



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**PERFILES
EDUCATIVOS**

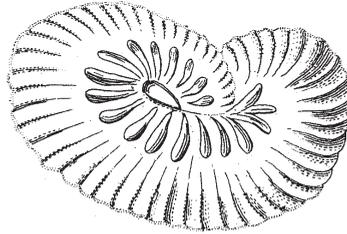
ISSN 0185-2698

**Hernández Rodríguez, María Cristina, Ruiz Gutiérrez, Rosaura (2000)
“KUHN Y EL APRENDIZAJE DEL EVOLUCIONISMO BIOLÓGICO”
en Perfiles Educativos, Vol. 22 No. 89-90 pp. 92-114.**

*Kuhn y el aprendizaje del evolucionismo biológico**

MARÍA CRISTINA HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ**

Y ROSAURA RUIZ GUTIÉRREZ***



El artículo destaca la importancia del evolucionismo en el contexto de la biología moderna y señala las dificultades que existen en su aprendizaje. Sostiene que aun cuando en la licenciatura los alumnos tienen la capacidad cognitiva para comprender la teoría evolutiva, estudios reportados muestran que mantienen concepciones que no son válidas para el evolucionismo contemporáneo. El autor analiza las posibilidades didácticas que ofrece el empleo de un enfoque histórico-epistemológico; particularmente habla sobre cómo el modelo historiográfico de Thomas Kuhn puede utilizarse para favorecer la comprensión del evolucionismo en universitarios. Enfatiza que la dimensión histórico-epistemológica representa una magnífica oportunidad para estudiantes y profesores de aprender el lenguaje de la ciencia, y de favorecer su comprensión acerca de las teorías y conceptos científicos.

This article highlights the importance of evolutionism in modern biology and points out the difficulties that can be experienced while learning this discipline. He argues that although the undergraduate students have a great cognitive capacity to understand the evolutionist theory, published studies show that they maintain ideas which are completely invalid for contemporary evolutionism. The author analyses the didactical possibilities that offers the use of a historical-epistemological perspective, with a particular interest about how Thomas Kuhn's historiographical model can be used to make easier for undergraduate students the understanding of evolutionism. He also emphasizes that the historical-epistemological dimension is a great opportunity for students and teachers to learn the language of science and to contribute to a better understanding of the theories and concepts of science.

Evolución / Selección natural / Ciencia normal / Revolución científica /
Comprensión / Aprendizaje del lenguaje / Inconmensurabilidad
*Evolution / Natural selection / Normal science / Scientific revolution /
Understanding / Language learning / Incommensurability*

INTRODUCCIÓN

El evolucionismo constituye la disciplina más integradora de la biología moderna, y su adecuada comprensión es fundamental para los aprendices de ciencia, en virtud de que ofrece las herramientas conceptuales que posibilitan una visión sintética e integral de los fenómenos biológicos. Sin embargo, en diversos niveles educativos existe una compleja problemática en torno a la asimilación de estos temas.

Estas dificultades han traído como consecuencia el interés en comprender cómo conciben los estudiantes de ciencia los mecanismos de la evolución, ya que aunque estudiantes y profesores manifiesten tener conocimientos básicos de la teoría de la selección natural (explicación fundamental del evolucionismo contemporáneo), al analizar sus ideas se encuentran concepciones que difieren de las aceptadas por Darwin y por los biólogos en la actualidad. Esta problemática se presenta en alumnos de niveles medio y medio superior, y aun en estudiantes universitarios.

La anterior situación ha sido explicada mediante diversas razones; entre ellas se señala la capacidad cognitiva de los estudiantes, las deficiencias en el enfoque didáctico y la gran complejidad de la teoría, que dificulta su adecuada transmisión por parte de los profesores, entre muchos otros aspectos.

El evolucionismo plantea que el cambio de las especies se debe a dos procesos fundamentales: la producción azarosa de la variación, dada por mutaciones o recombinación genética, y el mantenimiento de ésta mediante el mecanismo de la selección natural. Esto significa que la variación aparece de manera espontánea dentro de una población, y su carácter adaptativo depende de las condiciones específicas del medio en que se presenta. Por ello, se habla de un proceso en que intervienen el azar y la necesidad, es decir, el surgimiento de las variaciones sin relación con las necesidades del organismo, seguida por una acción determinista de la selección natural.

Carlos Darwin en 1859 llama selección natural a la preservación de las variaciones favorables y la supresión de las desfavorables. Considera que la selección natural no puede hacer nada sin el surgimiento de variaciones. La selección natural no provoca los cambios, pero sí orienta la transformación de los seres vivos al favorecer a los individuos que presentan variaciones que les confieren alguna ventaja, pues una variación por pequeña que sea puede ser la diferencia entre la sobrevivencia y la muerte, y entre la posibilidad de dejar descendencia o no (Darwin, 1994).

Otro aspecto importante de la teoría es su enfoque poblacional, es decir, la consideración de que las poblaciones evolucionan porque en algunos de sus miembros aparecen variaciones que les confieren alguna ventaja adaptativa con respecto a los demás. La aparición espontánea de una variación es una condición necesaria para el cambio; el paso siguiente es la acción de la selección natural que da como resultado la adaptación diferencial de los organismos que conforman las poblaciones, basada en dichas variaciones individuales.

* Este trabajo muestra parte de los resultados de la tesis doctoral "La historia en la enseñanza de la teoría de la selección natural", realizada en el Laboratorio de Historia de la Biología de la Facultad de Ciencias de la UNAM, con el apoyo de CONACYT.

** Directora General del Posgrado, UNAM. Coordinadora del Laboratorio de Historia de la Biología y Evolución, Facultad de Ciencias, UNAM. mchr@hp.fciencias.unam.mx

*** Profesora en el Laboratorio de Historia de la Biología y Evolución, Facultad de Ciencias, UNAM. rrg@hp.fciencias.unam.mx

En el contexto educativo, un número significativo de trabajos muestra que existe una gran dificultad para que los alumnos logren comprender los planteamientos centrales del evolucionismo. Las investigaciones realizadas sobre este punto manifiestan la existencia de numerosas concepciones acerca del proceso evolutivo que no son válidas desde el punto de vista científico y, aun en estudiantes universitarios, persisten después de la instrucción formal en el tema. Algunos estudios indican que los estudiantes encuentran que la evolución es un concepto difícil y pocos son capaces de aplicar el concepto de selección natural en situaciones ambientales comunes.

Diversos estudios señalan que una de las principales ideas de los alumnos respecto a la evolución de las especies encontrada en casi todos los niveles educativos, es que atribuyen frecuentemente este proceso a la intención deliberada de los organismos individuales, que cambian por necesidad o por el mayor uso o desuso de ciertas partes. Otros aspectos importantes se refieren a la falta de claridad respecto al origen y mantenimiento de las variaciones que aparecen en los seres vivos; las dificultades para comprender ideas como la adaptación, que es vista como aclimatación, o problemas para comprender las diferentes escalas de tiempo (Brumby, 1979, 1984; Greene, 1990; Bishop y Anderson, 1985; Settlage, 1994; Settlage *et al.*, 1996; Trowbridge y Wandersee, 1994; Zuzovsky, 1994).

Un punto significativo es que no cuentan con un pensamiento poblacional, lo cual tiene grandes implicaciones en la comprensión general de la teoría evolutiva (Grenne, 1990). También es común encontrar ideas según las cuales el ambiente es el responsable de los cambios que se producen en los organismos (Sánchez, 2000).

Cabe señalar que muchas de estas ideas concuerdan con los planteamientos de J. B. Lamarck hechos a principios del siglo XIX, quien propuso una de las primeras teorías sobre el proceso de cambio de las especies; explicación que actualmente no se considera válida.

Un aspecto importante es la falta de claridad respecto al carácter dual (el azar y la necesidad) de la evolución o de la explicación de la evolución, ya que crea mucha confusión en los estudiantes. Muchos piensan que la producción de variaciones es dirigida a resolver las necesidades, o los problemas biológicos de los organismos; en ocasiones, cuando logran entender que lo que no es azaroso es el carácter adaptativo o no adaptativo de una variación, asumen que la evolución es resultado del azar y no comprenden el papel determinístico de la selección natural; no logran deslindar entre los eventos azarosos como la mutación y la deriva génica, y los determinísticos como la selección natural.

En el nivel superior, la idea de evolución por selección natural es frecuentemente mal interpretada incluso después de la instrucción. Brumby (1984) reporta una importante tendencia en estudiantes de medicina de primer año, a usar la idea lamarckiana de la herencia de los caracteres adquiridos para explicar la transformación de las especies. Bishop y Anderson (1985) encontraron que virtualmente ninguno de los estudiantes de un curso universitario de biología entendía los conceptos centrales del mecanismo de la selección natural, como tampoco 88% de quienes ya habían tomado cursos de biología. Otros estudios reportan que uno de cada tres estudiantes universitarios de agronomía optaban por explicaciones teleológicas de los fenómenos evolutivos. Estos datos concuerdan con los resultados de Brumby (1984), quien encon-

tró que de 14% a 67% de estudiantes de primer año de medicina entienden la idea de la selección natural, dependiendo del problema que se les plantee, y también Sánchez (2000) en un estudio realizado con estudiantes mexicanos.

Bishop y Anderson (1985) plantean que estudiantes universitarios, antes de la instrucción, virtualmente no entienden cómo los cambios en las poblaciones son generados o cuál es el papel de las variaciones en este proceso; no ven a la evolución como un cambio poblacional. Estos autores sostienen que después de la instrucción, 50% logra modificar sus ideas.

