

ENSEÑAR LOS CAMBIOS ECOLÓGICOS EN LA SECUNDARIA: UN RETO EN LA TRANSPOSICIÓN DIDÁCTICA

IBARRA MURILLO, JULIA¹ y GIL QUÍLEZ, MARÍA JOSÉ²

¹ Universidad Pública de Navarra

² Universidad de Zaragoza

maider@unavarra.es

quilez@posta.unizar.es

Resumen. En este trabajo se estudia la distancia en la estructura y en los significados que hay entre la ciencia de los científicos y la de los libros de texto con respecto a la teoría de la sucesión. Dado que existen paradigmas científicos distintos para explicar los cambios ecológicos, los examinamos y analizamos cómo se concretan en los libros de ciencia y cómo se transponen a los textos de la enseñanza secundaria. Los resultados muestran que la transposición se realiza a través de una simplificación de la teoría de la sucesión desde el modelo holista o ecosistémico. Esto, unido a la ambigüedad o polisemia de muchas de las nociones empleadas para explicar la sucesión, da lugar a significados deterministas sobre los cambios ecológicos.

Palabras clave. Transposición didáctica, sucesión, didáctica de la ecología.

Teaching ecological changes in secondary education: A challenge in didactic transposition.

Summary. This job studies the distance in the structure, and in what is significant, between the science of scientists and the text in books with respect to the theory of succession. Given that there exist different scientific paradigms to explain the ecological changes, we examined the different focuses included in the scientific books, the tools that the authors use for the construction of ecological theory and the contribution of such, or the distortion effect, that is produced. The results show that the transposition is realized through a simplification of the theory of succession from the *holista* or the ecosystematic model and that this simplification, together with the ambiguity or polysemy of many of the notions used, results in determinist meaning on ecological changes.

Keywords. Didactic transposition, succession, ecological education.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se investiga la transposición didáctica de una teoría ecológica, «la sucesión», desde la ciencia de los científicos hasta los libros de texto de la secundaria. Se inscribe en el marco teórico desarrollado por Chevallard (1985, 1997) para la transposición de las ciencias, según el cual ésta concierne a la transformación de los saberes, desde el *saber sabio*, que se define como el que es reconocido por una comunidad científica, hasta el *saber a enseñar* que se concreta en unos manuales, que van desde el universitario hasta el escolar. La si-

guiente transformación es al *saber enseñado* que corresponde al que emerge en el aula, en los distintos niveles de enseñanza que se considere.

Partimos de la idea de que las construcciones didácticas específicas escolares no pueden entenderse como simplificaciones de objetos más complejos (Johsua y Dupin, 1993), sino que son cualitativamente diferentes de aquéllas, y pretendemos definir cómo contribuye el libro de texto en esa construcción didáctica, ya que presenta

conceptos y términos ecológicos cuyos significados pueden ser distintos de los que tienen en la ciencia. Por otra parte, algunos de estos términos se utilizan en el lenguaje cotidiano con significados absolutamente diferentes del lenguaje científico, lo que da lugar a concepciones alternativas y errores (Vosniadou, 2001).

Bajo esta premisa planteamos la necesidad de investigar la transformación de la teoría de la *sucesión en los ecosistemas*, desde el campo de los científicos y la esperada variedad de puntos de vista y marcos interpretativos, hasta la reconstrucción del mismo concepto en los libros de texto de la enseñanza obligatoria escolar.

El interés de esta investigación reside en las siguientes reflexiones: la sucesión trata sobre la previsión y predicción de los cambios en los ecosistemas (poblaciones, comunidades, medio físico) en periodos largos de tiempo, normalmente de decenas, centenares o miles de años. En ecología es una teoría que aglutina a muchas otras y juega un papel análogo al de la teoría de la evolución en la biología. En principio, la sucesión es objeto de estudio en el nivel de 4º de ESO y debería suministrar a los alumnos criterios para interpretar los cambios en los ecosistemas y los principios científicos a fin de protegerlos, gestionar y conservarlos. A los alumnos se les exige, en la ESO y en bachiller, que sean capaces de predecir la evolución de ciertos ambientes (bosques quemados, pastos abandonados) o criterios para restaurar zonas degradadas. Para construir estos conocimientos que incluyen la variable temporal a medio o largo plazo, los alumnos deben conocer los cambios sucesionales.

Otras investigaciones en el campo de la transposición didáctica en biología y ecología, por ejemplo, el concepto de *adaptación* (De la Gándara, 1993; De la Gándara y Gil, 1995), los procesos de descomposición y reciclado de materiales (Carrasquer, 2001), la transposición de conceptos de química (Sanmartí, 1995), el concepto de *respiración celular* (Grosbois et al., 1992), señalan las dificultades que se observan en el saber científico para concretar y definir conceptos que son relevantes, los cuales se trasponen a los libros de texto y a las aulas con significados diferentes y descontextualizados.

OBJETIVOS

La investigación que realizamos busca, en primer lugar elucidar lo que dicen los textos científicos de lo que es la sucesión en los ecosistemas, como paso previo al análisis de lo que dicen los textos de secundaria, para así interpretar cómo se hace y qué modelo (Johsua y Dupin, 1993) surge de la transposición didáctica.

En el *saber sabio*, la sucesión presenta una ontología (Chi, 1992) construida en base a diferentes conceptos (comunidad, diversidad, ecosistema) o teorías (la de la perturbación intermedia, la relación entre diversidad y estabilidad), los cuales se presentan interrelacionados. Estas relaciones se expresan en forma de enunciados declarativos y explicativos

Pero además la teoría de la sucesión se adscribe a paradigmas ecológicos distintos (McIntosh, 1985; Terradas, 2001) según los autores científicos que examinamos. Uno de ellos es el ecosistémico u holista, que interpreta los ecosistemas organizados en comunidades, las cuales tienden a evolucionar hacia el equilibrio y la estabilidad. Un segundo paradigma es el individualista o reduccionista, según el cual las características ecológicas individuales de las especies determinan la estructura de la comunidad, a la que no se reconocen rasgos unitarios funcionales. Algunos autores presentan la sucesión desde un paradigma que denominamos *emergente*, que defiende la necesidad de superar la clásica dicotomía entre holismo e individualismo y la de abordar la ecología con criterios observacionales de ecosistemas y paisajes, recurriendo a los conocimientos sobre organismos y poblaciones (Terradas, 2001). La adscripción de los autores científicos a alguno de dichos paradigmas puede ser explícita en algunos libros y manuales y, en otros, debe ser inferida desde el propio texto.

