética, permite a los alumnos entender los últimos avances en el campo de la biotecnología (alimentos transgénicos, genoma humano, clonación, etc.) y las implicaciones sociales que éstas conllevan. (Banet y Ayuso, 2003). Es por ello que el tema se aborda en la ESO (y, desde luego, en el Bachillerato de ciencias). Dado este papel relevante que la teoría de la Evolución ocupa en la comprensión de la biología, muchos estudios se han realizado sobre ideas alternativas de los estudiantes, mostrando sus dificultades para comprender los mecanismos neodarwinianos de la Evolución (Jiménez-

Alexandre, 1989; Abrams, 2001; Gándara et al., 2002).

Las investigaciones se centran, por un lado, en caracterizar las ideas previas y por el otro, en valorar hasta qué punto éstas pueden ser modificadas mediante el proceso de Enseñanza-Aprendizaje. La investigación entorno a las ideas previas, facilitó que se cuestionara la enseñanza tradicional. Por ejemplo, para el caso concreto de la Biología, Lawson (1988) señaló que el resultado logrado por la enseñanza de la biología convencional era con frecuencia la repetición de las frases o ideas emanadas de la “autoridad” (profesor o el mismo libro de texto). Un grupo de modelos de enseñanza que está cobrando especial importancia es el que se inspira en la teoría de Cambio Conceptual (Posner et al, 1982; Basili y Sanford, 1991; Tyson et al., 1997). Estos modelos pretenden conseguir la sustitución de las ideas alternativas de los estudiantes por el conjunto de ideas científicas aceptadas. Una de las estrategias psico-didácticas más usadas dentro de estos modelos es la del Conflicto Cognitivo. Se trata de dejar al estudiante usar sus esquemas explicativos alternativos para interpretar un fenómeno natural, impulsar su desarrollo y conducir el razonamiento hasta una consecuencia inaceptable, incoherente, ilógica o incompatible con otras. Entonces la instrucción interviene para ayudar al estudiante a refutarlos (Mason, 2007) y reestablecer la coherencia.

La eficacia de esta estrategia depende, entre otros factores, de la edad (ma-

duración) de los estudiantes. Limón y Carretero (1997) en un estudio realizado con estudiantes de diferentes edades sobre el Origen de la Tierra, encontraron que, a menor edad, menor era la proporción de alumnos capaces de ser conscientes de la contradicción cuando se les presentaban datos anómalos. Las capacidades metacognitivas son necesarias para percibir las contradicciones e incoherencias y éstas requieren tiempo para desarrollarse. Es posible entonces pensar que cuando la edad y el nivel académico es lo suficientemente grande, el pensamiento espontáneo de los estudiantes pueda haber cambiado respecto de edades anteriores. Pocos estudios se han dedicado, sin embargo, al estudio de las ideas alternativas en población adulta culta en general, y en universitarios en particular.

Las ideas alternativas sobre la evolución a lo largo de la formación académica

Las representaciones de los estudiantes sobre el tema de Evolución (en relación con la Genética han sido agrupadas entorno a los conceptos de *selección natural y adaptación, variabilidad y herencia*. Tras un análisis bibliográfico, de todas las ideas posibles, nos centramos en:

1. Existencia y causa de la Evolución: Una gran mayoría de alumnos están dispuestos a aceptar el concepto de evolución como fenómeno: los seres vivos del pasado eran diferentes de los actuales y hay relación entre ellos; pero apa-

recen diferencias a la hora de explicar ‘el porqué’ del fenómeno y el ‘cómo’ ocurre (Abrams, 2001). En el primer aspecto, Schilders y colaboradores (2007) encuentran que algunos estudiantes de distintos niveles educativos de secundaria están poco dispuestos a aceptar la noción de evolución porque sienten que dicha teoría contradice sus creencias religiosas. Estos y otros autores (Grau y De Manuel; 2002) señalan además que, en muchos casos, los alumnos utilizan el destino o la existencia de una finalidad en el cambio que se produce para explicar las razones de por qué las especies cambian o cómo se producen estos cambios (teleología). De un modo algo ambiguo, se concibe que todo ser vivo coordina sus cambios de manera intencional hacia una meta (generalmente sobrevivir o dejar descendencia).

En consonancia con la teleología aparece la inadecuada comprensión de los aspectos probabilísticos del proceso evolutivo, sobre todo en Secundaria. Los hechos sucedidos se consideran más bien como inevitables, no como una de las posibles líneas de evolución. Los adolescentes no pueden interpretar el papel del azar en el contexto de la evolución.

2. Comprensión de los conceptos fundamentales de los mecanismos evolutivos basados en variabilidad y selección natural: En cuanto al ‘cómo’ en el que se produce la evolución de las especies, los alumnos de niveles de primaria y primer ciclo de secundaria no conciben la existencia de variabilidad intra-específica. No existe para ellos relación

entre variabilidad, selección y adaptación. Samarapungavan y Wiers (1997), en un estudio realizado sobre el pensamiento acerca del origen de los organismos vivos, encuentran que los alumnos aceptan pequeños cambios dentro de las fronteras que marca cada especie desde un antecesor. Cuando explican la aparición de un nuevo carácter se expresan en términos lamarckianos, haciendo referencia al uso y falta de uso, a la necesidad por sobrevivir de cualquier ser vivo, o al progreso que este cambio supone en la especie.

En un estudio sobre el concepto de adaptación biológica en los textos de secundaria, Gándara y colaboradores (2002) encontraron que el término 'adaptación' es utilizado por igual para la conquista de nuevos ambientes que para las divergencias evolutivas, e incluso en ocasiones es obviado. Dada la carencia de explicitación de criterios claros para definir la adaptación de los seres vivos y las reglas de inferencia cuando se usa el concepto para explicar y predecir, se potencia en los alumnos interpretaciones ambiguas y, por tanto, las concepciones espontáneas. Dichos autores concluyeron que existe la transmisión de un modelo conceptual erróneo: se promueve la idea de que la evolución se produce por la necesidad de sobrevivir. Se evidencia la carencia de una comprensión real de las fuentes de variación entre los organismos; su concepto de herencia es simplemente la transmisión de características de una generación a otra, y explican el cambio animal en términos lamarckianos. A pesar que

los libros de secundaria obligatoria marcan específicamente un rechazo a la teleología interna en el mecanismo evolutivo propuesto por Lamarck, es decir, el carácter intencional atribuido a los seres vivos en la herencia de sus caracteres adquiridos, dicha afirmación pierde fuerza por la falta de explicitación de qué es adaptación, y de qué es lo que se hereda y se adquiere a lo largo de la vida del organismo, agravado por la ausencia de una genética ecológica y de un correcto modelo de desarrollo ontogénico. (Gándara et al, op. cit).