Brumby (1979) reporta que sólo 18% de un grupo de estudiantes universitarios de primer ingreso con un avanzado nivel de conocimiento biológico pudieron aplicar consistentemente el concepto de selección natural en problemas ambientales comunes. En sus explicaciones, más de la mitad de los estudiantes formulan equivocadamente una “teoría de la adaptación por mutación inducida”, en lugar de una “teoría de la evolución por selección natural. En otros análisis se señala que algunos estudiantes tienen un pobre entendimiento de los conceptos de adaptación, inmunidad, el origen de las mutaciones y las leyes de la herencia. Una causa importante de estos errores es que los estudiantes extrapolan los cambios ocurridos durante el tiempo de vida de un individuo para dar cuenta de los cambios evolutivos que alteran poblaciones en muchas generaciones. Asimismo, se señala que algunas de las frases que utilizan los profesores de enseñanza media contribuyen a desarrollar en los estudiantes una confusa explicación lamarckiana del proceso evolutivo (por ejemplo, que el cambio es por necesidad).

Según Brumby (1984), existen tres errores particularmente significativos:

- La mayoría de los estudiantes hablan de un “proceso de mutación” (que significa un cambio permanente en una característica), lo cual supone que todas las mutaciones son causadas por cambios en el medio; en ello está ausente la idea de que las poblaciones contienen variación individual que aparece por mutaciones espontáneas.
- La adaptación es descrita como un proceso positivo (aclimatación), en lugar de ser vista como el resultado final de la selección del mejor adaptado.
- Los estudiantes no toman en cuenta el significado de las escalas de tiempo en la evolución. Ellos extrapolan la idea de cambios que ocurren en la vida de los organismos para explicar los cambios ocurridos en las poblaciones en muchas generaciones.

Como hemos señalado, los patrones de malas interpretaciones son esencialmente similares a la interpretación lamarckiana de la evolución; algunos autores plantean que tales patrones actúan como barrera en el aprendizaje formal de la teoría.

Ante estas dificultades se han generado discusiones sobre cuándo y cómo deben enseñarse los conceptos y teorías evolutivas. Se plantea, por ejemplo, que es más conveniente introducir estos temas en el nivel medio superior, debido a que hasta entonces los estudiantes tienen el desarrollo cognitivo adecuado para asimilar una teoría tan abstracta y compleja como la evolutiva. Por otro lado, se dice, en lugar de postergar el tema es necesario mejorar las estrategias didácticas para impartirlo más satisfactoriamente, es decir, que el problema no radica en la capacidad de los estudiantes de entender la teoría, sino en las estrategias utilizadas para enseñarla.

En el nivel licenciatura, a pesar de que los alumnos tienen la capacidad cognitiva para comprender la teoría evolutiva, los estudios presentados anteriormente muestran que también ellos mantienen concepciones que no son válidas para el evolucionismo contemporáneo. El asunto, entonces, no es trivial.

Con el fin de abordar esta problemática en particular y la del aprendizaje de la ciencia en general, la investigación educativa ha tenido un gran desarrollo que ha puesto en duda muchos de los fundamentos que sostienen la práctica escolar tradicional; las líneas de investigación en la actualidad tienen por objeto la generación de nuevas aproximaciones de análisis del proceso educativo. Estos nuevos enfoques han retomado algunos planteamientos provenientes de las teorías cognitivas y de los campos de la epistemología y la historia de la ciencia.

A partir de las consideraciones anteriores, en este trabajo nos abocaremos a analizar las posibilidades didácticas que ofrece el empleo de un enfoque histórico-epistemológico en la enseñanza del evolucionismo; particularmente hablaremos sobre cómo el modelo historiográfico de Thomas Kuhn (1982; 1989) puede utilizarse para favorecer la comprensión del evolucionismo en estudiantes universitarios. Pero antes, señalaremos en qué sentido la epistemología y la historia de la ciencia pueden ser empleadas en el contexto de la educación.

LA HISTORIA Y LA EPISTEMOLOGÍA DE LA CIENCIA COMO ENFOQUE DIDÁCTICO

A pesar de que la formación de investigadores es uno de los objetivos fundamentales de la educación superior en el área científica, generalmente los planes de estudio y los métodos de enseñanza no siempre logran

el objetivo de hacer comprender a los estudiantes los conocimientos científicos que se le enseñan en la escuela, ni le ofrecen los elementos suficientes que lo capaciten para enfrentar y solucionar problemas concretos de investigación o para la toma de decisiones en cuanto a las políticas científicas en el área en que se desempeñan (Suárez, 1993; Hernández, 1995, 1996).

Los estudiantes de ciencias conocen poco acerca de la construcción teórico-metodológica relacionada con su área de conocimiento (Gil, 1986; Suárez, 1993). Con relación a la actualización teórico-conceptual, normalmente existe un desfase entre el momento en que se produce el conocimiento científico y su introducción en los programas de enseñanza (Mendoza, 1992). Además, en la mayoría de los casos no se señala la forma como se construyeron los paradigmas vigentes (Matthews, 1989; Gil, 1986; Kuhn, 1982).

Novak (1988) señala que esta concepción positivista, que la mayoría de los estudiantes y profesores tienen sobre la naturaleza y producción del conocimiento científico, probablemente impide el aprendizaje de la ciencia y da cuenta en parte de la persistencia de concepciones erróneas ampliamente sostenidas. Esto indica que los esfuerzos educativos, que sólo son dirigidos a la enseñanza de los conceptos "correctos", no son suficientes para modificar de manera positiva el marco conceptual de la mayoría de los estudiantes. Desafortunadamente, aunque en los círculos filosóficos el empirismo y el positivismo pueden estar muertos, en los currículos de ciencia siguen demasiado vivos.

En la escuela se ha extendido el mito de que la ciencia posee un método para llegar a la verdad, que está libre de juicios de valor y es inalterable. En la actualidad, este mito es atacado; la filosofía de la cien-

cia ha planteando nuevos enfoques donde se concibe a la ciencia como una empresa humana, donde los métodos y concepciones cambian en la medida en que lo hacen las comunidades científicas. Estos aspectos tienen grandes implicaciones en la educación, sin embargo, la historia y la filosofía de la ciencia han sido casi ignoradas en la práctica educativa.

La educación tradicional generalmente ofrece una imagen poco real de la actividad científica. Es común que en la escuela se piense que la ciencia se caracteriza por tener un desarrollo progresivo, acumulativo y lineal, y generalmente los conocimientos se enseñan como hechos acabados y verdaderos. No siempre se presenta una idea clara del proceso de producción del conocimiento científico ni de los errores que los científicos enfrentan para llegar a la construcción de una teoría (Novak, 1982; Gil, 1986). Así, la enseñanza de la ciencia casi nunca muestra los problemas que se han planteado a lo largo de la historia; poco se analiza acerca de las diversas aproximaciones que desde posiciones filosóficas, marcos teóricos y estrategias metodológicas distintas, interpretan algún problema científico.

El contenido de los cursos, los libros de texto, etc., en la mayoría de los casos está estructurado a partir de teorías y enunciados que han resuelto un cierto tipo de "problema", pero no siempre se plantea a los alumnos las diferentes formas y estrategias por el que éste ha sido interpretado o explicado. Es decir, el contenido conceptual que se presenta a los alumnos no contiene problemas, sino únicamente soluciones. Esto puede traer como consecuencia que el conocimiento científico parezca un conjunto de datos arbitrarios e inconexos, lo cual tiene profundas implicaciones en el proceso de aprendizaje de los estudiantes y en su capacidad de resolver problemas de investi-

gación. De esta manera, para el alumno, el conocimiento científico es en varios sentidos incomprensible, ya que los contenidos científicos y los enfoques didácticos que se llevan a cabo en la escuela no toman en cuenta características esenciales de la ciencia (Hernández, 1995).

Otero (1986) señala que de acuerdo con la teoría del aprendizaje de Ausubel, el aprendizaje significativo tiene lugar cuando el que aprende conecta de manera no arbitraria la nueva información con ideas que ya posee. Por tanto, al suprimir los elementos involucrados en las reformulaciones conceptuales de la ciencia con fines pedagógicos, desaparece el componente que hace menos arbitrario su contenido.

Otro aspecto importante es que los contenidos conceptuales de planes de estudio, cursos, libros de texto y otras herramientas de enseñanza, generalmente se enfocan al análisis del conocimiento que las comunidades científicas actualmente considera válido. En este contexto, el contenido de los libros de texto, por ejemplo, debe ser aceptado por los estudiantes, ya que provienen de fuentes "autorizadas" o "autoritarias", como son las comunidades científicas (Kuhn, 1982).

Kuhn ha planteado que los científicos se forman a partir del análisis de los "paradigmas" dominantes. Así, los alumnos estudian detalladamente los marcos teóricos y metodológicos que el "paradigma" actual considera válidos (Kuhn, 1982). También ha señalado que el conocimiento y la habilidad de una ciencia son transmitidos en el curso de una formación dogmática y completamente estructurada, durante la cual se inculca un profundo compromiso hacia los modos existentes de percepción, las creencias, los paradigmas o problemas-soluciones y los procedimientos. Tal compromiso es la condición previa de la ciencia normal, la

forma característica que adopta la investigación en un campo desarrollado, que equivale a “un esfuerzo tenaz y pertinente por forzar a la naturaleza a entrar en las cajas conceptuales de la educación profesional” (Ruiz, 1996).