Finalmente la teoría se presenta como una herramienta con poder explicativo y predictivo sobre los cambios en el mundo natural, aunque estas capacidades pueden observarse de maneras distintas desde los autores científicos.

La teoría de la sucesión en los niveles de 4º de ESO es una expresión del *saber que hay que enseñar* para estos niveles educativos, donde la sucesión se muestra como un objetivo declarado de conocimiento, y pretendemos medir la *distancia* con la estructura que se muestra desde la ciencia de los científicos. Se intenta dilucidar en que medida se acerca o se aleja del saber científico, así como qué factores determinan esa distancia.

Desde la perspectiva de la investigación en didáctica de ciencias, el análisis de libros de texto es fundamental porque la utilización de los mismos en las escuelas e institutos es mayoritaria y los profesores las siguen puntualmente (Izquierdo, 1995; Otero, 1997; Campanario y Otero, 2000). Al mismo tiempo, un punto de vista crítico con la enseñanza actual de la ecología en los países europeos reflexiona sobre el alejamiento entre los conceptos que se enseñan y la realidad ecológica y su insuficiencia para la resolución de problemas prácticos (Magro et al., 2000, 2002).

METODOLOGÍA

La metodología empleada para esta investigación es propia de la investigación cualitativa; en este tipo de aproximación, el analista pretende *interpretar* la realidad antes que buscar las causas o la explicación de los hechos, como es más propio de los análisis cuantitativos (Rodríguez Gómez et al., 1996). Lo que se espera del investigador es una *descripción* detallada, una *comprensión* experiencial y *múltiples realidades*, ya que no es una metodología para descubrir conocimiento sino para construir conocimiento.

El material que examinamos para analizar el conocimiento científico sobre la sucesión son los textos que

en forma de capítulos, apartados o párrafos hacen referencia a la misma, y que se han tomado de los manuales universitarios de ecología, biología, vegetación y medio ambiente que se utilizan en las universidades españolas (Anexo 1).

Los manuales de ecología, botánica, biología de nivel universitario no son, en sentido estricto, el *saber sabio* al que se refiere Chevallard (1997), sino el resultado de una primera transposición didáctica. Sin embargo, conservan los rasgos del *saber sabio* (elaborado por científicos reconocidos en la comunidad investigadora, variedad y riqueza en los puntos de vista) y funcionan como verdaderos «modelos científicos» (Johsua y Dupin, 1993); además son el material base para la transposición a los libros de texto escolares.

La sucesión ecológica, en el contexto escolar, aparece en los libros de biología y geología de 4º curso (15-16 años) de la ESO, de los que hemos examinado 14 ediciones españolas distintas (Anexo 1). Normalmente la sucesión aparece en forma de apartados dentro de los temas dedicados a ecología. Estos textos constituyen el *saber enseñar* y, como tal, son el material que hemos examinado para el contraste con la sucesión de la ciencia.

El instrumento utilizado para el análisis de textos y de su significado ha sido la construcción de dos *redes sistémicas* (Van Dijk, 1989; Bliss y Ogborn, 1979), para cada uno de los niveles (universitario y escolar). Dicho instrumento ha sido utilizado en diversas investigaciones en didáctica de ciencias (Sanmartí, 1990; Bliss y Ogborn, 1994; De la Gándara, 1999; Carrasquer, 2001).

Las redes sistémicas que se obtienen son estructuras propias del analista, estructuras que están a caballo entre la *descripción* de los datos y la *interpretación* de los mismos y que permiten un acceso rápido a los significados, lo que es especialmente útil para el proceso de evaluación externa.

Las redes sistémicas permiten construir categorías que codifican la extensa información de los libros de ciencia, las afirmaciones, las dudas y también los puntos de vista opuestos que a menudo se exponen en estos niveles. Por ello se construyó una Red-Ciencia amplia con las categorías suficientes y necesarias para recoger la diversidad y riqueza en este ámbito, las cuales se agruparon en dos apartados: ontológico y epistemológico. Una vez elaborada esta Red se procedió a elaborar una Red-ESO en base a las categorías ya establecidas para determinar cuáles y de qué forma se transponen a los textos escolares, (Ibarra, 2003).

En este artículo se han sintetizado dichas redes y se presentan, en forma de tablas, las categorías más significativas obtenidas en la Red-Ciencia, aquéllas que configuran con más fuerza la explicación y descripción de la sucesión. En la columna de la derecha de las tablas se encuentra la transposición de dichas categorías a los libros de 4º de ESO. La comparación entre ambas permite establecer ciertas conclusiones sobre el paso de la ciencia de los científicos a la ciencia de la escuela.

RESULTADOS

El análisis de la ontología de la sucesión en la ciencia se resuelve en diferentes categorías asociadas a paradigmas distintos tal como se muestra en las tablas 1, 2 y 3, mientras que el valor de aplicación y predicción de la misma se muestra en la tabla 4.

La sucesión en manuales universitarios de ecología

La sucesión es un proceso que se interpreta por unos científicos (ecólogos, botánicos, biólogos) como una *propiedad* del ecosistema, propio del paradigma holista, mientras que otros científicos reducen su interpretación a un *fenómeno*, propio del paradigma reduccionista o individualista, que se desarrolla en el marco de las poblaciones. Otros autores encuentran que ambas interpretaciones son compatibles, en el marco de una forma de entender la organización de la naturaleza basada en la heterogeneidad de las estructuras.

La categoría *Propiedad* se subdivide en varias categorías conceptuales distintas, que derivan, por un lado, de la exigencia del significado de la categoría principal y por otro lado, de lo que los autores expresan en los textos (Tabla 1).

