

Propuesta curricular de hipótesis de progresión para conceptos estructurantes de ecología

Curricular proposal of progression hypothesis for ecological structurant concepts

Gonzalo Miguel Ángel Bermúdez, Ana Lía De Longhi

Cátedras de Didáctica General y Especial, Departamento de Enseñanza, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba.

(Fecha de recepción 12-07-2006)

(Fecha de aceptación 28-09-2006)

Resumen

El marco teórico que sustenta esta propuesta relaciona tópicos habitualmente tratados en forma independiente en el contexto de la Didáctica de las Ciencias como son la resolución de situaciones problemáticas, el diseño de unidades didácticas como hipótesis de progresión, los conceptos estructurantes y la enseñanza para la comprensión.

Se identifican algunos conceptos ecológicos estructurantes como la biodiversidad, su pérdida y conservación, y las perturbaciones ecosistémicas.

Se propone una secuenciación mediante hipótesis de progresión, que contemplan la construcción gradual del conocimiento y representan la profundidad de comprensión de sus diferentes dimensiones.

Finalmente, se describe la prueba de una unidad didáctica problematizadora con la secuencia de construcción conceptual según un gradiente de complejidad, abstracción y referencia ambiental crecientes.

Palabras Clave: *Enseñanza de la Ecología, Hipótesis de progresión, Enseñanza para la Comprensión, Conceptos estructurantes.*

Summary

The theoretical framework that supports this proposition relates usually unconnected topics treated within the context of the Didactic of Sciences, i.e. problem-solving, the design of didactic units by progression hypothesis, structurant concepts and teaching for comprehension.

Some structuring concepts are identified such as biodiversity, its loss and conservation, and ecosystem disturbances.

A sequence by progression hypothesis is proposed as it takes into account the gradual construction of knowledge and represents depth comprehension of its different dimensions.

Finally the report also describes the performance of a problem-solving-based didactic unit with the succession of conceptual construction in agreement with a complexity, abstraction and environmental reference growing gradient.

Key Words: *Ecology teaching, Progression hypothesis, Teaching for Comprehension, Structurant concepts.*

Introducción

La apropiación del saber por cualquier ciudadano es un proceso que presenta ciertas dificultades. En el marco restringido de la escuela suele observarse que los estudiantes se ven prácticamente paralizados frente a la masa de información a la que son confrontados en las clases de las distintas materias que constituyen el currículo oficial. No "digieren" sino algunas briznas que se constituyen, dentro de su mente, en un extraño rompecabezas compuesto de retales de conocimiento, parcelarios y no operatorios (Giordan y de Vecchi, 1988). Estos avances demandan saberes y manejo de conceptos, datos y términos procedentes de diferentes áreas para comunicarse, comentar sucesos de actualidad y comprenderlos, predecir sus consecuencias tanto en el futuro personal como en el equilibrio ambiental en entornos próximos o distantes (Jiménez Aleixandre, 2002). Por ello, la enseñanza debería orientarse de manera que los alumnos y alumnas sean capaces de acceder críticamente a la información; convivir y actuar en un mundo impactado por la ciencia y la tecnología para

tomar sus propias decisiones, participar y consolidar una sociedad democrática (Buch, 2003; Acevedo *et al.*, 2003; Edwards *et al.*, 2004). Es justamente la falta de funcionalidad del conocimiento y la ausencia de su uso social y político lo que los investigadores de la educación, en el marco de alfabetización científica y tecnológica, identifican como una dificultad apremiante.

De esta manera, parece resultar cada vez mayor el desfase entre una minoría que posee el saber, o al menos algunos compartimientos del conocimiento científico, y la inmensa mayoría de las personas. Ello trae aparejadas consecuencias culturales y sociales de relevancia, en un mundo donde la mayor parte de los grandes problemas poseen una base científica: la contaminación, la pérdida de la biodiversidad, el manejo del medio ambiente, etc. (Jiménez Aleixandre, 2002; Hogan, 2002; Carmona, 2005).

La escuela, frente a esto, no puede reducirse a un simple programa de conocimientos. Por el contrario, debe promover el *saber* como herramienta. Si se quiere evitar que el alumno se vea desbordado por la gran cantidad de informa-

ción, los docentes tienen que ser capaces de seleccionar los conocimientos, estructurarlos y transponerlos adecuadamente vigilando la coherencia entre la epistemología disciplinar, la propuesta educativa y su contextualización sociocultural (De Longhi, 2005).