Grau y De Manuel (2002) señalan que las ideas sobre adaptación, herencia y variabilidad evolucionan con la edad y las experiencias. De esta forma los alumnos de primeros cursos, no mencionan la variabilidad dentro de una misma especie y centran la herencia de los caracteres en términos lamarckianos (uso/desuso), mientras que en cursos más avanzados (de 14 a 16 años) identifican la influencia ambiental e incluyen el término "mutación" y "genes" aunque su significado científico no está bien establecido: en la mayoría de las ocasiones, se asocia el término 'mutación' a la aparición de malformaciones, cambios desfavorables o, en sentido contrario, con un claro objetivo de sobrevivir. En el Bachillerato (17-18 años) tan sólo el 45% de los estudiantes son capaces de utilizar el concepto de mutación en términos rigurosos (Albaladejo y Lucas 1988).

3. Ideas lamarckianas de evolución por el esfuerzo, hacia el progreso y por necesidad; uso y desuso de los órganos como

causa de los cambios en las especies. La presencia de concepciones lamarckianas entre alumnos de secundaria, ha sido ampliamente estudiada. Entre los alumnos de 13 a 16 años, el cambio en las especies se produciría porque los organismos efectúan intencionalmente cambios físicos en respuesta a la presión del ambiente, o bien porque se responde a una ‘necesidad natural’ y, por tanto, ‘tiene que suceder’. Sólo alrededor del 10% de los alumnos reconoce que la selección natural actúa sobre las poblaciones en el proceso de adaptación, aunque la tarea que deben resolver los alumnos o el contexto de la misma, pueden influir en los resultados (Engel y Wood, 1985a).

Bishop y Anderson (1990) mostraron cómo numerosos estudiantes universitarios, tras su paso por un Bachillerato científico, mantenían modelos lamarckianos para describir los mecanismos evolutivos de las especies. En varios estudios (Demastes et al., 1996; Caravita y Hallden, 1994); Brumby, 1984 y 1979; Jiménez y Fernández 1989), los sujetos aprenden a disociar los contextos académicos de los cotidianos. Caravita y Hallden (1994) encontraron que los estudiantes de bachillerato, tras el estudio del tema de la Evolución, integraron parte de la teoría darviniana y neo-darviniana en sus esquemas conceptuales previos, coexistiendo con ideas erróneas al ser aplicados en la explicación de problemas concretos. Estos estudiantes no logran construir una representación coherente del conocimiento porque no son capaces de detectar los proble-

mas de coherencia semántica y lógica mediante inferencias de antecedente (justificaciones) y/o de consecuente causal (consecuencias de las afirmaciones). Los alumnos de cursos superiores, (con edades entre 18 y 20 años), que ya han recibido instrucción formal en estos conceptos, también dan respuestas diferentes según el contexto en el que se plantee la cuestión. Según Brumby (1984), estos alumnos sólo resuelven correctamente entre el 20 y 60% de los casos propuestos y, entre los modelos de razonamiento más extendidos entre los alumnos destaca el que basa la existencia de cambios evolutivos en la ‘necesidad’, lo que supone una interpretación teleológica implícita, pues los cambios se efectuarían con la intención de sobrevivir. Asimismo se sigue detectando la creencia que las características adquiridas se transmiten a la descendencia.

En suma, el aprendizaje de los conceptos evolutivos durante los estudios encuentra obstáculos que pueden resumirse en:

a) Los alumnos instruidos parecen mantener dos esquemas conceptuales simultáneamente. En su memoria se encuentran, por un lado, sus conocimientos útiles en el ámbito académico (resuelven problemas, ejercicios y exámenes). Por otro lado, se conserva el esquema alternativo que es el que les ayuda a interactuar con el medio que les rodea.

b) Los conceptos fundamentales darvinistas son difíciles de entender, aunque la situación mejora poco a poco con el nivel académico.

c) Las ideas lamarckianas de evolución hacia la perfección y el progreso, por necesidad y gracias al esfuerzo, resultan ‘confortables’ para los estudiantes de todas las edades. Además se articulan en esquemas explicativos muy amplios que incluyen ideas antropocéntricas como la teleología (la vida tiene un sentido y unas metas), rechazo a la Vida como un proceso que depende del azar (la vida no depende de la casualidad) y creencias religiosas (acción de un ‘diseñador inteligente’ de la complejidad de la Vida).

Los puntos a) y b), junto con antecedentes como el de Limón y Carretero (op cit) sugieren que para abandonar esquemas alternativos –que son sobre todo larmackianos– y comprender bien las ideas darvinistas, se requieren ciertas capacidades, cognitivas y metacognitivas, que no se adquieren hasta casi final del bachillerato. Los alumnos requieren madurez para detectar inconsistencias y contradicciones y sentir entonces la necesidad de modificar sus esquemas explicativos. Sin esta maduración, el efecto potencial de los tratamientos didácticos puede ser bloqueado por la falta de capacidades básicas para beneficiarse de ellos. Además, como se ha probado, el efecto de la maduración, en caso de existir, está más allá de los niveles del Bachillerato.

En este trabajo pretendemos averiguar si entre la población adulta culta, que en su día estudió el tema de Evolución con aprovechamiento pero que hace años que no lo revisan, la presen-

cia de las ideas alternativas, es similar a la que se registra entre los adolescentes, o no lo es. Si sucede algo parecido a lo encontrado por Limón y Carretero (op.cit.), los sujetos cultos y más maduros deberían construir representaciones más coherentes del conocimiento que los adolescentes. Esto constituye una hipótesis tentativa cuya verosimilitud pretendemos explorar ahora, para contrastar más adelante con un diseño propiamente experimental, si procede.

Consideraremos que una buena representación de la población culta, adulta y no especialista son los universitarios de carreras que no están en el ámbito de las ciencias experimentales. Además, en cursos intermedios o finales de los estudios universitarios es aceptable suponer que ha tenido lugar la maduración cognitiva y metacognitiva requerida, como hemos visto, para cuestionarse ciertas ideas alternativas sobre evolución.

Entre las diferencias esperables entre la población adolescente y la población universitaria están las siguientes:

1. Diferencias en los porcentajes de personas que no admiten el hecho evolutivo y/o sus causas naturales. Los estudiantes universitarios podrían estar más dispuestos a manifestar sus dudas y sus creencias religiosas que los de secundaria debido. Estos últimos se hallan en situación de ser evaluados en el tema y los universitarios no. Además, la madurez de los universitarios ayuda a sentirse seguro de las propias ideas y defenderlas.