La categoría *Patrón de cambios* y las incluidas en ella están relacionadas con las conocidas Regularidades o reglas de la sucesión (Odum, 1953), cuya generalización y cumplimiento en todos los ecosistemas es uno de los aspectos conflictivos en la ecología. Las publicaciones de los ecólogos ecosistémicos más significativos, Odum y Margalef, datan de los años sesenta y se prolongan hasta bien entrados los noventa y, en estas últimas, se observan diferencias con las anteriores en el discurso sobre la sucesión. Margalef (1993, 1997) defiende la relación productividad/biomasa como el mejor indicador de la sucesión, y la más valiosa de las mencionadas «regularidades». Frente a las críticas de los individualistas, en el sentido de que las reglas sucesionales no se cumplían de forma general, afirma que las *propiedades convergentes* no se pueden aplicar a las primeras fases de la sucesión, netamente despilfarradora, sino a fases más tardías. Y Odum (1995) mantiene las regularidades para todos los ecosistemas, aunque reconoce que los aspectos relativos a la autorregulación y a la homeostasia no han sido suficientemente contrastados con experimentos empíricos.

Estos autores que identifican la sucesión como una propiedad del ecosistema defienden que este proceso lleva a una autoorganización del ecosistema y a una mayor estabilidad termodinámica del mismo:

«La sucesión, según mi punto de vista, sustentado por Odum y otros autores, aparece como la realización de una tendencia a mantener la mayor masa de materia organizada con un cambio mínimo de energía en el metabolismo.» (Margalef, 1980)

La idea del ecosistema que se autoorganiza supone una continuación de las ideas sobre la sucesión que expresaba Clements (1916), quien lo equiparaba a un proceso de desarrollo, de maduración, hasta llegar a una etapa definitivamente estable, en la cual la complejidad y la diversidad se hacen máximas en la denominada comunidad clímax.

Tabla 1
La sucesión en el paradigma holista: una *propiedad* de los ecosistemas.

En la literatura especializada		Transposición →	4º de ESO	
Entidad de cambio: el ecosistema y las comunidades				
Patrón de cambios	Cambio de especies r a k Aumento de biodiversidad Disminuye la relación P/B Aumento de mecanismos de homeostasis Aumento de tiempo de recambio de elementos Biogeoquímicos Aumento de estabilidad termodinámica		Se transpone Se transpone En algunos casos se transpone Aumento de estabilidad general, de complejidad, de eficiencia del ecosistema	
Desarrollo en fases	Negación del monoclímax y el equilibrio Clímax aceptable como <table border="0" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="border-left: 1px solid black; padding-left: 5px;"> – Comunidad madura y estable – Máxima persistencia funcional – Composición estacionaria de especies – Descriptor de comunidades persistentes </td> </tr> </table> Tres mecanismos de sustitución de especies: inhibición, facilitación y tolerancia	– Comunidad madura y estable – Máxima persistencia funcional – Composición estacionaria de especies – Descriptor de comunidades persistentes		Aceptación del monoclímax Equilibrio entre la comunidad y el medio Ecosistema permanente Máxima diversidad, complejidad, estabilidad Ecosistema «superior» Las especies de las fases pioneras facilitan la instalación de las siguientes
– Comunidad madura y estable – Máxima persistencia funcional – Composición estacionaria de especies – Descriptor de comunidades persistentes				
Relación entre sucesión y perturbación	La asimetría de la sucesión y la perturbación como agente que estructura la comunidad La perturbación sólo como regresión a etapas iniciales		No se transpone La perturbación significa únicamente regresión y simplificación	
Consecuencia de la estabilidad	El aumento de diversidad es una consecuencia de la estabilidad o persistencia del ecosistema		El aumento de diversidad es la causa del aumento de la estabilidad del ecosistema	

La categoría *Negación del monoclímax y del equilibrio* es compartida por muchos autores pero, en cambio, no hay acuerdo en la definición de *clímax*. Muchos autores aceptan identificar clímax con una comunidad final donde se maximizan ciertas funciones (biomasa, cadenas tróficas...), o bien se la identifica con un estado estacionario o con una comunidad persistente.

La categoría *Consecuencias de la estabilidad* viene dada porque los ecólogos ecosistémicos principales (Odum, 1995; Margalef, 1974, 1993) interpretan que la mayor estabilidad termodinámica consecuente al proceso de sucesión lleva a un aumento de la biodiversidad. Así la diversidad de las selvas forestales es una consecuencia, y no la causa, de largos periodos de tiempo estables, sin episodios perturbadores. Sin embargo, esta categoría es apenas compartida por unos pocos autores.

En los textos de biología y botánica de los manuales universitarios, el tema de la sucesión apenas ocupa unos párrafos. Los textos de biología de Curtis (1993) y Audesirk (1997), el de medio ambiente de Tyler Miller (1994), por ejemplo, identifican la sucesión como propiedad de los ecosistemas y comparten la mayoría de las categorías que se incluyen en ésta, como la de «Patrón de cambios».

La sucesión desde el paradigma individualista (Tabla 2) se observa como un fenómeno poco predecible bajo mecanismos de competencia o de inhibición. Bajo este paradigma, la categoría principal *Fenómeno* incluye en primer lugar la de *Ámbito*, donde se desarrolla la sucesión, que viene a ser el conjunto de poblaciones o la comunidad, pero no en el sentido funcional que le confieren los autores ecosistémicos. Los ecólogos indi-

vidualistas tienen una visión reduccionista de la sucesión respecto a la de los holistas (McIntosh, 1985), en cuanto que reconocen solamente ciertas *cualidades* del proceso: los cambios direccionales que ocurren en las poblaciones (estilos de vida, diversidad, cambios en las estrategias de crecimiento y reproducción) y la codominancia con la perturbación.

Rechazan, por su falta de generalización y escasez de pruebas empíricas, las regularidades o propiedades convergentes (categoría *Patrón de cambio*) y, con especial énfasis, las que se refieren al aumento de algún tipo de estabilidad global o de mecanismos de homeostasis de la comunidad o ecosistema (Drury y Nisbet, 1973; Pimm, 1991). Por ello en estas categorías no aparecen un buen número de autores de todos los que hemos analizado (Ibarra, 2003).