Como expresan Giordan y de Vecchi (1988), "conocer" no es sólo retener temporalmente un amasijo de nociones anecdóticas o enciclopédicas para "regurgitarlas" como solicita la enseñanza actual, sino que debe proyectarse hacia la construcción de un saber. Dicho "saber" es, ante todo, ser capaz de utilizar lo que se ha aprendido, movilizándolo para resolver un problema o clarificar una situación. Esto se contrapone a la pasividad y el aburrimiento muchas veces impuestos que hacen que el alumno, lejos de encontrarse motivado, se apresure a olvidar todo en cuanto aprueba un examen. La enseñanza de un saber es un proceso complejo, dado por su carácter activo.

Uno de los desafíos de los educadores es realizar una adecuada selección de contenidos que al movilizarlos, desde las actividades, permitan la construcción de saberes. Para ello, una tarea docente fundamental es entender que en la base de diferentes disciplinas científicas se encuentran una serie de conceptos que forman el armazón sobre el cual se construyen todos los demás. Éstos se denominan *conceptos estructurantes* (Gagliardi, 1986) debido a que, incorporados en el sistema cognitivo de los alumnos, les permiten adquirir coherentemente nuevos conocimientos, por construcción de nuevos significados, o por modificación de los anteriores.

Algunos ejemplos de estos conceptos estructurantes son los de diversidad, sistema, interacción, cambio, ciclo, estructura, equilibrio, materia, energía, etc. (Gil Pérez *et al.*, 1993).

Para Gagliardi (1986) resulta de gran interés definir cuáles son los conocimientos que determinan la construcción de los conceptos estructurantes, y las actividades que favorecen la complejización y enriquecimiento de las redes semánticas de los aprendices. En este contexto adquiere particular interés la identificación de las ideas previas de los estudiantes como posibles obstáculos epistemológicos (Bachelard, 1938) para la comprensión de conocimientos de diversas áreas científicas.

Por todo lo anterior consideramos que implementar e investigar innovaciones didácticas que tomen conceptos estructurantes de una disciplina, delimiten sus niveles de complejidad y a partir de las actividades permitan al alumno estructurar su aprendizaje, activar representaciones y resignificarlas, enriquece el campo teórico de las didácticas especiales (Porlán, 1992), como en nuestro caso la Biología, que cuenta con escasos desarrollos en estos tópicos. Dichos aportes podrán ser trasladados a la formación docente continua y al mismo tiempo introducir cambios en un sistema educativo que tiene como meta la alfabetización científica y tecnológica (Acevedo *et al.*, 2003).

Este trabajo propone la secuenciación curricular de algunos conceptos estructurantes de Ecología: la biodiversidad, su pérdida y conservación, y las perturbaciones ecosistémicas. La misma se realiza mediante hipótesis de progre-

sión (García, 1997) que contemplan la construcción gradual del saber y suponen distintos niveles de complejidad (Giordan y de Vecchi, 1988), los que representan la profundidad de comprensión de las diferentes dimensiones del conocimiento (Boix Mansilla y Gardner, 1999). Por último, se describe la prueba de una unidad didáctica problematizadora, organizada en actividades según un gradiente de complejidad, abstracción y referencia ambiental crecientes.

La construcción progresiva del conocimiento

La secuenciación curricular

En términos generales podemos decir que la *secuenciación* corresponde a una distribución en el tiempo de los diferentes tipos de contenidos. Para lograrla resulta necesario identificar los niveles de complejidad que pueden adquirir los conceptos, los procedimientos y las actitudes. Pensar en un currículo flexible y en una propuesta constructivista, requiere ir haciendo aproximaciones sucesivas a los conceptos, principios, teorías o metodologías, pensando en diferentes formulaciones, cada vez más complejas, y en el tipo de aprendizaje que esperamos en los distintos momentos didácticos (De Longhi *et al.*, 2003).

En cuanto a la manera en que los estudiantes pueden ir alcanzando niveles de comprensión conceptual cada vez más profundos, Perkins (1999) menciona que *“la visión de la comprensión vinculada con el desempeño favorece el aprendizaje gradual y favorece a los estudiantes graduales. Nadie considera que adquirir un desempeño complejo sea*