En el mismo sentido, Lakatos (1978) señala que las comunidades científicas desarrollan programas de investigación apoyados en sistemas de teorías y unidos en torno a un núcleo duro o centro de la teoría que es equivalente al paradigma kuhniano en cuanto no está a discusión. Y no debe estar a discusión provisionalmente, pero sólo con motivos metodológicos (por ejemplo, mientras se buscan evidencias a favor de una teoría); eso no significa considerar una teoría como conocimiento absoluto, como ocurre con frecuencia en el proceso de formación de los nuevos científicos. El adiestramiento de investigadores se distingue por estar basado en libros y artículos que se transforman en textos de enseñanza. Así, el futuro científico aprende la terminología de un campo de trabajo determinado, los métodos y las técnicas que en ese momento se consideran válidos para obtener conocimientos en esa área, y conoce las formas de percepción adecuadas a su objeto de estudio. No obstante, es evidente que entre las observaciones al microscopio o al telescopio del estudiante, del profesor y del científico, media toda una formación teórica y metodológica que las hace distintas (Ruiz, 1996).

Sin embargo, sostiene Ruiz (1996), aunque invariablemente está organizada como preparación para la investigación, la formación científica basada acríticamente en paradigmas no instruye a los estudiantes en la práctica de la investigación ni les enseña la forma en que los métodos y las técnicas se pueden combinar y adaptar para vencer las dificultades con que se puede tropezar en

la investigación real. En su lugar, la formación se concentra en la transmisión de los conocimientos existentes. Puede decirse que otorga los recursos conceptuales y técnicos necesarios para la investigación, y presupone sencillamente que esos recursos serán bien utilizados. Este tipo de formación no genera ni fomenta rasgos como la creatividad o el rigor lógico.

De lo anteriormente señalado, se puede afirmar que la enseñanza de la ciencia constituye un problema altamente complejo; así, normalmente se observan dos tendencias: *a*) la ciencia se presenta como un cúmulo de resultados pero sin historia, y *b*) la ciencia se trata como algo que puede ser captado por los ejemplos de trabajo de los libros científicos.

Ambas actividades, es decir, el análisis de los resultados de la ciencia y de los ejemplos científicos estándares, son importantes para la iniciación en las complejas actividades involucradas en una disciplina científica. Sin embargo, fallan al no transmitir al estudiante: la excitación del descubrimiento científico; los problemas conceptuales para el desarrollo de nuevos dominios en la investigación científica o el avance de los viejos; la gran cantidad de dificultades en la interpretación y construcción de las teorías, y los problemas filosóficos y éticos que enfrentan los científicos durante el proceso de construcción de una teoría. En este sentido, sostiene Ruiz (1996), es importante fomentar en los aprendices una actitud creativa que les permita analizar y criticar los conocimientos que se les enseña en la escuela.

La historia y la epistemología de la ciencia, entonces, deberían jugar un papel crucial en la educación, ya que representan la posibilidad de aprender el lenguaje de la ciencia. Se habla de la historia y la epistemología porque no se trata de la historia

como un conjunto de datos ordenados cronológicamente, sino del análisis de los problemas que han abordado los científicos y de las formas que han dado lugar a sus soluciones. De esta manera, conocer el proceso histórico-epistemológico de construcción de los principios, las teorías y los métodos científicos, puede favorecer que los estudiantes tengan una perspectiva más integral de la ciencia y logren una mejor comprensión de los fenómenos que estudian.

En este sentido, en este trabajo queremos resaltar que la toma de conciencia de la dimensión histórica y filosófica de la ciencia, particularmente por parte de los profesores, puede representar una contribución importante en el proceso de enseñanza-aprendizaje en el aula, en el desarrollo de un currículum más coherente, y en la formación integral de los futuros científicos.

El enfoque que ofrece la historia y la epistemología de la ciencia puede abordarse desde distintas perspectivas, sin embargo, ante todo debe verse como una herramienta para comprender el proceso de desarrollo del conocimiento científico. De esta manera, puede constituirse como una vía para generar discusiones sobre lo que es conocer y cómo se conoce; así, puede ayudar a mostrar que el conocimiento actual es resultado de un largo proceso, en el que algunas experiencias no son suficientes para cambiar una teoría y los factores sociales tienen un peso importante (Novak, 1982; Gagliardi y Giordan, 1986; Gagliardi, 1988; Matthews, 1989).

Como tema de enseñanza, la historia de la ciencia puede ser empleada, por ejemplo, para generar discusiones sobre aspectos centrales de la ciencia, como es el caso de la "verdad" científica. Mediante el uso de esta herramienta didáctica puede mostrarse que los conocimientos actualmente considerados válidos no son "verdades eternas", sino cons-

trucciones realizadas en un contexto social definido y con una validez temporal (Gagliardi y Giordan, 1986). Las discusiones en torno a los periodos de grandes transformaciones científicas pueden mostrar la influencia de los factores sociales, económicos y políticos que entraron en juego en la aceptación y legitimación de una teoría. Esto puede ofrecer al estudiante herramientas conceptuales para comprender el estado actual de la ciencia como institución social, que le sirva para conocer su estructura actual, su relación con el poder, su ideología, así como los sectores que la controlan y se benefician con los resultados de esta actividad (Gagliardi, 1988; Tamir, 1989).

En otro sentido, Duschl (1997) sostiene que el análisis del desarrollo de las teorías científicas puede orientar las decisiones sobre qué contenidos son más importantes en la enseñanza de una disciplina, ya que ofrece una alternativa de solución al problema de la amplitud de temas que la mayoría de los currículos presenta, situación que muchas veces limita la posibilidad de abordarlos con la profundidad requerida. Señala que el estudio del desarrollo de la ciencia muestra que las teorías científicas se encuentran en el núcleo del proceso de construcción del conocimiento, ya que la ciencia busca la comprensión de los fenómenos naturales y las teorías representan estas explicaciones. De igual forma, mediante el estudio de los procesos cognitivos se sabe que el sistema conceptual de un individuo sirve como teoría personal que guía el proceso de aprendizaje. Así, las teorías, traducidas en contenidos escolares, son el punto de encuentro entre la disciplina científica y el estudiante de ciencia. Los profesores, en este sentido, pueden emplear como herramientas las pautas metodológicas que han propuesto los filósofos e historiadores de la ciencia para explicar la es-

estructura y reestructuración de las teorías científicas.

Una forma de utilizar estos planteamientos puede servir para planificar y tomar decisiones sobre la selección y secuencia de los contenidos a enseñar. Por ejemplo, el estudio de la epistemología nos muestra que no todos los enunciados de una teoría son igualmente importantes. Por ejemplo, Lakatos (1978) plantea que los programas de investigación se caracterizan por poseer un “centro firme” y un conjunto de hipótesis auxiliares que forman un cinturón protector en torno a él. El cinturón protector que recibe los impactos de las contrastaciones puede ser ajustado y reajustado, incluso ser sustituido con el propósito de defender al centro firme. Este centro es irrefutable por decisión metodológica de sus defensores y las anomalías sólo pueden originar cambios en las hipótesis auxiliares. En este sentido, el centro firme es el que guía el desarrollo del programa de investigación, desde el punto de vista teórico y metodológico. En la escuela podrían definirse los contenidos escolares tomando como base estas consideraciones. Así, de acuerdo con el nivel educativo y las intenciones de los cursos que conforman un plan curricular, podría decidirse sólo estudiar el “centro firme”, por ejemplo, ya que plantea los aspectos fundamentales de la disciplina en cuestión; o según el caso, podrían abordarse aspectos más particulares, que en términos de Lakatos serían las hipótesis auxiliares.

Considerando lo anterior, un componente central del proceso de toma de decisiones del profesor es que tenga un conocimiento sólido de los temas a enseñar. Sería deseable, entonces, que no sólo conozca los hechos, principios y definiciones científicas, sino también la estructura de su disciplina (los problemas rectores, los

problemas relevantes a investigar y los métodos utilizados para llevar a cabo y para evaluar las teorías científicas), así como la forma como esta estructura conceptual se ha constituido a lo largo de la historia. Dado que el conocimiento científico propone alternativas para entender y explicar por qué algo ocurre o existe tal como es, a diferencia del conocimiento del sentido común, los hechos en sí mismos no nos dicen gran cosa; son las relaciones entre los hechos las que se desarrollan como nuestras representaciones del mundo y las que permiten su comprensión.

Con esta perspectiva, en este trabajo nos enfocaremos a analizar las aportaciones de Thomas Kuhn en torno a esta problemática, principalmente sus consideraciones sobre cómo abordar el proceso de formación de científicos. Antes de desarrollar este tema, es necesario contemplar algunos aspectos sobre su concepción general del cambio científico.

LA NATURALEZA DEL CAMBIO CIENTÍFICO SEGÚN KUHN

Kuhn (1982; 1989) sostiene que, en el desarrollo de la investigación científica, la ciencia normal es la que produce continuamente “los ladrillos que se añaden al creciente edificio del conocimiento científico”. Sin embargo, el desarrollo de la ciencia manifiesta también una modalidad no acumulativa, la ciencia extraordinaria, y los periodos que la exhiben aportan claves únicas sobre aspectos centrales del conocimiento científico. Los cambios revolucionarios son problemáticos debido a que se ponen en juego descubrimientos que no pueden explicarse utilizando los conceptos anteriores. Para realizar o asimilar un descubrimiento de este tipo, debe alterarse el modo en que se piensa y se describe un rango de fenóme-

nos naturales. Estos cambios no incluyen únicamente transformaciones en las leyes de la naturaleza, sino también en los criterios por medio de los cuales algunos términos de dichas leyes se conectan con la naturaleza; además de que dichos criterios dependen en parte de la teoría con la que se introdujeron. Cuando el cambio de estos referentes acompaña un cambio de teoría o de ley, el desarrollo científico no puede ser totalmente acumulativo: no se puede pasar de lo viejo a lo nuevo mediante la suma de lo ya conocido, ni tampoco se puede describir completamente en el vocabulario de lo viejo y viceversa.