Los ecólogos más significativos entre los individualistas son Begon, Harper y Townsend (1995). Bajo su punto de vista, la sucesión estudia los cambios en las poblaciones,

y se explica a través de los mecanismos de sustitución de las mismas (Connell y Slatyer, 1977) que, a su vez, dependen de los caracteres individuales o atributos de cada especie. Reprochan a los holistas la preferencia por el mecanismo de facilitación (las fases tempranas de la sucesión modifican el ambiente para favorecer a las posteriores) y señalan que son más importantes los mecanismos de tolerancia y de inhibición (Tabla 2).

Desde este punto de vista el clímax y sus características carecen de importancia, y sí la tienen el desarrollo de patrones o matrices de predicción de sustitución de especies.

Hay varios autores (Terradas, 2001; McNaughton, 1984; Rodríguez, 1999) que aparecen en categorías y subcategorías bajo ambos paradigmas. Estos autores explican la sucesión con elementos seleccionados de uno y otro paradigma y, en algún caso, con un mejor desarrollo de algunos de ellos y la negación de otros; por ejemplo, Terradas (2001) amplía y desarrolla una teoría sobre las perturbaciones (Tabla 3).

Tabla 2
La sucesión en el paradigma individualista es un fenómeno de cambio de poblaciones.

En la literatura especializada	Transposición → 4º de ESO
El ámbito de la sucesión es el conjunto de poblaciones, metapoblaciones...	La sucesión afecta a las poblaciones en la medida que éstas son componentes del ecosistema
Reconocimiento de cierta direccionalidad del proceso de cambio – En el aumento de la biodiversidad y de la complejidad en las relaciones – Negación de las tendencias a la homeostasis o autoregulación del ecosistema	Incluidas en el aumento y mejora general de las propiedades del ecosistema No se transpone
La perturbación está asociada en muchos casos al aumento de la biodiversidad	No se transpone
Los únicos mecanismos de sustitución de poblaciones son los de inhibición y tolerancia	La sustitución se realiza por competencia de especies o por <i>mejor adaptación</i>
La causa de la sucesión se encuentra en las propiedades individuales de las especies y no en tendencias del ecosistema	No se transpone
La estabilidad de la comunidad se subdivide en dos parámetros, elasticidad y resistencia, que presentan tendencias opuestas a lo largo de la sucesión	La sucesión lleva a un aumento de la estabilidad general, no definida, en la comunidad o ecosistema

Tabla 3
La sucesión en los paradigmas emergentes se explica con los mecanismos individuales de las especies y se describe con el patrón de cambios del ecosistema.

En la literatura especializada	Transposición → 4º de ESO
La sucesión se estudia en ámbitos jerarquizados, desde las metapoblaciones a los ecosistemas	No se transpone
La perturbación y la sucesión son codominantes en la determinación de la estructura de una comunidad	No se transpone
La estabilidad y el equilibrio no son objeto de interés científico	Referencia al equilibrio dinámico o ciertas limitaciones a un clímax idealizado

Este nuevo enfoque indica que, para estos autores, la sucesión es un proceso que puede interpretarse desde el punto de vista ecosistémico y también desde el individualista, centrado en la dinámica de las poblaciones y metapoblaciones (Terradas, 2001; Smith y Smith, 2001; Rodríguez, 1999). En realidad, esta forma de ver la sucesión corresponde a un cambio en la definición del ecosistema, donde la heterogeneidad en las estructuras, el no-equilibrio, la no-direccionalidad de los cambios conforman las cualidades de lo que identificamos como paradigmas emergentes.

Otro aspecto que ha adquirido un gran peso en los últimos años, es la importancia de la *perturbación* (Tablas 2 y 3) y su efecto en la configuración del proceso de sucesión. Por ejemplo, el fuego, tan frecuente en los ecosistemas mediterráneos, era considerado, en la ecología de los sesenta, como una involución en el proceso de la sucesión, un retardo en el avance hacia el clímax. Actualmente se interpreta su efecto desde el papel que juega en la conformación de las poblaciones, ya que la entrada o desaparición de unas u otras depende de la intensidad, tipo y frecuencia con la que ocurra. Hoy día la perturbación se interpreta en codominancia con la sucesión a todos los efectos, aunque este reconocimiento es más explícito entre los autores individualistas (en relación con la biodiversidad, con la gestión ambiental o con los efectos del fuego):

«Debemos integrar las perturbaciones en la teoría de la sucesión [...] las perturbaciones son procesos sumamente complejos, pero esta complejidad ha sido frecuentemente obviada por los estudiosos de la sucesión, que se han limitado la mayoría de las veces a estudiar los procesos de regeneración después de un determinado tipo de perturbación, como si bastara decir de qué tipo se trataba (incendio, huracán, etc.) para definir las condiciones iniciales [...] lo que se pretende es seleccionar las perturbaciones con un papel más importante en la organización estructural y funcional del ecosistema.» (Terradas, 2001)

Una de las categorías más complicadas es la que compete al efecto que la sucesión produce en la comunidad. Muchos autores reconocen el aumento general de la complejidad y hay una categoría ampliamente compartida que es la definición de las comunidades maduras, como persistentes pero poco elásticas. Sin embargo, entre los autores científicos que examinamos, la relación entre la sucesión y la estabilidad de la comunidad varía según el significado de estabilidad que adopte cada uno y el objeto de la misma (poblaciones, estructura de la comunidad...).

El término *estabilidad* (Tablas 1, 2 y 3) aplicado a los ecosistemas o las poblaciones ha sido identificado en otras investigaciones como uno de los más controvertidos en ecología y también como una dificultad no útil para la construcción teórica (Shrader-Frechette y McCoy, 1993). En nuestra investigación, el término *estabilidad* sigue siendo polisémico: como resistencia y elasticidad (Begon et al., 1995; Curtis, 1993; Odum, 1995; Rodríguez, 1999; Ricklefs, 1998), como persistencia (Rodríguez, 1999), como estabilidad termodinámica (Margalef, 1993). Por otra parte, el objeto de la estabilidad es diferente entre los científicos, ya que puede referirse a la composición de las poblaciones, a la estructura de la comunidad, etc. (Molles, 1999).