2. Algunas de las ideas lamarckianas como evolución por necesidad de sobrevivir, asociación entre evolución y progreso o evolución por esfuerzo podrían ser revisadas más fácilmente por los universitarios al detectar inconsistencias en ellas. Por ejemplo, podría detectarse que los conceptos de ‘progreso’ y ‘perfección’, en la Naturaleza pierden su sentido; o podría reconsiderarse la atribución de ‘conciencia de necesidad de cambio’ a los seres vivos como factor capaz de modificar sus genes.

3. Si se revisan los aspectos teleológicos y ‘trascendentes’ de los mecanismos evolutivos, quizás los universitarios podrían aceptar mejor que los adolescentes el papel del azar y la probabilidad en el hecho evolutivo. Con ello podrían manejar mejor que los adolescentes los conceptos de variabilidad y selección natural.

Método

Muestra. Participaron en nuestra investigación un total de ciento sesenta y nueve sujetos. La muestra de Universitarios no especialistas en ciencias experimentales estuvo formada por un total de 87 estudiantes de las Licenciaturas de Geografía e Historia y del último curso de Magisterio (edades 20-22 de años). Ninguno de estos sujetos universitarios estudió el tema después de acabar la Secundaria y, por supuesto, no formaba parte de sus estudios actuales. Por tanto se sometieron al estudio voluntariamente, sabiendo que sus respuestas no pueden ser objeto de

evaluación académica. La muestra de estudiantes de Secundaria fue de 82 sujetos de 4º de ESO (16-17 años) pertenecientes a dos Centros de la ciudad de Valencia. Estos estudiantes se sometieron a esta investigación en su ámbito escolar, ya que debían estudiar el tema de Evolución de inmediato y ser evaluados después. En ambos casos se trató de muestras de conveniencia disponible para el estudio exploratorio. Por tanto, los resultados no serán extrapolables ni generalizables. Pese a ello, las características de los sujetos no se diferencian a priori en ningún factor importante de otros grupos de alumnos.

Materiales. Se diseñó una prueba específica para cada nivel académico. En el caso de estudiantes de secundaria, se trató de una prueba de conocimiento previo adaptada a los requerimientos curriculares del curso. Las preguntas, junto a la idea que exploran, se muestran en la Figura 1.

Para el caso de la población culta no especializada, se elaboraron dos cuestionarios enlazados para revelar las ideas sobre evolución de las especies a partir de la literatura estudiada, y tomando como referencia los errores conceptuales más generalizados. Se inspiró en el modelo de prueba diagnóstica para revelar ideas alternativas sobre evolución propuesto por Bishop y Anderson (1985). La estructura de las preguntas buscó explicitar ideas básicas, de entre las estudiadas en la literatura, y confrontarlas con casos prácticos. Por ello se buscaron contextos conocidos (i.e. las muelas del juicio, el DDT) para que el

Figura 1. Cuestionario para estudiantes de Secundaria.

**CUESTIONARIO INICIAL SOBRE
“EVOLUCION DE LAS ESPECIES” (Secundaria)**

POR FAVOR, MARCA LA RESPUESTA CORRECTA MEDIANTE UNA CRUZ. SI TE EQUIVOCAS, CORRIGE TACHANDO CLARAMENTE LA RESPUESTA ERRÓNEA Y MARCA DE NUEVO OTRA OPCIÓN.

Sólo una opción es correcta en cada pregunta.

1. La evolución de los seres vivos:
 - a. No tiene ningún objetivo.
 - b. Se produce con el objetivo de perfeccionar las especies.
 - c. A veces se produce con el objetivo de degradar alguna especie.
2. Los seres vivos pueden llegar a ser muy diferentes de sus antecesores a causa de:
 - a. Cambios medioambientales que benefician ciertas características que se acumulan con el tiempo en los seres vivos.
 - b. Los esfuerzos realizados para la supervivencia durante millones de años transforman mucho los cuerpos de los seres vivos.
 - c. Las mutaciones son la única causa posible pues provocan cambios repentinos en los seres vivos.
3. Según las teorías científicas actuales, las serpientes no tienen patas a diferencia del resto de reptiles porque:
 - a. No las han usado durante muchas generaciones, ya que aprendieron a obtener sus recursos vitales arrastrándose sobre la hierba.
 - b. El debilitamiento y pérdida de las patas supuso una ventaja para su reproducción en sus hábitats naturales.
 - c. Sufrieron por accidente una radiación catastrófica que causó una mutación en todas las serpientes prehistóricas perdiendo las patas en pocas generaciones.
4. Los humanos tenemos menos pelo que los otros primates porque:
 - a. Ya no lo necesitamos para protegernos del frío, lo cual atrofia sus raíces generación tras generación.
 - b. Ha supuesto una ventaja reproductiva perder pelo, y esa energía se emplea en otras funciones
 - c. Agentes mutágenos en el ambiente, aún no controlados.

sujeto ubique el problema. Cada ítem consiste en una afirmación y los sujetos debían marcar si estaban de acuerdo o no con ella. (Ver Figura 2).

Para evidenciar el caso de la persistencia de ideas lamarckianas sobre el mecanismo evolutivo, se usaron tres ejemplos distintos separados entre sí

(preguntas 3,5, 7 y 10). Lo mismo ocurre para los ítems 4 y 8 que están dedicadas a la idea de progreso asociado a la evolución. Con objeto de poner en evidencia la existencia de ideas no evolucionistas, se diseñaron específicamente las preguntas 1 y 9. Se diseñaron los ítems 2 y 6 para explorar ideas crea-

Figura 2. Preguntas del cuestionario 1 para universitarios.