A partir del análisis histórico, Kuhn plantea que existen características que unifican la naturaleza del cambio revolucionario; entre las más significativas están las siguientes:

- Todos los cambios son localmente holistas en el sentido de que requieren transformaciones simultáneas e interrelacionadas de la teoría (serían incoherentes si ocurrieran uno a uno). Estos cambios, en contraste con los normales, no pueden hacerse poco a poco, paso a paso. En el cambio normal se revisa o se añade una generalización, pero las demás quedan igual. En el cambio revolucionario, o bien se vive en la incoherencia o bien se revisan al mismo tiempo varias generalizaciones interrelacionadas. Sólo las generalizaciones iniciales y finales proveen una explicación coherente de la naturaleza.

En el caso de la construcción de la teoría evolutiva, se ha planteado que al regreso del viaje alrededor del mundo a bordo del velero *Beagle*, Darwin rechaza el fijismo de las especies y encuentra diversas anomalías al paradigma de la teología natural, que tenía como objetivo

explicar la creación. Sin una teoría satisfactoria, inicia un proceso de revisión de varias generalizaciones. Es hasta 1842 que tiene una explicación coherente de la evolución de las especies, cuando introduce en su teoría evolutiva los conceptos de selección natural y de lucha por la existencia, entre otros aspectos. De 1842 a 1859, cuando publica el *Origen de las especies*, Darwin se dedica a recopilar y analizar información que fundamenta su teoría.

- Todos los cambios revolucionarios requieren transformaciones en la manera como un conjunto de términos científicos se conecta con la naturaleza; dicho de otra manera, requieren cambios en la taxonomía del lenguaje científico que implican un cambio en la forma en que se determinan sus referentes. El lenguaje altera no sólo los criterios con los que los términos se relacionan con la naturaleza, sino también el conjunto de objetos y situaciones con las que se relacionan estos términos.

El planteamiento de la teoría de la selección natural, por ejemplo, contempló la intervención del azar en el proceso evolutivo e introdujo nuevos conceptos como el de la selección natural; otros adquirieron un nuevo significado en el contexto de la nueva teoría, tal es el caso del concepto de adaptación (se cambió la idea de adaptación perfecta de Lamarck por la de adaptación diferencial que plantea Darwin), lucha por la existencia, competencia, etcétera.

- Todos los cambios están relacionados con la capacidad aprendida por los científicos de distinguir entre acontecimientos que son semejantes y los que no lo son. La pauta de semejanzas que hace que ciertos fenómenos de una familia natural se sitúen en la misma categoría

taxonómica, tiene que ser sustituida en el desarrollo de la ciencia (como el caso de la idea de evolución de la visión lamarckiana a la darwiniana). El cambio revolucionario supone que la vieja pauta de semejanzas debe ser rechazada y reemplazada, antes del proceso de cambio o durante él. Así por ejemplo, la educación de un evolucionista asocia cualquier característica de un ser vivo con la aparición espontánea de una variación y de su sobrevivencia si confiere alguna ventaja adaptativa en un momento dado, ya que tales aspectos están planteadas en la concepción evolutiva de Darwin.

Otros aspectos que pueden considerarse para abordar el aprendizaje del evolucionismo desde la perspectiva de Kuhn, se refieren a los planteamientos que hace respecto a las diferencias entre el proceso de traducción y de comprensión de las teorías científicas, como base de una elección racional.

En el siguiente punto hablaremos sobre cómo este tipo de consideraciones nos ayudan a ubicar el papel de la dimensión histórico-epistemológica en el contexto de la formación de los científicos, particularmente de los aprendices del evolucionismo biológico.

TRADUCCIÓN, COMPRENSIÓN Y APRENDIZAJE DEL LENGUAJE

Hemos visto que el conocimiento científico es muchas veces incomprensible para los alumnos o, en términos de Kuhn, inconmensurable, en cuanto es no traducible a un lenguaje accesible para él.

En torno al tema de la inconmensurabilidad de las teorías científicas, Kuhn (1989) plantea que dos teorías son inconmensurables cuando se articulan en lenguajes que no son totalmente traducibles entre sí, debido

a que el cambio de significado que sufren ciertos términos al pasar de una teoría a la otra, impide que todos sus enunciados sean mutuamente traducibles; por ello, se encuentran enunciados de una teoría que no pueden expresarse en el léxico de la otra. Esto no quiere decir que ambas teorías sean incomparables, ni en su forma metafórica ni en la literal, ya que contienen gran número de términos comunes que funcionan de igual manera en ambas teorías; sus significados se preservan. Sólo existen problemas de traducción en un pequeño subgrupo de términos (que generalmente se interdefinen) y en los enunciados que los sostienen.

Si utilizamos esta explicación en el contexto escolar, podemos suponer que las estructuras conceptuales de los estudiantes son inconmensurables con las teorías científicas, en virtud de que existen grupos de términos o conceptos que no pueden traducirse debido a que tienen distintos significados entre sí.

Cabe señalar que la analogía entre la construcción de conocimiento escolar y científico ha sido planteada por diversos autores. En el campo de la pedagogía, ha sido desarrollada por autores de la denominada teoría del cambio conceptual (Posner *et al.*, 1982; Chinn y Brewer, 1993; Duschl y Gitomer, 1991; Villani, 1992). Aunque existen discusiones sobre su validez, en este trabajo sostenemos que esta analogía puede utilizarse en un sentido analítico. Es claro que existen diferencias fundamentales entre el proceso de construcción de conocimiento científico y el escolar, cuanto en las intenciones que en cada ámbito se persiguen, los papeles sociales que asumen científicos y aprendices, la metodología que emplean para acceder al nuevo conocimiento, los criterios de validación de dicho conocimiento, el contexto de aprendizaje, etc.; empero, existe un punto de contacto: tanto cien-

tíficos como aprendices parten de las capacidades y herramientas cognitivas que como humanos tenemos a partir de nuestra historia evolutiva. En este sentido, es posible señalar que los seres humanos poseemos ciertos patrones de razonamiento que son propios de nuestra especie (por lo que es de suponerse que fueron resultado de la acción de la selección natural), y que estas capacidades cognitivas, como la percepción, el control motor, la memoria, la imaginación y el lenguaje, son empleadas por todos los humanos en las interacciones diarias con el mundo. Los científicos utilizan estas mismas capacidades para interactuar con la parte de mundo que tratan de explicar; los estudiantes, para comprender la información que se les ofrece en la escuela.

Es en este sentido que la analogía entre científicos y aprendices puede utilizarse para comprender cómo los humanos accedemos al nuevo conocimiento, sin que ello signifique que dejemos de considerar las diferencias existentes en cada contexto de aprendizaje y de construcción de conocimiento.

Para volver a Kuhn, la tesis de la inconmensurabilidad, como plantearon sus críticos, implica la imposibilidad de comparación entre teorías y, en consecuencia, es de suponer que la elección de una nueva teoría en competencia, o en este caso, la elección de una explicación científica ofrecida en la escuela, constituye un acto irracional casi semejante a un cambio de dogma.

Como respuesta a estas críticas, Kuhn señaló el hecho de que pueden existir teorías que “hablen de lo mismo” por medio del uso de términos que no son intertraducibles; pero, al contar las teorías con un ámbito común de referencia, pueden entrar en competencia genuina y, por tanto, ser objeto de un juicio comparativo, lo que posibilita su elección racional.

De ahí que la inconmensurabilidad queda ligada al fracaso de traducción completa entre teorías, lo que repercute de manera directa en el tipo de comparación que pueda hacerse entre ellas, ya que ésta sólo impide un tipo de comparación: “la comparación punto por punto”. Por tanto, a lo que conduce esta tesis es a replantear una concepción de racionalidad científica que no esté basada en la traducción de las teorías, sino en su comprensión.

En este sentido, la tesis que va defender Kuhn frente a sus críticos es que la elección racional de una teoría no parte de la posibilidad de ser traducida, sino de ser comprendida, y que los procesos de traducción y comprensión son distintos.

Siguiendo con nuestra argumentación, en el contexto escolar es posible suponer que para que los estudiantes elijan como válida una explicación científica que se les plantea en la escuela no es necesario que su estructura conceptual y dicha explicación sean totalmente intertraducibles, sino que ésta última sea comprendida.

A continuación plantearemos en qué sentido traducción y comprensión son diferentes y cómo esta discusión nos ofrece herramientas para ubicar nuestro análisis.

Una de las críticas que se le han hecho a Kuhn y a Feyerabend sostiene que aun cuando estos autores afirman que es imposible traducir teorías viejas al lenguaje actual, ellos mismos emprenden la tarea de hacer comprensibles estas teorías en un lenguaje común. La respuesta de Kuhn a estas críticas es que parten de un supuesto equivocado, ya que la traducción es distinta de la interpretación (necesaria para comprender una teoría antigua). La confusión, sostiene Kuhn, abunda porque la traducción real, como se entiende en la filosofía reciente, contiene con frecuencia un pequeño componente interpretativo. Sin embargo, es

necesario considerar que la traducción real contiene estos dos procesos distinguibles.