Se da un amplio consenso entre los científicos (Wu, 1995) en aceptar dos significados de la estabilidad: como *resistencia* (a los cambios, a las perturbaciones) de una comunidad y como *elasticidad* (capacidad de recuperación después de una perturbación). Estas cualidades no se dan juntas en los ecosistemas. Así, los ecólogos coinciden en afirmar que las selvas tropicales, ejemplo de comunidades complejas y de alta diversidad, son al mismo tiempo poco elásticas (*resiliencia* baja) y resistentes (no varían en el tiempo si no hay perturbaciones).

En cuanto a la relación entre la estabilidad de una comunidad y la diversidad de la misma, se puede afirmar que el único aspecto donde se encuentra unanimidad entre los autores científicos es en el rechazo de la idea tradicional de que la diversidad de especies lleva a un tipo de comunidad definitivamente estable (Margalef, 1993; Terradas, 2001).

La estabilidad de un ecosistema es así definida de diferentes formas y significados según los autores, y la división en las dos formas de estabilidad mencionadas, no creemos que mejore la claridad de su significado.

Interesa especialmente conocer el valor de aplicación y predicción a la gestión de los ecosistemas, ya que es justamente este aspecto de la teoría el que justifica su transposición a los libros de texto. La teoría ecosistémica de la sucesión sirve para la gestión ambiental y justifica, en general, la conservación de ecosistemas maduros y estables; también es útil para la restauración ecológica y para la defensa de la preservación de la biodiversidad (Tabla 4). En estas categorías están presentes los autores holistas más sobresalientes, tanto en ecología y biología, que han sido nombrados más arriba, e incluso otros autores, como Terradas (2001), que aceptan o integran la teoría ecosistémica y la individualista. En ellas no se encuentran autores de la línea individualista clásica (Begon, 1995; Smith, 2001) por lo que se deduce que, para estos autores, la sucesión no tiene valor de aplicación con principios generales a los problemas prácticos de conservación de la naturaleza.

La agricultura moderna se basa en la práctica de mantener deliberadamente los ecosistemas en las primeras etapas de la sucesión, en la que es alta la productividad biomásica de una o de varias especies vegetales (Tyler, 1994).

Cuando la predicción se ha de referir al estado general del ecosistema, el estudio de la Sucesión proporciona una buena orientación siempre que no se prevean perturbaciones y el futuro quede encajado dentro de los procesos ordinarios de autoorganización.» (Margalef, 1993)

La transposición didáctica a los libros de texto de la secundaria

Los textos sobre la sucesión en los libros de secundaria se estructuran en forma de párrafos cortos, y se señalan en letra cursiva o subrayada ciertos términos importantes (sucesiones primarias y secundarias, algunas de las regularidades, etc.) con profusión de ilustraciones y ejemplos.

Tabla 4
Valor epistemológico de la sucesión.

En la literatura especializada	Transposición → 4º de ESO	
Valor de aplicación y predicción	Justifica la conservación de ecosistemas maduros Útil para los proyectos de restauración ecológica	Útil para comprender la regeneración «postfuego», los cambios de prados a bosque
	El régimen de perturbaciones debe estar en la base de la gestión de la naturaleza	No se transpone
Objeto de pronunciamientos paradigmáticos	Referencia al equilibrio dinámico o ciertas limitaciones a un clímax idealizado	A favor de una idea del progreso en la naturaleza

En 13 de los 14 libros de secundaria analizados se observa que el modelo de sucesión que se presenta al alumno consiste en una selección y transcripción de determinadas categorías de la teoría ecosistémica u holista de los años setenta. Las categorías más numerosas corresponden a las del modelo holista (categoría *Propiedad*) (Tabla 1), mientras que las categorías dependientes de la interpretación de la sucesión como un *Fenómeno*, propio del modelo individualista, son menos (Tabla 2).

Puede observarse en la tabla 1 que es mayoritaria la transposición de las categorías incluidas en *Patrón de cambios y desarrollo en fases*, donde se enumeran varias de las regularidades de la sucesión (aumento de diversidad, cambio en estilos de vida), así como las que definen las características de la etapa *Clímax*. Además son más frecuentes aquéllas que indican aumento de alguna función ecológica que disminución, y las más mencionadas son aquéllas que señalan el aumento de *Estabilidad, complejidad y eficiencia*.

«La sucesión [...] se puede definir como un proceso orientado y ordenado de cambios en la comunidad que son el resultado de la modificación del ambiente físico y de la propia comunidad y que acaba con el establecimiento de un ecosistema estable». SER

«Una especie modifica el ecosistema, permitiendo la entrada de alguna nueva especie. Estas especies modifican el ambiente de forma que permiten la entrada de otras nuevas, las cuales, a su vez, también alteran el medio. Este proceso de reemplazo gradual y continuo prosigue hasta desarrollar un ecosistema estable y relativamente complejo denominado *clímax*». ERE

«Las distintas etapas en las que se desarrolla una sucesión ecológica son graduales y cada vez más complejas. La duración de estas etapas es muy variable...». EDE

El *aumento de estabilidad* es una de las dos categorías más frecuentes para caracterizar la sucesión y se utiliza como si el concepto de *estabilidad* (Tablas 1 y 2) tuviera un único y universal significado en la ciencia de los científicos. Además, no se explicita el significado de la estabilidad y no hay un sólo texto que mencione la posibilidad de diferentes tipos de estabilidad (elasticidad, resistencia). Esto indica claramente que el modelo cien-

tífico de referencia es el ecosistémico u holista y, en concreto, el aceptado en la década de los sesenta y setenta, y conocido por las publicaciones de Odum (1953) y Margalef (1974), donde se hace referencia a una estabilidad general, que se concreta en las relaciones funcionales (productividad/biomasa) de un ecosistema.

Por tanto, la transposición del concepto de *estabilidad* es una excesiva simplificación de *una* de las estabilidades de la ciencia que además corresponde a la versión más antigua de dicha teoría. Su significado científico queda oculto para los alumnos y abierto a la asignación de significados más cercanos, propios de la mecánica (no-cambio, sin movimiento) o a semejanzas con comunidades humanas idealizadas (todas las poblaciones permanecen, hay alimentos para todos, etc.).