CUESTIONARIO I. IDEAS ALTERNATIVAS SOBRE EVOLUCIÓN	
PREGUNTA	IDEA QUE INDAGA
<p>1. Desde su origen, todas las especies de seres vivos han sido siempre tal y como las conocemos hoy y no han cambiado a lo largo de millones de años. Por ejemplo, los caballos han sido siempre tal y como los conocemos al igual que los pinos o que las moscas.</p> <p>De acuerdo En desacuerdo</p>	<p>Búsqueda de concepciones no-evolucionistas. Idea Fijista del mecanismo evolutivo.</p>
<p>2. Aparatos como relojes, ordenadores, etc. están formados por muchas piezas que se necesitan unas a otras. El aparato se construye de una sola vez con todas las piezas necesarias funcionando coordinadamente. Ahora pensemos en un órgano tan complejo como un ojo, formado por muchas piezas (iris, cristalino, retina, nervio óptico, etc.), funcionando coordinadamente todas a la vez. Es imposible explicar su existencia a partir de la acumulación progresiva de elementos por azar a lo largo de millones de años.</p> <p>De acuerdo En desacuerdo</p>	<p>Rechazo de proceso acumulativo de pequeños cambios beneficiosos al azar. 'Diseño Inteligente'</p>
<p>3. La cola de los gorilas desapareció hace muchos miles de años. Esto no se ha producido porque los antecesores de los gorilas actuales no necesitaran la cola y no la usaran, sino porque, por azar, algunos individuos mutantes, nacieron sin cola y tuvieron más éxito reproductivo que el resto. Los hijos que heredaron esta anomalía continuaron teniendo más éxito con los individuos con cola contra los que competían por los recursos. Al final, los individuos con cola desaparecieron.</p> <p>De acuerdo En desacuerdo</p>	<p>Búsqueda de concepciones lamarckianas: Uso y desuso del órgano.</p>
<p>4. No hay seres más perfeccionados que otros, ni hay seres superiores a otros. Por ejemplo, los escarabajos y los humanos son especies que están igualmente evolucionadas.</p> <p>De acuerdo En desacuerdo</p>	<p>Evolución hacia la Perfección (Progreso).</p>
<p>5. El DDT fue un insecticida ampliamente usado. Luego de unos años de uso intensivo, el DDT perdió su efectividad sobre los insectos. La explicación es la siguiente: La larga exposición de los insectos al DDT hace que estos desarrollen defensas contra este insecticida, volviéndose inmunes.</p> <p>De acuerdo En desacuerdo</p>	<p>Concepciones lamarckianas: evolución por 'esfuerzo resistente'.</p>

<p>6. El oído de cualquier animal es muy complejo, pero se ha formado poco a poco, acumulando modificaciones a lo largo de millones de años, cada una de las cuales aumentaba el éxito reproductivo del ser vivo que poseía este órgano. De acuerdo En desacuerdo</p>	<p>Rechazo de proceso acumulativo de pequeños cambios beneficiosos al azar. 'Diseño Inteligente'</p>
<p>7. El hombre no realiza un empleo frecuente y continuo de las muelas del juicio, y por tanto la ausencia constante de su uso las debilita y retrasa su aparición o incluso no salen. Este desuso de las muelas del juicio potenciará su atrofia lo que llevará a que desaparezcan en futuras generaciones. De acuerdo En desacuerdo</p>	<p>Búsqueda de existencia de concepciones lamarckianas del meca-nismo evolutivo. Uso y desuso del órgano.</p>
<p>8. Los seres vivos menos evolucionados son las bacterias y otros seres microscópicos, luego las plantas, después los invertebrados, después los vertebrados y, finalmente el hombre, que es el más evolucionado de todos los seres vivos. De acuerdo En desacuerdo</p>	<p>Evolución y Complejidad= Progreso</p>
<p>9. La existencia de seres vivos tan diferentes como un ser humano y un gusano, por ejemplo, indica la enorme variedad de seres que habitan nuestro planeta. Sin embargo, todos ellos proceden de un antecesor común, muy sencillo, que surgió hace miles de millones de años. De acuerdo En desacuerdo</p>	<p>Aceptación del origen común de la Vida.</p>
<p>10. Sabemos que una vacuna contra la tuberculosis se vuelve ineficaz al cabo de unos años. La explicación no es que las bacterias desarrollen defensas tras la aplicación de la vacuna, sino que ya existían algunas bacterias diferentes al resto e inmunes desde el principio a la vacuna, lo que les permite reproducirse mientras las demás mueren. De acuerdo En desacuerdo</p>	<p>Búsqueda de concepciones lamarckianas: evolución por 'esfuerzo resistente'.</p>

cionistas, usando como ejemplos dos órganos “complejos”: el ojo y el oído. Así pues se concentró la atención sobre las ideas alternativas de corte lamarckiano y se decidió no incluir preguntas que involucrasen el concepto de mutación, por su menor presencia entre las ideas

erróneas de la población estudiantil de secundaria.

Tras esta primera parte de validación, se reestructuraron las preguntas cuya formulación era poco comprensible o que plantaban dudas a los sujetos. Atendiendo a las respuestas erróneas

más abundantes, se conformó un segundo cuestionario, compuesto por cuatro preguntas semiabiertas. Una opción fue siempre la aceptada por la ciencia, otra opción se corresponde con las 4 ideas alternativas de mayor presencia en el cuestionario 1. La tercera opción permitía al sujeto elaborar una explicación creada por él mismo, diferente de las opciones ofrecidas (ver Figura 3). Por tanto, en este segundo cuestionario se pretendió clarificar y especificar la naturaleza de sus desacuerdos con las ideas científicas y sus acuerdos con ideas no-científicas, expresadas en el cuestionario 1.

Las preguntas seleccionadas para este segundo cuestionario, se centran en:

La primera pregunta, plantea una opción no darwiniana en la que la presión del ambiente induce cambios que modifican los seres vivos merced a la necesidad de supervivencia de éstos. Esta respuesta se opone a la respuesta “b”, darwiniana, en la que aparece la existencia de variabilidad en las especies, y cómo las condiciones del ambiente no se mantienen constantes a lo largo del tiempo. Ello da ventaja a unos individuos frente a otros y pone en peligro la supervivencia de algunos.

La segunda pregunta se centra en el mecanismo lamarckiano de uso y desuso del órgano. La opción “b” parte desde la variabilidad y da una respuesta relacionándola con la genética y la herencia biológica, explicando la ventaja que proporciona y por tanto cómo son seleccionados de manera natural. La terce-

ra pregunta ofrece dos opciones que se oponen; la primera une los conceptos de evolución biológica y progreso, idea que aparece frecuentemente en la historia del pensamiento biológico, y la segunda, separa claramente ambos conceptos de acuerdo con las concepciones actuales (‘progreso’ es un término antropocéntrico que se aplica erróneamente para justificar el cambio evolutivo).

La última pregunta está enfocada a buscar la idea del “Diseño Inteligente” que considera que los sucesos azarosos no pueden convertir el caos en órganos complejos.

La idea del azar y la casualidad se considera contraria a la idea de la existencia de un plan preestablecido. Esta idea es defendida por pensadores creacionistas.

En la tabla 1 mostramos de forma resumida, las ideas alternativas sobre las que concentramos nuestra atención y las preguntas relacionadas con ellas en cada cuestionario.

En el cuestionario de secundaria y en el cuestionario 2 de universitarios, no se incluyeron preguntas sobre la existencia misma de evolución. La situación de los primeros no garantizaba la sinceridad de los estudiantes; en el caso de los segundos el cuestionario 1 mostró que el hecho evolutivo era aceptado por una gran mayoría.