La traducción es un proceso efectuado por una persona que sabe dos idiomas. Al estudiar un texto oral o escrito en uno de estos idiomas, el traductor debe sustituir sistemáticamente palabras o secuencia de palabras en el texto por palabras o secuencia de palabras en el otro idioma, con el propósito de producir un texto equivalente. Dicho de otra manera, el texto traducido cuenta más o menos la misma historia, presenta más o menos las mismas ideas o describe más o menos la misma situación a la que hace referencia el texto al que traduce (Kuhn, 1989).

Kuhn destaca dos características de esta idea de traducción: en primer lugar, la lengua en la que se expresa la traducción existía antes del inicio de la traducción; esto quiere decir que la traducción no ha cambiado el significado de las palabras o las frases. En segundo lugar, la traducción consiste sólo en palabras y frases que reemplazan (no necesariamente una a una) palabras y frases del original.

En cuanto a la interpretación, actividad exigida en la historia y la antropología (y también en la escuela), es posible que quien la lleva a cabo, a diferencia de la persona que traduce, inicialmente domine sólo una lengua. En un inicio, el texto en el que se trabaja está formado por ruidos o inscripciones ininteligibles. La persona que interpreta observa la conducta y las circunstancias que rodean la producción del texto y durante todo el proceso supone que puede extraer sentido de una conducta aparentemente lingüística, es decir, se esfuerza por inventar hipótesis que lo hagan inteligible. Si tiene éxito, en primer lugar habrá aprendido una lengua nueva. Si ésta lengua puede traducirse a aquélla es algo discutible, ya que aprender una len-

gua no es lo mismo que traducir de ella a la propia (Kuhn, 1989).

Kuhn señala que para lograr la comprensión de nuevas teorías, los historiadores requieren sobre todo de un trabajo de interpretación y no de traducción. Cuando un historiador lee un texto científico encuentra pasajes que no tienen sentido. Una respuesta común es ignorar o descartar estos pasajes, considerando que son productos del error, la ignorancia o la superstición; esta respuesta en ocasiones es apropiada. Sin embargo, un buen historiador debe suponer que del análisis de estos pasajes problemáticos pueden resultar diferentes diagnósticos. Las anomalías del texto pueden ser artificiales, debido a que pueden ser el producto de una lectura equivocada.

Generalmente, los historiadores entienden las palabras y las frases en el texto, partiendo del discurso contemporáneo. Pero, conocer lo que una palabra significa es conocer cómo se emplea en comunicación con otros miembros de la comunidad de lenguaje que lo usa. Esta habilidad no implica que se conozca algo que designa la palabra por sí misma. Salvo contadas excepciones, las palabras no tienen significado individualmente, sino sólo mediante sus asociaciones con otras palabras de cierto campo semántico. Si el uso de un término individual cambia, entonces el uso de términos asociados también lo hace (Kuhn, 1990).

En este sentido, Kuhn (1990) sostiene que cualquier cosa que pueda decirse en un lenguaje puede, con suficiente imaginación y esfuerzo, ser entendido por el hablante de otro. Empero, el prerrequisito para tal entendimiento no es la traducción, sino el aprendizaje del lenguaje.

En suma, la traducción para Kuhn es un proceso llevado a cabo por quien maneja dos idiomas; el traductor pretende sustituir pa-

labras o secuencias de palabras de un texto a otro lenguaje, contando más o menos la misma historia. Esta actividad, sostiene, implica un componente de interpretación, pero no son la misma cosa. El que interpreta un texto, como un historiador, un antropólogo (o en este caso un aprendiz de científico), maneja nada más un idioma. El texto en el que trabaja está formado por palabras o cuerpos de palabras inicialmente ininteligibles; la persona que interpreta se esfuerza por generar hipótesis que las hagan comprensibles. En este proceso pueden encontrarse dos caminos: primero, que el término ininteligible pueda ser asimilado al lenguaje inicial de quien interpreta, debido a que sus descripciones y referentes son adecuadas, es decir, no implican inconmensurabilidad, ya que parten de criterios semejantes para clasificar el mundo, o una parte de él. Y, segundo, que el término no sea reductible al lenguaje original porque es resultado de distintos criterios de clasificación, y por tanto, el término o términos en cuestión son inconmensurables con el léxico anterior. En estos casos, el historiador, el antropólogo (o el aprendiz de científico), deben aprender el nuevo lenguaje para poder comprender el sentido de las palabras o grupos de palabras en el contexto y el significado en el que tienen lugar.

Si extrapolamos esta explicación al contexto escolar, podemos decir que para que los estudiantes acepten una teoría científica no es necesario que su estructura conceptual y la de la teoría sean “equivalentes” en el sentido de traducibles (que hablen de lo mismo con las mismas palabras), sino que éstos comprendan lo que dicha teoría plantea en función del significado que tiene el contexto en el cual se generó. Para ello, se requiere de una actividad de interpretación que haga comprensibles conceptos en un inicio ininteligibles, a partir del aprendiza-

je de un nuevo lenguaje (en este caso el científico) que permita comprender el sentido de los conceptos que conforman una teoría y el significado que tienen para una comunidad científica.

El aprendizaje del lenguaje implica no la traducción completa (debido a que pueden existir términos o conjuntos de términos que son inconmensurables entre dos léxicos), pero sí la posibilidad de comprensión de las distintas formas de ver el mundo. De ahí que la diferencia entre traducción y comprensión es que la primera implica la sustitución de significados de un lenguaje a otro, y constituye el primer recurso de las personas para comprenderse, pero puede no ser indispensable; mientras que la comprensión supone el aprendizaje de nuevas formas de ver el mundo, por medio de dos procesos fundamentales: la interpretación y el aprendizaje del lenguaje. Esto permite a historiadores, antropólogos o aprendices de ciencia, la comprensión de viejas teorías inconmensurables con las actuales, lo que posibilita su elección racional (aunque estamos conscientes de que en este proceso están involucrados aspectos motivacionales o subjetivos, también es claro que en él participan elementos racionales).

De esta manera, los aprendices de ciencia deben aprender el lenguaje de su disciplina para comprender teorías que en un principio son incomprensibles o inconmensurables con sus ideas. Esto significa que deben manejar un vocabulario básico común, deben reconocer ciertos tipos de problemas, deben aprender a discriminar pautas de semejanza y diferencia de los fenómenos que estudia su disciplina, así como tener la capacidad de reconocer en qué condiciones funcionan y en cuáles no. En este sentido, lo que Kuhn (1989) denomina ejemplares paradigmáticos juega un papel crucial, ya que constituye justamente

los conjuntos de contraste o fuentes de conflicto cognitivo que permiten discriminar los aspectos anteriores.

Como hemos visto, son pocos los términos o expresiones con referente que pueden aprenderse de manera aislada, ya sea con respecto al mundo o con respecto a cada uno de ellos. En este sentido, para Kuhn es posible que hablantes de lenguajes diferentes (como los estudiantes y los científicos) que utilizan criterios diferentes, logren identificar los mismos referentes para los mismos términos (esto no quiere decir que los sustituyan, sino que los comprendan). Para ello, los conjuntos de contrastes juegan un papel relevante en la determinación de lo que cada hablante asocia con los términos individuales; esto hace que la comunicación y la comprensión sean posibles.

En términos del proceso de aprendizaje de los estudiantes, este conjunto distinto de conexiones (o estructuras conceptuales) puede abordarse en el contexto escolar por medio de la exposición de diferentes ejemplares paradigmáticos, es decir, casos en los que se muestren los criterios de semejanza y diferencia que comparte cierta comunidad científica, en contraste con otra o con las concepciones mismas de los estudiantes. Aunque los referentes de distintas comunidades (científicas y escolares) no sean los mismos, la comprensión es posible, ya que para ello no es necesario traducir una teoría científica al lenguaje escolar, sino fomentar actividades que favorezcan la capacidad de interpretación de los estudiantes y el aprendizaje del lenguaje científico. Para ello, el enfoque que ofrecen la historia y la epistemología de la ciencia es fundamental.

Ahora bien, antes de hablar sobre cómo el modelo de Kuhn puede utilizarse para abordar el aprendizaje del evolucionismo en la escuela, señalaremos algunos aspectos

importantes acerca de la reconstrucción histórica de esta disciplina.

ALGUNAS IDEAS RESPECTO A LA CONSTRUCCIÓN HISTÓRICA DEL EVOLUCIONISMO BIOLÓGICO

La idea de que los seres vivos se transforman en el tiempo no ha existido siempre. La visión bíblica de la creación dominó durante mucho tiempo. Se consideraba que los seres vivos habían sido creados por Dios y que ocupaban un lugar específico en la naturaleza, por tanto la posibilidad de evolución de las especies no existía. Hasta el siglo XVIII se produce una transformación en esta visión, al introducirse la idea de cambio mediante largos periodos, tanto en la tierra como en los seres vivos. A principios del siglo XIX algunos naturalistas sostuvieron que las especies se transforman, pero es Lamarck quien plantea la primera teoría coherente para explicar este cambio.

La teoría transformista de Lamarck parte de la consideración de que toda ciencia debe tener una filosofía que explique los fenómenos universales de su campo de conocimiento. Trata de explicar que los organismos se transforman al acomodarse al ambiente y cómo logran la adecuación, es decir, pretende explicar el problema de la adaptación.