Tampoco se mencionan los *mecanismos de sustitución* (Tabla 2) de poblaciones propios de la teoría individualista, es decir, el de inhibición y tolerancia entre las especies de las primeras fases y de las posteriores, ni tampoco la importancia de los mismos para explicar los cambios. Apenas en algún texto se hace referencia vagamente a mecanismos de competencia. Por el contrario, el mecanismo de facilitación (propio de la teoría holista) (Tabla 1), según el cual las especies pioneras preparan el medio para la instalación de las posteriores, se presenta explícita o implícitamente al menos en cinco editoriales.

Finalmente, en la mayoría de los textos, se describe la sucesión como un proceso que ocurre en el ecosistema mientras que apenas en dos editoriales se especifica el ámbito de las poblaciones para este proceso. Esto indica que la teoría individualista no es la referencia en la transposición didáctica a los libros de texto (Tabla 2).

Los ejemplos más utilizados por los libros de texto son el del relleno y colmatación de un lago eutrófico, la sucesión en campos abandonados y la recuperación de bosques tras un fuego. Pues bien, la sucesión sobre un lago es un ejemplo de sucesión utilizado por los ecólogos holistas (Odum, 1953), durante los años sesenta, pero el mismo Margalef (1974) duda de que sea un verdadero proceso de sucesión, exceptuando las etapas de colonización de los sedimentos de relleno. Los manuales de ecología más actuales (Smith, 2001; Terradas, 2001) no utilizan este ejemplo, por lo que su persistencia en los

libros de texto de secundaria parece indicar que se transpone desde los modelos más antiguos de sucesión.

En cuanto a los valores epistemológicos (Tabla 4), como el grado de aplicación en la gestión o la conservación de la naturaleza, los resultados muestran, en la mayoría de los libros, que la sucesión sirve apenas para comprender la recuperación de un bosque después de un fuego o los cambios en los campos abandonados. Encontramos que el valor de aplicación se encuentra en la potenciación de la idea del «progreso» y «desarrollo» de la naturaleza, como una propiedad inherente a la misma. A ello contribuyen los dos elementos que actúan en esta transposición didáctica: la selección de las categorías científicas que son más claramente deterministas y la utilización de un lenguaje que fomenta estas mismas ideas.

Discusión

La transposición de la sucesión de los ecosistemas encuentra una primera dificultad en la complejidad de los conceptos científicos que se manejan para explicarla y en las complicadas interrelaciones entre los mismos. Otro aspecto problemático radica en la ambigüedad y multiplicidad de significados de muchos conceptos de ecología (*estabilidad, comunidad, equilibrio*), lo cual coincide con la investigación de Shrader-Frechette y McCoy (1993), quienes concluyen que ello supone una dificultad notable para la construcción de teoría científica y que, además, estas dificultades no son reconocidas como tales por los ecólogos.

En este trabajo se ha puesto de manifiesto la persistencia de dos paradigmas científicos, holista e individualista. Unos autores se pueden adscribir a uno de los dos paradigmas y otros autores, concretamente de los últimos años, presentan la sucesión desde paradigmas que consideramos emergentes, los cuales integran elementos de los anteriores, como correspondientes a diferentes tipos de análisis sobre los ecosistemas (Tabla 3).

Las diferencias esenciales entre holismo e individualismo, entre lo que es y no es una comunidad, no parece que hayan sido solventadas, sino que se han «sobrepasado» con la interpretación múltiple del concepto de *comunidad*, los nuevos estudios de metapoblaciones y sobre todo la idea de que la comunidad tiene una gran heterogeneidad espacial y temporal. Los textos científicos del nuevo milenio presentan la sucesión en dos niveles: mecanismos de sustitución de poblaciones para el análisis de composición de especies y poblaciones y algunas *regularidades* para el caso de análisis de ecosistemas, lo que se refleja en la aparición de los mismos autores en subcategorías tanto de *propiedad* como de *fenómeno*.

Un elemento que distorsiona la comprensión de la teoría de la sucesión desde ambos paradigmas es la noción de *estabilidad*. Ésta se define como una estabilidad funcional general del ecosistema en el modelo holista o subdividida en varios términos, según los autores individualistas, que definen distintas formas de estabilidad de la estructura de las comunidades. Se observa que, más que ayudar a caracterizar la sucesión, dificulta la com-

prensión de la misma y, en concreto, la caracterización de las fases tardías de la misma.

Los resultados reflejados en las tablas 1-4 permiten observar y deducir la mecánica de la transposición didáctica desde la ciencia hasta los libros de texto. En la mayoría de las ediciones de libros de texto analizados se reconoce la sucesión desde el paradigma holista o ecosistémico, aunque extremadamente reducida. En los libros de texto, la sucesión se asocia con el aumento de la *estabilidad*, la *complejidad*, la *madurez* y el *clímax* del ecosistema. Estos caracteres son más propios del paradigma holista de los sesenta que del mismo de los años noventa, por lo que se puede afirmar que el modelo que se presenta en los libros de secundaria es una transcripción simplificada de aquél (Ibarra, 2003).

Esta excesiva simplificación de los procesos de sucesión lleva a interpretarlos como un proceso que inevitablemente lleva a un ecosistema definitivamente estable, más complejo y completo, y a menudo como un ecosistema «superior». Estas ideas son de carácter determinista y contribuyen a restar valor científico a la ecología que se estudia en la secundaria y a reafirmar las ideas teleológicas de los jóvenes (Leach y Driver, 1992, 1996) respecto a la organización y las relaciones de los seres vivos y el medio.

También pueden contribuir a crear un lenguaje falsamente científico, por la utilización de los términos *clímax, estabilidad, madurez, etc.*, que carecen de definiciones claras en la ciencia y en los libros de texto, y que tienen, sin embargo, significado en el lenguaje cotidiano. La indefinición y la polisemia de esta terminología no permiten un verdadero conocimiento ecológico (Barker, 1998) y conducen fácilmente a un pensamiento tautológico (Mahner, 1998): un ecosistema es estable cuando es maduro y a la inversa.

La teoría individualista no se transpone a los textos de secundaria. Es cierto que parece difícil de trasponer, ya que apenas tiene contenido fuera de la definición de los mecanismos de sustitución y las matrices de transición y porque, en gran medida, se define en el no-reconocimiento de las generalidades de los holistas, por lo que su transposición al aprendizaje escolar es difícil.