Procedimiento. Los universitarios participaron voluntariamente en este estudio. Se utilizaron horas de sus clases cedidas por los profesores. El tiempo empleado por los estudiantes no excedió en ningún caso de los 45 min, en nin-

Figura 3. Cuestionario 2 para universitarios.

CUESTIONARIO II. IDEAS SOBRE EVOLUCIÓN

POR FAVOR, MARCA LA RESPUESTA CORRECTA, O ELABORA UNA SEGUN TU CRITERIO. GRACIAS POR TU COLABORACION

1. El DDT fue un insecticida ampliamente usado hasta los años 60. Después de décadas de uso intensivo, el DDT perdió su efectividad sobre los insectos. La causa es la siguiente:

- a) La larga exposición de los insectos al DDT durante muchas generaciones hizo que su cuerpo desarrollara defensas contra el veneno. Cada generación de insectos era más resistente que la anterior hasta que se llegó a su total inmunidad.
- b) En la población mundial de insectos existían algunos pocos ejemplares que eran inmunes desde el principio a este insecticida. Al aplicar el DDT, el resto de insectos murieron pero ellos lograron proliferar.
- c) Ninguna de las anteriores explicaciones es correcta. (ESCRIBE LO QUE CREES CORRECTO PARA EXPLICAR EL HECHO)

2. Hace millones de años, los antecesores de los seres humanos poseían cola, sin embargo esta desapareció, debido a que:

- a) Por necesidades de supervivencia, nuestros antecesores abandonaron los árboles, y en el suelo ya no necesitaban la cola y no la usaban. Generación tras generación, la cola se fue debilitando por falta de uso. Con el paso de muchas generaciones (millones de años) la cola se atrofió y finalmente se perdió.
- b) Como consecuencia de una anomalía en la reproducción, algunos individuos nacieron sin cola y tuvieron más éxito reproductivo que el resto. Los hijos que heredaron esta anomalía continuaron teniendo más descendencia que el resto por término medio. Al final, los individuos con cola desaparecieron.
- c) Ninguna de las anteriores explicaciones es correcta. (ESCRIBE TU PROPIA EXPLICACION).

3. Considerando el conjunto de todos los seres vivos de la Tierra, desde un punto de vista puramente biológico podemos afirmar que:

- a) No hay seres vivos más perfeccionados que otros, ni hay seres más evolucionados que otros. Por ejemplo, los escarabajos y los humanos son especies que están igualmente evolucionadas.
- b) Existen diferentes niveles de evolución y perfección. Por ejemplo, las bacterias, las plantas o los gusanos están menos evolucionados que los mamíferos, siendo el Ser Humano el más evolucionado de todos los seres vivos.
- c) Ninguna de las frases anteriores es correcta. (ESCRIBE LO QUE CREES CORRECTO AL RESPECTO).

4. Los ingenieros diseñan videocámaras de modo que cada pieza tiene una función. Una pieza por sí sola, no sirve para que la videocámara funcione y el agregar piezas no sirve de nada a no ser que estén todas y funcionen coordinadamente. Ahora pensemos en un órgano tan complejo como un ojo, formado por iris, cristalino, etc. funcionando a la vez. ¿Cómo se habrá formado este órgano?

- a) El ojo debe haber surgido de una sola vez, seguramente debido a grandes mutaciones genéticas necesarias para que todos sus elementos esenciales estén presentes y funcionen al mismo tiempo.
- b) El ojo de los animales se ha formado poco a poco, por la acumulación paulatina y casual de modificaciones y componentes a lo largo de millones de años. Cada uno de estos cambios se debía a una pequeña modificación genética que aumentaba el éxito reproductivo del ser vivo que lo poseía y podía ser heredada.
- c) Ninguna de las dos anteriores me satisface. (ESCRIBE UNA EXPLICACION QUE TE SATISFAGA)

Tabla 1. Preguntas en los cuestionarios e ideas que éstas indagan.

IDEA	CUES.	C1	C2
	E.S.O.	UNIV	UNIV
1. La existencia de la evolución en sí misma. Controversia entre religión y ciencia. Ideas Fijistas asociadas con la concepción de las especies como 'entidades naturales inmutables'.	--	1-9	--
2. Un mecanismo evolutivo basado en el uso y desuso de los órganos. A más uso, más desarrollo y viceversa.	3	3-7	2
3. Evolución por necesidad y 'esfuerzo resistente': los cambios intra-específicos se producen por la necesidad de sobrevivir; algunos individuos resisten la adversidad y las condiciones duras y este esfuerzo de resistencia modifica sus cuerpos.	2-4	5-10	1
4. Evolución hacia la perfección y progreso de los seres vivos: aquellos organismos más evolucionados serían los más perfeccionados.	1	4-8	3

guno de los dos cuestionarios. Los estudiantes de Secundaria contestaron el cuestionario como parte de una sesión de clase usual, dentro de las pruebas para detectar su conocimiento previo que preceden a la instrucción en cada tema. Ninguno de estos estudiantes necesitó más de 20 min para contestar.

Resultados

Para los sujetos de Secundaria, los porcentajes de respuestas en cada opción se muestran en la tabla 2.

En la pregunta 1 el 94% de los sujetos seleccionaron las respuestas que relacionaban el concepto de Evolución con progreso-perfección de las especies.

Tabla 2. Porcentajes de respuestas dadas para cada opción en el cuestionario para Secundaria.

Cuestionario Ideas Evolución para Secundaria			N= 82
1. (DA) 6%	2. (DA) 32%	3. (LU) 53%	4. (LE) 42%
(PR) 88%	(LE) 54%	(DA) 13%	(DA) 50%
(PR) 6%	(MUT) 14%	(MUT) 34%	(MUT) 8%

'LE': opción lamarckiana-esfuerzo por sobrevivir. 'LU': opción lamarckiana-uso y desuso del órgano. 'DA': opción aceptada por la Ciencia. 'MUT': mutación repentina- cambio en un paso. 'PR': opción que identifica 'evolución' y 'progreso'.

En la pregunta 2, un 68% de los sujetos escogieron opciones incorrectas acerca del mecanismo de la evolución, encontrándose que un 54% de los sujetos escogen la idea de esfuerzo de los seres vivos (opción b), frente a un 14% que lo atribuye a mutaciones que producen los cambios en un sólo episodio (opción c). En la pregunta 3 un 53% de los sujetos contesta que al no necesitar el órgano, lo pierden (uso-desuso del órgano), frente a un 34% que elige la opción de la mutación catastrófica (cambio repentino en un sólo paso). Para la pregunta 4 encontramos el 50% de sujetos en la respuesta acertada. Hemos de señalar que sólo un 8% de los sujetos elige el mecanismo de radiación como agente responsable del cambio (opción c). En esta muestra de 4º de ESO prevalecen las respuestas basadas en concepciones alternativas, sobre todo de corte lamarckiano, y en incomprensión de la naturaleza de las mutaciones como factor de variabilidad.