El objetivo principal de Lamarck era comprender el plan seguido por la naturaleza y, por tanto, descubrir leyes naturales uniformes y constantes. En su libro más conocido, *La filosofía zoológica*, publicado en 1809, sostiene que era una ley de la naturaleza producir seres vivos más complejos. De esta manera, si las leyes naturales eran responsables de la gradación entre los seres vivos, la acción del ambiente explicaba las adaptaciones especializadas. En este sentido, para Lamarck el ambiente era una

parte fundamental de la naturaleza; funcionaba de acuerdo con leyes naturales y, sin embargo, en algún sentido era la antítesis de la vida. La “vida” era el poder esencial de la naturaleza para producir seres orgánicos más complejos, y el ambiente era el responsable de las “desviaciones” de ese poder, manifestadas en los cambios adaptativos de los organismos ante las condiciones del medio (Jordanova, 1984). De esta manera, en Lamarck se presentan dos concepciones contradictorias de la naturaleza: una, la que tiene un plan divino, un objetivo, un final; la otra, la naturaleza contingente que sufre cambios que no puede prever.

El mecanismo de transformación de Lamarck plantea lo siguiente: un cambio permanente en el medio ambiente produciría en los organismos un cambio en sus necesidades; esto conduciría al desarrollo de nuevas acciones que traerían como resultado nuevas costumbres. Estas nuevas costumbres implicarían el mayor uso de ciertas partes del organismo (que se agrandarían o se transformarían en otras) y el desuso de otras (que tenderían a desaparecer); o bien, los caracteres adquiridos durante la vida del organismo serían transmitidos a sus descendientes. Este proceso durante largos periodos traería como consecuencia la transformación de las especies. Es importante insistir en que varias de estas ideas son compartidas actualmente por estudiantes de distintos niveles educativos.

Pese a las importantes aportaciones de Lamarck, hasta mediados del siglo XIX se argumenta con suficiente claridad el hecho de la evolución y se plantean mecanismos válidos que la explican. En 1859, Carlos Darwin publica *El origen de las especies*, donde plantea la teoría de la evolución por selección natural, que establece el programa de investigación que ha crecido y se ha perfeccionado con los descubrimientos ac-

tuales, conformando así la teoría evolucionista moderna.

De manera muy simplificada se puede señalar que Darwin considera que la evolución de las especies involucra los siguientes aspectos:

- *La existencia de variación en la naturaleza.* Esto significa que no hay seres vivos idénticos; aunque Darwin no resuelve el problema del origen de la variación, plantea que existen variaciones espontáneas pequeñas, y grandes variaciones —*spots*— que producen monstruosidades.
- *La sobrepoblación y la lucha por la existencia.* Debido a que el crecimiento de las poblaciones es mayor con relación a los recursos disponibles, habrá una lucha por ellos, en donde los sobrevivientes serán aquellos individuos cuyas características les hayan sido favorables. Esta “lucha por la existencia”, principalmente entre organismos de la misma especie, no implica solamente una lucha cuerpo a cuerpo, sino una competencia por las condiciones de existencia (comida, luz, suelo, etc.); engloba todas las relaciones positivas y negativas entre los seres vivos, y de éstos con el medio ambiente. Darwin precisa que son las relaciones biológicas, en especial la competencia, las que provocan la más severa pugna, ya que la lucha entre organismos de una misma especie es muy dura, debido a que frecuentan lugares análogos, viven de idéntico alimento y están expuestos a iguales peligros. Esta lucha conducirá a:
- *La sobrevivencia y reproducción diferencial de los miembros de una población*, proceso conocido como *selección natural*.

La publicación de *El origen de las especies* causó gran excitación pública, tanto en

el ámbito científico como en el político y religioso. Se leyó y discutió el libro, y se defendieron o negaron las ideas de Darwin.

La dificultad más seria que enfrentó la teoría de Darwin fue la carencia de una adecuada teoría de la herencia que diera cuenta de la preservación de las variaciones sobre las que se supone que actúa la selección natural. La herencia mezclada no explicaba satisfactoriamente este proceso. Esta teoría planteaba que el material hereditario de la madre y el padre se mezclan (como la leche y el café), y los descendientes presentan características intermedias de ambos.

En 1900, simultáneamente Hugo de Vries, Carl Correns y Erich Tchetmarck publican sus trabajos donde confirman los resultados obtenidos por Gregorio Mendel 35 años antes. Mendel sostenía que la herencia se transmite en unidades discretas que son disociables y combinables de manera matemáticamente predecible. De esta manera, Mendel, sin que Darwin lo supiera, había empezado diversos descubrimientos que resolverían el problema que en 1867 Jenkin le había planteado: la mezcla de material hereditario diluye los caracteres y hace desaparecer las diferencias. Mendel demostró que los caracteres parentales no se mezclan y se transmiten sin cambio a las generaciones siguientes (Ruiz y Ayala, en prensa).

Los descubrimientos de Mendel permanecieron desconocidos hasta que en 1900 fueron simultáneamente redescubiertos por varios científicos en el continente. Mientras tanto, en la última mitad del siglo XIX, el darwinismo enfrentó una teoría alternativa denominada neolamarckismo, que destacaba la importancia del uso y desuso en el desarrollo y atrofia de los órganos, y la idea de que el medio actúa sobre las estructuras orgánicas, lo cual explica la adaptación sin la presencia de la selección natural.

Un avance importante en este debate tuvo lugar alrededor de 1880, cuando Weismann (1834-1914) aplica los descubrimientos más recientes de la citogenética a su teoría de la herencia. Uno de sus objetivos era demostrar la imposibilidad de la “herencia suave” y, por tanto, mostrar que la variación hereditaria (herencia dura) y la selección natural son mecanismos suficientes para explicar la evolución. En un famoso experimento, corta la cola a 20 generaciones de ratones y encuentra que dicha modificación no se transmite a la descendencia. Relacionó sus resultados con los hallazgos citogenéticos acerca de la meiosis y argumentó que la separación de células sexuales y somáticas ocurre en una etapa temprana, por lo que no hay posibilidad de un intercambio de material de ambos tipos celulares; por lo tanto, estableció que los cambios en las células somáticas no pueden transmitirse a las células sexuales, rechazando de esta manera la noción arraigada de la herencia de los caracteres adquiridos.

Después del redescubrimiento de la teoría de Mendel, se le dio énfasis al papel de la herencia en la evolución. De Vries relacionó “los elementos” de Mendel con los “pangenes” de Darwin. En esta línea, Johannsen acuñó el término gene. De Vries propuso una nueva teoría de la evolución conocida como mutacionismo, que elimina a la selección natural como el mecanismo evolutivo principal. Contrario a Darwin, pensó que las variaciones importantes en evolución son las mutaciones que provocan cambios notables —discontinuidades— en los portadores. La variación individual, materia prima de la evolución gradual de Darwin, no tiene consecuencias en la evolución porque produce cambios pequeños, continuos, que no pueden llevar a la transgresión de los límites de la especie. El papel de la selección natural, para los mu-

tacionistas, sólo podría ser eliminar las variaciones deletéreas. En esto coincidieron otros genetistas como Bateson y Johannsen, quienes formaron parte de esta corriente que tuvo un gran éxito en la primera década del siglo XX, etapa que Bowler (1985) denomina “el eclipse del darwinismo”.

El mutacionismo fue rechazado por muchos naturalistas, en particular por los biometristas, encabezados por Karl Pearson. Defendían a la selección natural como causa principal de evolución mediante los efectos acumulativos de pequeñas y continuas variaciones individuales. Sin embargo, exageraron el argumento, planteando que sólo las variaciones muy pequeñas, no limitadas por la herencia de Mendel, pasaban de una generación a la siguiente. Las variaciones discontinuas, que seguían las leyes de Mendel, eran de poca importancia en la evolución.

Los avances teóricos y experimentales de la genética permitieron entender que no hay contradicción entre las evidencias sobre el surgimiento de la variación genética y la selección natural. Por ejemplo, la heredabilidad de la variación continua se resolvió cuando se comprendió que las variaciones pequeñas y las grandes se deben a modificaciones del material genético. Se descubrió también que varios genes pueden participar en la construcción de un carácter (poligenia) y que un gene puede participar en la construcción de varios caracteres (pleiotropía).

La solución final de la controversia entre mutacionistas y biometristas tuvo lugar en los años veinte y treinta, gracias al trabajo de muchos genetistas, quienes destacaron por la genialidad de probar que los pensamientos de Darwin y Mendel son complementarios. Ellos fueron: Fisher y Haldane, de Gran Bretaña, y Wright, de Estados Unidos. Con su trabajo recuperaron el darwinismo como teoría vigente de

la evolución, y brindaron una estructura teórica para la integración de la genética a la teoría de la selección natural. Los tres tuvieron como objetivo central de su trabajo el unificar pensamientos que se consideraban contradictorios entre sí: el de Mendel y el de Darwin.

En 1937, T. Doszhansky publicó el libro *Genética y el origen de las especies*, el cual ofrece una explicación razonable y comprensible del proceso evolutivo en términos genéticos, apoya los argumentos teóricos con evidencias empíricas y puede ser considerado como el suceso más importante de la formulación de la teoría neodarwiniana, ya que plantea la síntesis de la selección natural darwiniana con la genética mendeliana. Otros autores deben ser considerados como arquitectos de la teoría neodarwinista: Mayr, Huxley, Simpson y Stebbins.