Los resultados que hemos obtenido coinciden con estudios de Magro (2000) sobre la ecología que conocen los profesores de secundaria en Francia, donde se destaca que son mayoritariamente de la línea holista y ecosistémica. En España esto quizás es más notorio por la gran influencia del ecólogo Ramón Margalef, uno de los mayores representantes de la ecología de ecosistemas de los últimos treinta años.

También hay coincidencias con los análisis de Shrader-Frechette y McCoy (1993) sobre los problemas de los conceptos de *estabilidad, equilibrio, comunidad, etc.* Aunque encontramos diferencias con ellos en algunas de interpretaciones, coincidimos en señalar que la profusión de significados para los mismos términos y la ambigüedad de muchos de ellos parecen ser obstáculos importantes en la construcción de la teoría ecológica y que, esta dificultad, los científicos no la reconocen fácilmente, al menos en los textos de ecología general.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUDESIRK, T. y AUDESIRK, G. (1997). *Biología. La vida en la Tierra*. México: Prentice-Hall Hispano Americana.
- BARKER, S. y SLINGSBY, D. (1998) From nature table to niche: curriculum progression in ecological concepts. *International Science Education*, 20(4), pp. 479-486.
- BEGON, M., HARPER, J. L. y TOWNSEND, C. R. (1995). *Ecología. Individuos, poblaciones y comunidades*. Barcelona: Omega.
- BLISS, J. y OGBORN, J. (1994). Force and motion from the beginning. *International Journal of Instruction and Learning*, 4, pp. 7-25.
- BLISS, J., OGBORN, J. y GRIZE, F. (1979). The Analysis of Qualitative Data. *European Journal in Science Education*, 1(4), pp. 427-440.
- CAMPANARIO, J. M. y OTERO, J. (2000). La comprensión de los libros de texto, en Perales, F.J. y Cañal de León, P. (dirs.). *Didáctica de las ciencias experimentales*. Alcoy: Marfil.
- CARLSSON, B. (2002). Ecological understanding 1: Ways of experiencing photosynthesis. *International Journal of Science Education*, 24(7), pp. 681-699.
- CARLSSON, B. (2002). Ecological understanding 2: Transformation – a key to ecological understanding. *International Journal of Science Education*, 24(7), pp. 701-715.
- CARRASQUER ZAMORA, J. (2001). «Análisis del concepto ecológico de *descomponedores* en la enseñanza secundaria». Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza.
- CLEMENTS, F. E. (1916). *Plant Succession: An analysis of the Development of Vegetation*. Washington: Carnegie Institution.
- CONNELL, J. H. y SLATYER, R. (1977). Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *The American Naturalist*, 111(982), pp. 1119-1144.
- CURTIS, H. y BARNE, N. S. (1993). *Invitación a la biología*. Madrid: Editorial Médica panamericana.
- CHEVALLARD, Y. (1985). *La transposition didactique*. Grenoble: La Pensée Sauvage.
- CHEVALLARD, Y. (1997). *La transposición didáctica*. Buenos Aires: Aique.
- CHI, M. (1992). Conceptual change within and across Ontological Categories: Examples from Learning and Discovery in Science. *Cognitive Models of Science*, pp. 129-186.
- DE LA GÁNDARA, M. (1993). La investigación en enseñanza de las ciencias en España. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 14, pp. 19-26.
- DE LA GÁNDARA GÓMEZ, M. (1999). «La transposición didáctica del concepto de *adaptación biológica*». Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza.
- DE LA GÁNDARA, M. y GIL, M.J. (1995). El lenguaje oculto en los libros de texto: «El caso de la adaptación de los seres vivos». *Aula de Innovación Educativa*, 43, pp. 35-39.
- DRURY, W.H. y NISBET, I.C.T. (1973). Succession. *Arnold Arboretum Jnl*, 54, pp. 331-368.
- GOLLEY, F. B. (1993). *A history of the ecosystem concept in ecology: more than the sum of the parts*. Nueva York: Vail-Ballou Press.
- GROSBOIS, M., RICCO, G. y SIROTA, R. (1992). Du laboratoire à la classe le parcours du savoir: étude de la transposition didactique du concept de respiration. París: ADAPT/SNES.
- IBARRA, J. (2003) «La transposición didáctica de la teoría de la sucesión en los ecosistemas». Tesis doctoral. Universidad Pública de Navarra.
- IZQUIERDO, M. (1995). Epistemological Foundations of School Science. Comunicación presentada en la III Conferencia internacional «History and Philosophy of Science and Science Education», en Minneapolis, EEUU.
- IZQUIERDO, M. y RIVERA, L. (1997). La estructura y la comprensión de los textos de ciencias. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 11, pp. 24-33.
- IZQUIERDO, M., SANMARTÍ, N. y ESPINET, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), pp. 45-59.
- JOHSUA, S. (1986). La «desintetización» de los modelos físicos: una limitación y una posibilidad de elección. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(2), pp. 145-153.
- JOHSUA, S. y DUPIN, J. J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. París: Presses Universitaires de France.
- LEACH, J., DRIVER, R., SCOTT y P. y WOOD-ROBINSON, C. (1992). *Progression in understanding of ecological concepts by pupils aged 5 to 16*. Leeds: The University of Leeds.
- LEACH, J., DRIVER, R., SCOTT, P. y WOOD-ROBINSON, C. (1996). Children's ideas about ecology 3: ideas found in children aged 5-16 about the interdependency of organisms. *International Journal of Science Education*, 18(2), pp. 129-141.
- MAGRO, A., SIMONNEAUX, L., NAVARRE, A. y HEMPTINNE, J. L. (2000). The teaching of ecology in the agricultural secondary curricula in France: A new didactic approach. *Proceedings of the III Conference of European Researchers in Didactic of Biology*. Santiago de Compostela, pp. 197-205.
- MAGRO, A., SIMONNEAUX, L., FAVRE, D. y HEMPTINNE, J.L. (2002). Learning difficulties in ecology. *Proceedings of the IV Conference of European Researchers in Didactic of Biology*. Toulouse.
- MAHNER, M. (1998). Operationalist Fallacies in Biology. *Science & Education*, 7, pp. 403-421.
- MARGALEF, R. (1974). *Ecología*. Barcelona: Omega.