En el cuestionario I para universitarios, destaca el bajo porcentaje de respuestas correctas en las preguntas 3,5, 7 y 10, todas relacionadas con mecanismos evolutivos (ver gráfico 2). Sin

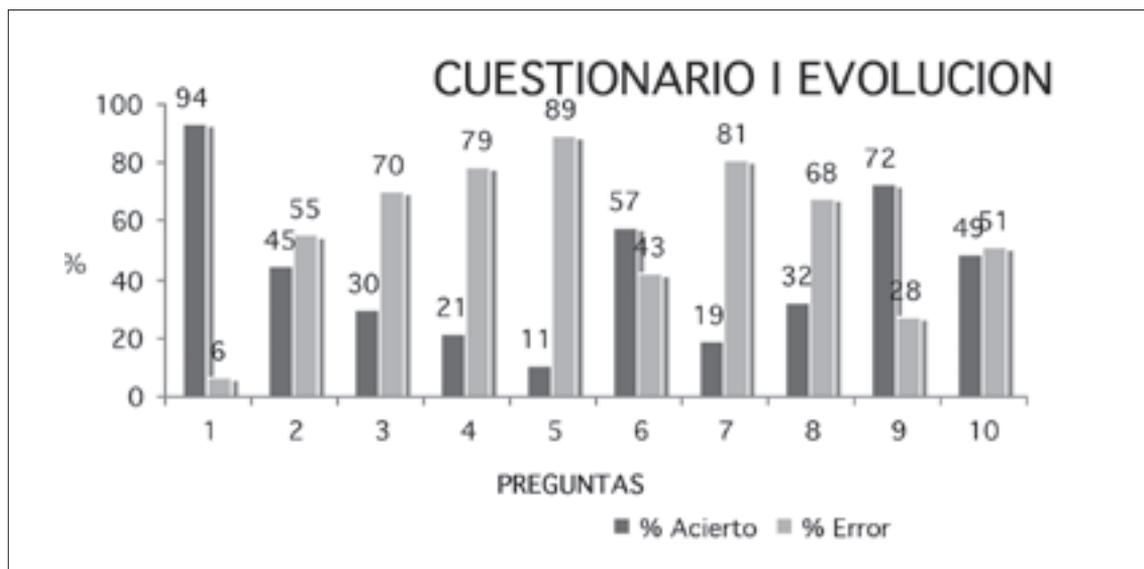
embargo las preguntas 1 (hay evolución o no) y 9 (toda la Vida tiene un origen común o no), que tratan la existencia de creencias no evolucionistas, son las que mayores porcentajes de acierto obtienen. En lo que se refiere a las preguntas 2 y 6, relativas al 'diseño inteligente', encontramos un porcentaje de acuerdo con esta idea alternativa cercano al 50%. Se trata de una idea defendida por los creacionistas en oposición a la acción 'ciega' de la naturaleza como motor de evolución, y está muy presente en la cultura de muchos países occidentales de tradición cristiana.

Los porcentajes de respuestas correctas y erróneas obtenidas en este primer cuestionario para universitarios se muestran en el gráfico 1.

Los resultados muestran que:

1. Ideas alternativas, que niegan la existencia de la evolución de las especies, se encuentran ampliamente superadas por la población de sujetos, dada la cantidad de aciertos en las preguntas 1 y 9 en las que el 94% y el 72 %, respectivamente, de los sujetos acepta la existencia del hecho evolutivo. Dado este alto porcentaje, se consideró que la exis-

Grafico 2. Porcentajes de acierto y error en el cuestionario 1 para universitarios.



tencia de la evolución biológica es un concepto que está presente ampliamente en los sujetos, por lo que no a lugar incluir una cuestión sobre este aspecto en el cuestionario definitivo.

2. Los sujetos seleccionan claramente la opción correspondiente a ideas lamarckianas de la evolución en preguntas distintas, lo que indica que siguen resultando más fáciles de manejar que las ideas darvinistas acerca de los mecanismos evolutivos, (items 3, 4, 5, 7, 8 y 10). Se obtienen porcentajes de aciertos que oscilan entre el 11% y el 45%. Dados estos porcentajes se estimó oportuno explorar mejor este tipo de ideas en el cuestionario 2.

3. En las preguntas 2 y 6, que trataban de explorar la idea del “diseño inteligente”, encontramos un porcentaje de

respuestas correctas y erróneas muy similar, cercano al 50%. Teniendo en cuenta que es difícil obtener respuestas fiables en otras muestras en cuestiones que se superponen con ideas religiosas, pensamos que estos porcentajes son importantes y que esta idea merece ser investigada también en el segundo cuestionario.

Los resultados obtenidos para el cuestionario 2 se muestran en la tabla 3.

A la vista de los resultados del cuestionario 2 se deduce que:

1. Un elevado número de sujetos no utiliza ideas darvinistas en los mecanismos evolutivos que pone en juego. En las preguntas 1 y 2 aparecen elevados porcentajes (90 y 100% respectivamente) de error, sobre todo asociados con las opciones lamarckianas de evolución por

Tabla 3. Porcentajes de respuestas dadas a cada opción en el cuestionario 2 para universitarios.

Cuestionario II. Ideas Evolución Universitarios			N= 40
1. a.-(LE) 90%	2. a.-(LU) 100%	3. a.-(DA) 15%	4. a.-(DA) 20 %
b.-(DA) 10%	b.-(DA) 0%	b.-(PR) 85%	b.-(DI) 70%
c.-(OL) 0%	c.-(OL) 0%	c.-(OL) 0%	c.-(OL) 10%

'LE': opción lamarckiana-esfuerzo por sobrevivir. 'LU': opción lamarckiana-uso y desuso del órgano. 'DA': opción aceptada por la Ciencia. 'OL': opción de libre respuesta. 'PR': opción que identifica 'evolución' y 'progreso'. 'DI': opción que defiende el 'Diseño Inteligente'.

Tabla 4. Porcentaje de sujetos que manifiestan cada idea alternativa, según nivel educativo.

Ideas alternativas	Secundaria	Univ. C1	Univ. C2
	N=82	N=47	N=40
No aceptan la Evolución	--	0%	--
Evolución = Progreso	87%	28%	85%
Evolución por Necesidad de sobrevivir/ 'esfuerzo resistente'.	42%	49%	90%
Evolución por Uso y Desuso	53%	53%	100%
Diseño Inteligente	--	43%	80%

necesidad de sobrevivir y de uso/desuso del órgano.