Estos investigadores impulsaron los estudios evolutivos tanto en las disciplinas biológicas tradicionales, como en las de reciente origen (genética y ecología de poblaciones, por ejemplo). A partir de 1947, en un famoso congreso realizado en Princeton, la teoría neodarwinista surge como una corriente de pensamiento que establece un amplio acuerdo con Darwin, a excepción de la idea de la herencia de los caracteres adquiridos. Alrededor de 1950, la aceptación de la teoría de Darwin fue universal entre los biólogos y la teoría sintética fue ampliamente aceptada.

Las variaciones individuales de aparición gradual y continua que propone Darwin, se reconocen como mutaciones de los genes producidas espontáneamente y sin dirección adaptativa. Su efecto positivo o negativo se debe al azar, y la selección natural juega el papel no azaroso en la evolución. Se enfatiza el carácter poblacional de la evolución, al considerar que las especies son conjuntos de poblaciones aisladas reproductiva-

mente, que interactúan en un ambiente dado entre organismos de su misma especie, con los de otras especies, así como con los agentes físicos. Estas interacciones, la mutación y la recombinación, explican la gran diversidad de los seres vivos. Así, los postulados esenciales de la teoría sintética son: la evolución es gradual e implica dos procesos fundamentales: uno azaroso —la producción de variación— y uno determinístico —la selección adaptadora—. Otro punto de coincidencia fue demostrar la naturaleza dual de la evolución: adaptación por la propia especie y diversificación en todos los niveles taxonómicos a partir del proceso de especiación.

A partir de los años setenta del siglo XX se han desarrollado algunas críticas a la teoría sintética o neodarwinista; entre ellas se encuentran las planteadas por la teoría neutralista. Esta teoría se deriva de estudios moleculares que aportan elementos distintos para entender el proceso evolutivo. Otra polémica recurrente en el evolucionismo se refiere a la gradualidad del proceso evolutivo. A partir de estos cuestionamientos, se plantea la teoría de los equilibrios puntuados.

Pese a las críticas y la permanente discusión acerca de los mecanismos evolutivos, el centro firme del evolucionismo está conformado por las ideas acerca de la existencia de dos procesos distinguibles en la evolución: el azar, involucrado en la aparición no adaptativa de la variación, y la necesidad, que da como resultado la supervivencia diferencial de los individuos que conforman una población, mecanismo conocido como selección natural. En efecto, a pesar de las críticas en varios ámbitos a la teoría neodarwinista —evolución molecular, macroevolución—, sigue considerándose a la selección natural como el mecanismo evolutivo fundamental; aspecto que, hemos vis-

to, es difícil de comprender por parte de los estudiantes, aun los de nivel superior, por lo que se convierte en un problema central para la enseñanza de la biología.

EL APRENDIZAJE DEL EVOLUCIONISMO A PARTIR DEL MODELO DE KUHN

Kuhn (1989) plantea que los estudiantes de una disciplina deben aprender a la vez un grupo interrelacionado de conceptos —como un todo—, antes de que cualquiera de éstos pueda ser utilizado para describir los fenómenos naturales. Sólo hasta que dichos términos se aprenden así, se pueden reconocer las distintas ciencias por lo que fueron: disciplinas que diferían de sus sucesoras actuales no sólo en lo que decían sobre los procesos que describían, sino también en cuanto a la forma en que estructuraban y parcelaban gran parte del mundo.

Dado que la práctica científica implica siempre la producción y explicación de generalizaciones sobre la naturaleza, tales explicaciones suponen la existencia de un lenguaje con una mínima riqueza; por tanto, la adquisición de dicho lenguaje lleva consigo el conocimiento de la naturaleza. Si la presentación de ejemplos forma parte del aprendizaje de términos como “adaptación”, “selección natural, etc., lo que se adquiere al mismo tiempo es el conocimiento del lenguaje y del mundo. De esta manera, el estudiante aprende lo que significan dichos términos, las características que son relevantes para relacionarlas con la naturaleza, y las cosas que puede decirse de ellos sin caer en contradicciones.

Kuhn (1989) sostiene que el conocimiento de las palabras y de la naturaleza, en la mayoría de los casos, se adquieren a la vez; son dos caras de la misma moneda que el lenguaje proporciona.

De esta manera, al aprender evolución, por ejemplo, los términos “variación”, “adaptación diferencial” y “población” deben aprenderse a la vez, y la explicación del mecanismo de la selección natural debe estar relacionada con este proceso. Dicho de otra manera, no puede aprenderse “variación” y “adaptación” de manera independiente de lo que significan entre sí.

En *Dubbing and redubbing: the vulnerability of rigid designation* (1990), Kuhn presta mucha atención al proceso de aprendizaje de los estudiantes y plantea diversas consideraciones sobre los aspectos que deben tomarse en cuenta para que el estudiante aprenda el léxico específico de una teoría. Como vimos, Kuhn considera que el proceso es básicamente similar al de un científico o un historiador que intenta comprender un lenguaje inconmensurable con el suyo.

Kuhn (1990) plantea que el vocabulario por medio del cual se describe y explica un fenómeno natural, como la mecánica, es en sí mismo un producto histórico, desarrollado en el tiempo y transmitido repetidamente. En el caso de la mecánica newtoniana, se requiere del aprendizaje de un grupo de términos que hayan sido estables por algún tiempo, y de la transmisión de técnicas relativamente estándares. Los estudiantes deben contar con un vocabulario adecuado para referir los objetos físicos y su localización en el espacio y en el tiempo. Sobre esto, ellos deben tener un vocabulario matemático rico que permita la descripción cuantitativa de trayectorias y de análisis de velocidades y aceleraciones de cuerpos en movimiento, etc. En el caso del evolucionismo, como vimos anteriormente, existe un amplio vocabulario que describe y explica diversos aspectos relacionados con el proceso de cambio de las especies

(adaptación, diversidad, mecanismos evolutivos, etcétera).

Al considerar el ejemplo de la mecánica, Kuhn sugiere diversas características que los estudiantes deben adquirir en el curso de su formación como practicantes de una disciplina. Trataremos de adaptar estos puntos para el caso del evolucionismo, tomando en cuenta además algunas aportaciones provenientes del campo de la pedagogía, como es la teoría del cambio conceptual.

En este sentido, es importante destacar que diversos autores han señalado que para que se produzca el cambio conceptual en los aprendices de ciencia deben existir dos prerequisites: que la concepción que manejan los estudiantes les produzca insatisfacción o que ésta tenga limitaciones en su uso o aplicación, y que además exista una concepción alternativa que pueda ser comprendida y sea viable para el aprendiz (Posner *et al.*, 1982; Chinn y Brewer, 1993).

De esta manera, para lograr un cambio conceptual que implique una mejor comprensión de la disciplina, el papel de los profesores será:

- En primer lugar, definir los conceptos y teorías que deben manejar los alumnos, tomando en cuenta los criterios antes señalados. Como hemos visto, para asimilar la teoría de la selección natural, es indispensable que los estudiantes comprendan el origen espontáneo de la variación, el concepto de adaptación diferencial, el pensamiento poblacional, el papel del azar y la necesidad en el proceso evolutivo,
- Deberá generar estrategias que permitan conocer, analizar y discutir las ideas previas de los alumnos.
- A pesar de que ningún estudio indica que los alumnos acepten la fijeza de la especies, es importante mostrarles el hecho

de la evolución, mediante la presentación de pruebas anatómicas, paleontológicas, etc., además de tomar en cuenta la forma en que Darwin refutó la teología natural. Es decir, se debe considerar aspectos históricos, teóricos y prácticos.

- Generar actividades que provoquen la insatisfacción de las explicaciones no válidas para el evolucionismo contemporáneo y que provoquen conflicto cognitivo, mediante demostraciones y experiencias.

Así, sería necesario que los alumnos pongan en duda sus explicaciones mediante la discusión y argumentación ante algún problema planteado que no pueda ser resuelto a partir de dichas concepciones (Sánchez, 2000). Dado que las ideas alternativas de los alumnos tienen muchas semejanzas con la explicación que ofreció Lamarck sobre este proceso, se podrían generar discusiones sobre los aspectos que Lamarck y los estudiantes tienen en común, y mostrar por qué y en qué aspectos éste estaba equivocado.

Una fuente de conflicto cognitivo sería la confrontación de concepciones, ejemplares paradigmáticos en términos de Kuhn, que sean distintas a las de los estudiantes y mostrar cómo fueron planteadas. Por ejemplo, respecto a los conceptos que encontramos centrales para la comprensión de la teoría de la selección natural, se puede abordar así:

Se podría contrastar la idea del origen adaptativo de la variación con el desarrollo del concepto de selección natural. Debe resaltarse la importancia que tuvo la introducción de la idea del azar en las explicaciones sobre el origen de la variación y el rechazo a la idea de intencionalidad de los organismos, y analizar cómo se generó históricamente esta explicación y cómo se desarrollaron teorías

sobre la herencia que permitieron ubicar este proceso y reforzar los planteamientos de Darwin.

Se podrían analizar las diferencias que existen entre la idea de adaptación perfecta y la de adaptación diferencial mediante la contrastación de las ideas de los estudiantes, de Lamarck y de Darwin; se puede asimismo analizar cómo Darwin cambió sus ideas con respecto a la adaptación en el proceso de construcción de su teoría.

Se puede confrontar la explicación que ofrece el pensamiento tipológico en el contexto de la explicación del mecanismo de la selección natural, de tal manera que se muestre que no puede existir selección natural si los miembros de una población son iguales y si no existen diferencias significativas entre ellos.