- MARGALEF, R. (1980). *La biosfera. Entre la termodinámica y el juego*. Barcelona: Omega.
- MARGALEF, R. (1993). *Teoría de los sistemas ecológicos*. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- MARGALEF, R. (1997). *Our Biosphere*. Germany: Ecology Institute. Oldendorf/Luhe.
- McINTOSH, R. P. (1985). *The background of ecology. Concept and theory* Cambridge: Cambridge University Press.
- McNAUGHTON, S.J. y WOLF, L.L. (1984). *Ecología general*. Barcelona: Omega.
- MOLLES, M. C. (1999) *Ecology: Concepts and Applications*. McGraw-Hill.
- ODUM, E. P. (1953). *Fundamentals of Ecology*. Filadelfia-Londres: W. B. Saunders.
- ODUM, E. P. (1995). *Ecología. Peligra la vida*. México: Interamericana - McGraw-Hill.
- OTERO, J. (1990). Variables cognitivas y metacognitivas en la comprensión de textos científicos: el papel de los esquemas y el control de la propia comprensión. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(1), pp. 17-22.
- OTERO, J. (1997). El conocimiento de la falta de conocimiento de un texto científico. *Alambique: didáctica de las ciencias experimentales*, 11, pp. 15-22.
- PIMM, S. L. (1991). *The Balance of nature?: ecological issues in the conservation of species and communities*. Chicago: University of Chicago Press.
- POZO, J.I. y GÓMEZ CRESPO, M.A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.
- RAVEN, P. H., EVERT, R. F. y EICHHORN, S. E. (1999). *Biology of plants*. Nueva York: W.H. Freeman and Company Worth.
- RICKLEFS, R. E. (1998). *Invitación a la ecología. La economía de la naturaleza*. Buenos Aires: Médica Panamericana.
- RODRÍGUEZ, J. (1999). *Ecología*. Madrid: Pirámide.
- RODRÍGUEZ GÓMEZ, G., GIL FLORES, J. y GARCÍA JIMÉNEZ, E. (1996). *Metodología de la investigación cualitativa*. Archidona: Aljibe.
- SANMARTÍ, N. (1990). «Estudio sobre las dificultades de los estudiantes en la comprensión de la diferenciación entre los conceptos de *mezcla* y de *compuesto*». Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.
- SANMARTÍ, N. (1995). ¿Se debe enseñar lengua en la clase de ciencias? *Aula de Innovación Educativa*, 43, pp. 5-11.
- SHRADER-FRECHETTE, K.S. y McCOY, E.D. (1993). *Method in Ecology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- SMITH, L. R. y SMITH, T. M. (2001). *Ecología*. Madrid: Pearson Educación.
- SUTTON, J. (1998). *Biology*. Londres: Macmillan Foundations.
- TERRADAS, J. (2001). *Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes*. Barcelona: Omega.
- TYLER MILLER, G.Jr. (1994). *Ecología y medio ambiente*. México: Grupo Iberoamérica.
- VAN DIJK, T. A. (1989). *La ciencia del texto: un enfoque interdisciplinario*. Barcelona: Paidós Ibérica.
- VOSNIADOU, S. (2001). Conceptual change research and the teaching of science. *Research in Science Education*, pp. 177-188.
- WU, J. G. y LOUCKS, O. L. (1995). From balance of nature to hierarchical patch dynamics: a paradigm shift in ecology. *The Quarterly Review of Biology*, 70(4), pp. 439-466.

[Artículo recibido en mayo de 2004 y aceptado en mayo de 2005]

ANEXO 1

Textos universitarios que presentan la sucesión en diferentes campos de la ciencia

Se recogen libros de texto para nivel universitario de 13 autores distintos y representativos en España de las ramas de la ecología, la biología general, la biología de las plantas y el medio ambiente.

Relación de autores cuyos libros se han utilizado para el análisis científico y **códigos necesarios para interpretar las redes sistémicas:**

- Audesirk, T., Audesirk, G. (1997)
- Begon, M., Harper, J. L., Townsend, C. R. (1995)
- Curtis, H., Barnes, N. S. (1994)
- Mac Naughton, S. J., Wolf, L. L. (1984)
- Margalef, R. (1974)
- Odum, E. P. (1985)
- Raven, P. H., Evert, R. F., Eichhorn, S. E. (1992)
- Ricklefs, R. E. (1998)
- Rodríguez, J. (1999)
- Smith, L. R., Smith, T. M. (2001)
- Sutton, J. (1998)
- Terradas, J. (2001)
- Tyler Miller, G. Jr. (1994)

Relación de libros de texto de la ESO empleados en la investigación:

Asignatura: Biología y Geología, 4º curso:

- Santillana, Secundaria 2000, I. Alvarez et al., 1998 Código: **SAN**
- Vicens Vives, *Entorno 4*, M. A. Fernández et al., 1999. Código: **VIV**
- McGraw-Hill Interamericana de España, *Coralina XXI*, D. Calvo et al., 1998. Código: **MCG**
- Edebé, *Ciencias de la naturaleza*, R. Calafell et al., 1996. Código: **EBE**
- Anaya, *Ciencias de la naturaleza*, T. Mesegar, 1995. Código: **ANI**
- Ega-Donostiarra, *Proyecto Servet*, C. Albaladejo et al., 1995. Código: **SER**
- Edelvives, *Ciencias de la naturaleza*, J. A. España, 1995. Código: **EDE**
- Ecir, *Proyecto Avizor*, M. García Gregorio, 1999. Código: **ECI**
- Anaya, *Ciencias de la naturaleza*, T. Berges, 2000. Código: **AN2**
- Sm, *Biosfera, Del Carmen*, L. et al., 1998. Código: **BIO**
- Sm, *Darwin*, Alcalde, A. et al., 1998. Código: **DAR**
- Oxford Educación, *Ciencias de la naturaleza*, Albaladejo C. et al., 1998. Código: **OXF**
- Ediciones Akal, M. J. Flores et al., 1997. Código: **AKA**
- Erein, *Ciencias de la naturaleza*, A. Cano et al., 1998. Código: **ERE**