2. La pregunta 3, se indaga en torno a la idea de la evolución como progreso de las especies, asociado quizás con la complejidad. Tan sólo un 15% de los sujetos son capaces de responder correctamente, por lo que parece que dicha idea alternativa persiste entre los sujetos.

3. En la pregunta 4, referida al ojo humano, se explora el problema del 'Diseño Inteligente'. El 80% de los sujetos responde erróneamente. La opción ampliamente escogida es que el ojo humano debió surgir de una sola vez, y

no en etapas acumulando cambios beneficiosos aparecidos al azar.

En la tabla 4 se comparan los porcentajes de sujetos de ambos niveles educativos que presentan las ideas alternativas estudiadas. (Para cuantificar el porcentaje de sujetos que presentan un uso coherente de sus ideas alternativas se cruzaron las respuestas de las preguntas que exploran la misma idea en el cuestionario 1). Puede comprobarse que los porcentajes de universitarios que presentan las ideas alternativas estudiadas son parecidos en el cuestionario 1 y en el de secundaria, a excepción de la idea alternativa de evolución hacia la perfección o progreso. Sin embargo,

los porcentajes para universitarios son más elevados en el cuestionario 2 que en el 1, quizás debido a su formulación más comprensible y detallada.

Los altos porcentajes obtenidos en el segundo cuestionario para universitarios están, además, asociados con esquemas explicativos de cierta consistencia: el 60% de ellos elige las opciones alternativas en 3 de las 4 preguntas del cuestionario, mientras el 25% lo hace en las 4 preguntas; sólo el 5% de estos sujetos falla en 1 pregunta únicamente.

Conclusiones

En este trabajo exploratorio pretendíamos estudiar qué ideas permanecen en la memoria a largo plazo de la población culta adulta, no especialista en Ciencias experimentales (universitarios), sobre Evolucionismo biológico. La hipótesis de partida es que quizás algunas de las ideas alternativas que se han puesto de manifiesto en estudios con adolescentes en situación de clase, pueden ser revisadas más adelante, como consecuencia de la maduración y del aumento de las capacidades metacognitivas (control de la comprensión) cuando los sujetos se enfrentan de nuevo a situaciones concretas que deben explicar.

Se confeccionaron dos cuestionarios relacionados entre sí, que recogieron las ideas alternativas que la literatura especializada ha señalado como más extendidas. El primero intentó desvelar qué ideas alternativas están más presentes en nuestra muestra de univer-

sitarios. El segundo intentó precisar la naturaleza de las ideas alternativas importantes detectadas en el primero. Para dar completitud a esta investigación se estudió sincrónicamente una muestra de estudiantes de secundaria con el fin de comparar el tipo de ideas alternativas presentes.

Los resultados muestran que, a grandes rasgos, los estudiantes universitarios que participaron en este estudio poseen un conocimiento muy limitado de la teoría darvinista de la evolución. A pesar de que la idea de la existencia de cambio está presente en un altísimo porcentaje, las razones expuestas para explicar el hecho evolutivo son superficiales e, incluso en muchas ocasiones, antropomórficas, vitalistas e incluso teleológicas (i.e. los seres vivos evolucionan porque lo necesitan para sobrevivir). En definitiva persiste la idea de evolución como un proceso dirigido. Este aspecto ha sido ampliamente documentado por diferentes autores (Grau y De Manuel, 2002; Schilders et al.; 2007).

En los estudiantes universitarios, que representan la población adulta y culta en esta exploración, persisten las mismas ideas alternativas que están presentes en los estudiantes de Secundaria. Los porcentajes de universitarios que las manifiestan son incluso superiores a los de adolescentes:

1. Un elevado número de sujetos universitarios acepta el hecho evolutivo, pero no utiliza ideas darvinistas para explicarlo. Aparecen elevados porcentajes de respuestas (superiores al 90%)

asociadas con las ideas lamarckianas de evolución por necesidad de sobrevivir (asociado en general con un 'esfuerzo resistente') y de cambio por uso/desuso del órgano. Estos porcentajes superan a los obtenidos en la muestra de estudiantes de secundaria. Este resultado replica otros estudios anteriores (Bishop y Anderson, 1990; Ayuso y Banet, 2002).

2. La idea de la evolución como progreso (hacia la perfección) de las especies, asociado quizás con la complejidad, es también una idea arraigada, presente en un 85% de los sujetos universitarios de nuestra muestra. Este porcentaje es similar, aunque algo menor, que el obtenido para los adolescentes (94%), replicando los resultados que Samarapungayan y Reinout (1997) encontraron para estudiantes de estas edades.

3. En los estudiantes universitarios se ha explorado el problema del 'Diseño Inteligente' que se asienta sobre una base teleológica. El 80% de ellos se muestra confortable con esta hipótesis, defendida por los creacionistas. Por tanto, a estos estudiantes les resulta todavía difícil aceptar la evolución como consecuencia del azar y la selección acumulativa de pequeñas ventajas. Este dato concuerda con los resultados obtenidos por Firenze (1997), que muestra que, para el caso de órganos complejos, los sujetos no logran comprender el resultado usando únicamente argumentos darvinistas y, entonces, recurren a explicaciones creacionistas. Este aspecto no se exploró con los alumnos de secundaria porque la sinceridad de

sus respuestas (iban a estudiar el tema en breve y ser evaluados después), no estaba garantizada.

4. Las ideas alternativas (lamarckianas) de los universitarios no especialistas parecen constituir esquemas explicativos consistentes, ya que hasta el 85% de la muestra escoge estas ideas en 3 ó en las 4 preguntas de que consta el cuestionario 2.

En resumen, este estudio evidencia que persisten en la población culta no especializada ideas alternativas sobre las teorías evolutivas y que se mantienen bien arraigadas en la memoria a largo plazo como indican las diferentes investigaciones sobre el tema (Demastes et al., 1996; Abrams, 2001; Ayuso y Banet, 2002). En los límites de este estudio, nuestra hipótesis resulta falsada: los estudiantes universitarios no especialistas en ciencias experimentales, no mejoran sus representaciones sobre evolución manteniendo en ellas una mezcla de ideas alternativas (lamarckianas, teleológicas, creacionistas) con ideas acordes con el darwinismo (origen común para la Vida, papel de la genética en los cambios en las especies).