La idea de pensamiento poblacional se puede reforzar al analizar cómo Darwin la planteó y las posibilidades que implicó en términos de la elaboración de su teoría.

La idea de la “herencia de los caracteres adquiridos” puede permitir la discusión sobre los distintos criterios metodológicos que se han considerado válidos a lo largo de la historia. Puede analizarse cómo esta concepción se consideraba válida en tiempos de Lamarck y Darwin, y cómo esta idea fue rechazada cuando los criterios teórico-metodológicos cambiaron, a partir de los experimentos de Weissman.

- Otro papel de los ejemplares paradigmáticos es mostrar que la mayoría de los términos que tienen referente no pueden aprenderse o definirse paso a paso, como ya vimos, sino por el contrario, deben aprenderse en grupo. Según Kuhn (1990), las generalizaciones explícitas e implícitas acerca de los conceptos que explican una parte del mundo desempeñan un pa-

pel esencial en el proceso de aprendizaje, ya que una vez que se han aprendido los términos que forman parte de un conjunto interrelacionado de conceptos, éstos pueden utilizarse para hacer generalizaciones nuevas.

En este sentido, es importante tener presente el núcleo central del evolucionismo que permite determinar qué conjunto de términos están interrelacionados, por lo que no es posible abordarlos de manera aislada. Por ejemplo, el mecanismo de la selección natural supone la existencia de un pensamiento poblacional, la aparición azarosa de la variación, la lucha por la existencia y la selección de la variación que confiere ventajas adaptativas en un momento dado, entre otros aspectos. La enseñanza de estos temas debe ser abordada de manera integral, ya que no pueden comprenderse adecuadamente si no se contempla la relación que guardan entre sí. Por otra parte, se debe analizar dentro de qué estructura conceptual funcionan estos planteamientos y en cuáles no.

- El siguiente punto importante del proceso es mostrar la validez de las nuevas explicaciones. Esto puede hacerse mediante la exposición de la manera en que fueron validadas en el contexto científico, es decir, la forma en que surgieron como problemas de investigación, en que fueron resueltos y aceptados por la comunidad científica.
- Finalmente, es necesario que los estudiantes comparen sus ideas iniciales con las finales, con el propósito de que comprendan la validez de sus nuevas explicaciones.

CONSIDERACIONES FINALES

Hemos señalado a lo largo de todo este trabajo que la interacción entre la historia, la

epistemología y el aprendizaje es fundamental. Particularmente en el nivel superior, los estudiantes deben entender el carácter histórico del conocimiento; de igual forma deben tomar en cuenta su carácter parcialmente relativo. Por ello insistimos en señalar que el cómo y el qué enseñar tienen una profunda relación con la forma en que los conceptos se han desarrollado. Sólo cuando los estudiantes aprenden los conceptos y teorías no como algo acabado, sino como resultado de un proceso, pueden captar dicho carácter histórico del conocimiento.

La argumentación a favor de incorporar la historia en la educación científica proviene fundamentalmente de dos direcciones: historiadores y filósofos sostienen que su aprendizaje es parte de una profunda comprensión de la ciencia. Asimismo, la generación del conocimiento es la principal actividad de la ciencia y la historia de la ciencia articula ese proceso; la última provee un contexto desde el cual el conocimiento público de cualquier disciplina puede ser visto y mejor entendido.

El trabajo ha mostrado también un ejemplo sobre cómo la historia y la epistemología de la ciencia pueden ser usadas para definir enfoques didácticos que favorezcan la comprensión de las teorías científicas, en particular que ayuden a modificar ideas arraigadas de los estudiantes acerca del proceso de cambio de las especies biológicas. Aunque en este sentido todavía hay mucho trabajo por hacer, la consideración de la dimensión histórico-epistemológica en la enseñanza en general, y el evolucionismo en particular, representa una magnífica oportunidad para los estudiantes y los profesores de aprender el lenguaje de la ciencia, y con ello favorecer su comprensión acerca de las principales teorías y conceptos científicos, así como modificar sus ideas sobre la ciencia, sus métodos y su proceso de construcción.

REFERENCIAS

- BISHOP, B. y Anderson, Ch. (1985), "Student conception of natural selection and its role in evolution", en *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 27, núm. 5, pp. 415-427.
- BOWLER (1995), *Charles Darwin, El hombre y su influencia*, Madrid, Alianza Universidad.
- BRUMBY, M. (1979), "Problems in learning the concept of natural selection", en *Journal of Biological Education*, vol. 13, núm. 2, pp. 119-122.
- (1984), "Misconceptions about the concept of natural selection by medical biology students", en *Science Education*, vol. 68, núm. 4, pp. 493-503.
- CHINN, C. y W. Brewer (1993), "The role of anomalous data in knowledge acquisition: a theoretical framework and implications for science instruction", en *Review of Educational Research*, vol. 63, núm. 1, pp. 1-49.
- DARWIN, Ch. (1994), *El origen de las especies*, Porrúa, México.
- DUSCHL, R. y D. Gitomer (1991), "Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice", en *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 28, núm. 9, pp. 839-858.
- DUSCHL, R. (1997), *Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo*, Narcea, Madrid.
- GAGLIARDI, R. y Giordan A. (1986), "La historia de las ciencias: una herramienta para la enseñanza", en *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 4, núm. 3, pp. 253-258.
- GAGLIARDI, R. (1988), "Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias", en *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 6, núm. 3, pp. 291-296.
- GIL P., D. (1986), "La metodología científica y la enseñanza de las ciencias. Unas relaciones controvertidas", en *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 4, núm. 2, pp. 111-121.
- GREENE, E. (1990), "The logic of university students misunderstanding of natural selection", en *Journal of Research Science Teaching*, vol. 27, núm. 9, pp. 875-885.
- HERNÁNDEZ, C. (1995), "El papel de la historia de la ciencia en la formación del biólogo", tesis de maestría, Facultad de Ciencias, UNAM.
- (1996), "La enseñanza de la historia del evolucionismo: un estudio de caso", en Campos y Ruiz (comp.), *Problemas de acceso al conocimiento y enseñanza de la ciencia*, UNAM.
- JORDANOVA (1984), *Lamarck*, México, FCE.
- KUHN, T. (1982), *La estructura de las revoluciones científicas*, México, FCE.
- (1989), *Qué son las revoluciones científicas y otros ensayos*, Barcelona, Paidós.
- (1990), "Dubbing and redubbing: the vulnerability of rigid designation", en C.W. Savage (ed.), *Scientific theories, Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, vol. XIV, Minneapolis, University of Minnesota Press, pp. 298-318.
- LAKATOS, I. (1978), *La metodología de los programas de investigación*, Madrid, Alianza Universidad.
- MATTHEWS, M. (1989), "A role for history and philosophy in science teaching", en *Interchange*, vol. 20, núm. 2, pp. 3-15.
- MENDOZA, E. (1992), "La construcción del conocimiento en la investigación educativa de la enseñanza de la ciencia", mimeo., CISE, UNAM.
- NOVAK, J. (1982), *Teoría y práctica de la educación*, Madrid, Alianza, 275 pp.
- (1988), "Learning science and the science of learning", en *Studies in Science Education*, núm. 15, pp. 77-101.
- OTERO, J. (1986), "La producción y la comprensión de la ciencia: la elaboración en el aprendizaje de la ciencia escolar", mimeo.
- POSNER, G., Strike, K., Hewson, P. y Gertzog, W. (1982), "Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change", en *Science Education*, vol. 66, núm. 2, pp. 211-227.
- RUIZ, R. (1996), "La metodología científica y enseñanza de la ciencia", en Campos y Ruiz (comps.), *Problemas de acceso al conocimiento y enseñanza de la ciencia*, México, UNAM.
- RUIZ, R. y A. Ayala (1999), *Darwinismo: una definición*, México, FCE.
- (en prensa), *Evolución*, México, CONACYT.
- SÁNCHEZ, C. (2000), "La enseñanza de la evolución a partir de concepciones alternativas de los estudiantes", tesis doctoral, Facultad de Ciencias, UNAM.
- SETTLAGE, J. (1994), "Conceptions of natural selection: a snapshot of the sense-making process", en *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 31, núm. 5, pp. 449-457.
- SETTLAGE, J. y M. Jensen (1996), "Investigating the inconsistencies in college student responses to natural selection test questions", en *The Electronic Journal of Science Education*, vol. 1, núm. 1, sept.
- SUÁREZ, L. (1993), "Metodología de la enseñanza de las ciencias", en *Perfiles Educativos*, núm. 62, pp. 31-37.
- TAMIR, P. (1989), "History and philosophy of science and biological education in Israel", en *Interchange*, vol. 20, núm. 2, pp. 95-98.
- TROWBRIDGE y Wandersee (1994), "Identifying critical junctures in learning in a college course on evolution", en *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 31, núm. 5, pp. 459-473.
- VILLANI, A. (1992), "Conceptual change in science and Science Education", en *Science Education*, vol. 76, núm. 2, pp. 223-237.
- WANDERSEE, J. (1985), "Can the history of science help science educators anticipate student's misconceptions?", en *Journal of Research on Science Teaching*, vol. 23, núm. 7, pp. 581-597.
- ZUZOVSKY, R. (1994), "Conceptualizing a teaching experience on the development of the idea of evolution: an epistemological approach to the education of science teachers", en *Journal of Research Science Teaching*, vol. 31, núm. 5, pp. 557-574.