Todo ello pone de manifiesto cierta ineficacia en la Educación Científica a la hora de transmitir una cultura básica a los ciudadanos. Skoug y Biolica (2002), señalan que la enseñanza tradicional no ha facilitado el aprendizaje de conceptos evolutivos (coincidiendo con otros estudios, como los de Samarapungavan y Milikowsks, 1992; Demastes et al., 1996; Blackwell et al, 2003) y que incluso tras

finalizar su formación, los estudiantes presentan errores conceptuales sobre la evolución. En contra de nuestra hipótesis tentativa, no se aprecia un efecto del aumento de la capacidad para detectar inconsistencias y revisar ideas aceptadas entre los universitarios. Una razón posible es que el aumento de maduración no es un factor suficiente para ello. Algunos investigadores asumen esta posibilidad y atribuyen la causalidad del problema a diseños instruccionales deficientes que ignoran factores epistemológicos y ontológicos en la construcción del conocimiento científico. Otra razón posible para la persistencia de las ideas alternativas es que el aumento supuesto de las capacidades metacognitivas no haya tenido lugar. Hay investigaciones apuntan en esta dirección, y sugieren causas ligadas a niveles insuficientes de capacidades psicológicas básicas para comprender en profundidad la información científica que se suministra a los estudiantes (Fernández et al., 2007; Campanario y Otero, 2000). En este caso, los potenciales beneficios de diseños instruccionales bien planificados no podrían ser aprovechados.

Referencias Bibliográficas

ABRAMS, E. (2001) The how's and why's of biological change: how learners neglect physical mechanisms in their search of meaning. *International Journal of Science Education*, 23(12), 1271-1281

ALBALADEJO, C. y LUCAS, A.M. (1989). Pupils' meaning for "mutation". *Journal of Biological Education*, 22(3), 215-219.

AYUSO, E. y BANET, E. (2002). Pienso más como Lamarck que como Darwin: Comprender la herencia biológica para entender la evolución. *Alambique IX* (32), 39-47.

BANET, E. y AYUSO, E. (2003). Teaching of Biological Inheritance and Evolution of living beings in Secondary School. *International Journal of Science Education*. 25(3), 373-407.

BASIL, P.A. y SANDFORD, J.P. (1991). Conceptual change strategies and cooperative group work in chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(4), 293-304.

BISHOP, B. y ANDERSON, C.W. (1990) Student Conceptions of Natural Selection and it's role in Evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(5) 415-427

BLACKWELL Will, H; POWELL Martha, J; DUKES George, H. (2003) Review the problems of student acceptance of evolution. *Journal of Biological Education*, 37(2), 58-64.

BRUMBY, M. (1979). Problem in learning the concept of Natural Selection. *Journal of Biological Education*, 13(2), 119-122.

BRUMBY, M. (1984). Misconceptions about the concept of Natural Selection by medical biology students. *Science Education*, 68(4), 493-503.

CAMPANARIO, J.M. y OTERO, J.C. (2000) Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las

- pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 155-169.
- CARAVITA, S. y HALLDEN, O. (1994). Re-framing the problem of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4 (1), 89–111.
- DEMASTES, S.S., GOOD ROLAND, G. y Peenles, P. (1996). Patterns of conceptual change in Evolution". *Journal of Research in Science Teaching*, 33(4), 407-431.
- DRIVER, R. GUESNE, E. y TIBERGUIEN, A. (1989) Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia. Madrid: MEC y Morata.
- ENGEL, E. y WOOD, C., 1985 How secondary students interpret instances of biological adaptation. *Journal of Biological Education*, 19(2), 125-130.
- FERNÁNDEZ, J.J.; SANJOSÉ, V. y OTERO, J. (2007). Influencia del control de la comprensión y del nivel de comprensión lectora sobre el aprendizaje de la Evolución. Comunicación presentada en el Congreso nacional de la asociación de Enseñantes de Ciencias Gallegos ('Enciga').
- GÁNDARA GÓMEZ, M., GIL, M.J. y Sanmartín, N. (2002). Del modelo científico de "adaptación biológica" al modelo de "adaptación biológica" en los libros de texto de Enseñanza Secundaria Obligatoria. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(2), 303-314.
- GRAU, R y DE MANUEL, J (2002). Enseñar y aprender evolución: una apasionante carrera de obstáculos. *Alambique IX* (32), 56-64.
- GONZÁLEZ GALLI, L., ANDÚRIZ-BRAVO, A. y Meinardi, E. (2005). El Modelo Cognitivo de Ciencia y los obstáculos en el aprendizaje de la Evolución Biológica. Número Extra dedicado al VI Congreso de Enseñanza de las Ciencias, 1-6.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M^a P. (1989). Los esquemas conceptuales sobre la Selección Natural: Análisis y propuestas para un cambio conceptual. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.
- LAWSON, A.E. (1988). The acquisition of Biological knowledge during childhood: cognitive conflict or tabula rasa? *Journal of Research in Science Teaching*, 25(3), 185-199.
- LIMÓN, M., y CARRETERO, M. (1997). Conceptual change and anomalous data: a case study in the domain of natural sciences. In S. Vosniadou & W. Schnotz (Eds), *Advances in Conceptual Change Research*. Special Issue of the *European Journal of Psychology of Education*, XII (2), pp. 213-230.
- MASON, L. (2007). Refutational text, epistemic beliefs and interest: The interplay of instructional and individual characteristics in the process of conceptual change. *Developing Potentials for Learning*. Earli. 12th Biennial Conference for Research on Learning and Instruction. Budapest. Hungría, 484.
- POZO, J.I. (1996). *Aprendices y maestros*. Madrid: Alianza.

- SAMARAPUNGAYAN, A. y REINOUT, W. (1997) Children's thought on the origin of species. A study of explanatory coherence. *Cognitive Science*, 21(2), 147-177.
- SAMARAPUNGAVAN, A. y MILIKOWSKS, M. (1992). Knowledge acquisition in Evolutionary Biology. *International Journal of Psychology*. 27, 589-600.
- SCHILDERS, M.; BOERSMA K. y SLOEP, P. (2007). Enculturation and the apparent incompatibility of religion and the theory of evolution. *Developing Potentials for Learning*. Earli. 12th Biennial Conference for Research on Learning and Instruction. Budapest. Hungria.
- SKOUG, G. y BIOLICA, K. (2002). The emphasis given to evolution in State Science Standards. A lever for change in evolution education? *Science Education* 4(86), 445-450.
- TYSON, L.; VENVILLE, G.; HARRISON, A. y Treagust, D. (1997) A multidimensional framework for interpreting conceptual change events in the classroom. *Science Education*, 81, 387-404.
- VIENOTT, L. (1979). *La Raisonement Spontanée en Dynamique Elementaire* (Spontaneous reasoning in elementary mechanics). Paris: Hermann.