un asunto de “captarlo”. Los desempeños exigen atención, práctica y refinamiento (...) necesitan de una coordinación cuidadosa y llena de sutileza”. En este sentido, para Giordan y De Vecchi (1988), la adquisición de un saber ha de construirse progresivamente, y es en este sentido que un *nivel de formulación* viene determinado por el conjunto de conocimientos necesarios para construir un enunciado, un estado de evolución en el desarrollo psicogenético y una práctica social (vivencia que constituye el soporte de la formulación del concepto). Estos *niveles* pueden ser expresados como *hipótesis de progresión* ya que funcionan como marco de referencia para la construcción del conocimiento, guiando la organización y secuenciación de los contenidos (García, 1997). También suponen un cierto *gradiente de complejidad* (García, 1995), con diferentes *niveles de formulación* (Giordan y de Vecchi, 1988; Astolfi, 1988) que se refieren, por una parte, a los sucesivos estados por los que pasa un individuo en la evolución de sus ideas -los diferentes momentos en el desarrollo de determinadas estructuras cognitivas, las dificultades de aprendizaje a superar para que la progresión sea posible- y por otra, a las diferentes etapas que se programan para la construcción del contenido -los posibles constructos intermedios, las aproximaciones sucesivas a una noción- (García, 1997). Es por ello que los niveles de formulación son objetivos a largo plazo.

La progresión en el desarrollo de la secuencia de contenidos debe partir del conocimiento previo y marcos alternativos de los sujetos, procurando su enri-

quecimiento, y complejización. En este contexto, el conocimiento cotidiano se entiende pues como una transición hacia un enfoque más sistémico del mundo, que profundiza y supera la visión aditiva de la realidad y las formas de actuación y de pensamiento basadas en el centramiento en lo próximo y evidente (el mesocosmos), en la causalidad mecánica y lineal, en las dicotomías y los antagonismos, en la idea estática y rígida del orden y del cambio (García, 1997).

Los niveles y dimensiones de la comprensión

Para Boix Mansilla y Gardner (1999) la calidad de la comprensión sobre un tema se basa en su capacidad para dominar y usar cuerpos de conocimientos que son valorados por su cultura. Más específicamente, se basa en su capacidad para hacer un uso productivo de los conceptos, teorías, narraciones y procedimientos disponibles en dominios tan dispares como la biología, la historia y las artes. En este sentido, los alumnos deberían ser capaces de remitirse al conocimiento para resolver problemas desempeñándose de manera flexible; es decir, pudiendo explicar, justificar, explorar, vincular y aplicar de maneras que van más allá del conocimiento y la habilidad rutinaria (Perkins, 1999). Dicho de otra manera, los alumnos deberían usar el conocimiento para comprometerse en un repertorio de desempeños valorados por las sociedades en las que viven (Boix Mansilla y Gardner, 1999).

Para describir sistemáticamente las cualidades de la comprensión, en formas que sean a la vez respetuosas de la espe-

cificidad disciplinaria y válidas en diferentes dominios, el marco conceptual de la Enseñanza Para la Comprensión (EpC) destaca cuatro dimensiones: el *contenido*, los *métodos*, los *propósitos* y *formas de comunicación*. Dentro de cada dimensión, el marco recibe cuatro niveles de comprensión: *ingenua*, *de principiante*, *de aprendiz* y *de maestría* (Boix Mansilla y Gardner, 1999). Brevemente, los desempeños de *comprensión ingenua* están fundamentados en el conocimiento intuitivo, presentando dificultades para relacionar lo que aprenden en la escuela con su vida cotidiana. En los desempeños de *comprensión de principiante* se empiezan destacando algunos conceptos o ideas disciplinarios y estableciendo simples conexiones entre ellas, a menudo ensayadas. En el nivel de *comprensión de aprendiz* las personas se basan en conocimientos y modos de pensar disciplinarios, demostrando un uso flexible de conceptos o ideas de la ciencia. En tanto, los desempeños de *comprensión de maestría* son predominantemente integradores, creativos y críticos, permitiendo la reinterpretación y actuación en el mundo.

En cuanto a las dimensiones, en esta ocasión, vamos a referirnos específicamente a la dimensión del *contenido* como aquella que determina el nivel hasta el que han llegado las perspectivas intuitivas de los alumnos y su grado de flexibilidad entre ejemplos concretos y generalizaciones semánticas. Dentro de esta dimensión debemos preguntarnos cuál es el conocimiento y el contenido que trabajan los expertos en las disciplinas, este caso, la Ecología.

Hipótesis de progresión como propuesta curricular para abordar los diferentes niveles de complejidad de conceptos estructurantes en ecología

En diversas publicaciones se han presentado *hipótesis de progresión* o *modelos de progresión* referidos al aprendizaje de conocimientos ecológicos (García y Rivero, 1996; García, 1997, 2000, 2003; Barker y Slingsby, 1998) propuestas como itinerarios de construcción de sistemas de ideas de los sujetos. En esta oportunidad, se pretende ampliar las nociones ecológicas comprendidas en los trabajos anteriores enfatizando el hecho de su carácter estructurante y que están ancladas en determinadas dimensiones de la comprensión, las que determinan distintos niveles de desempeños. Los mismos, pueden ser evaluados por los docentes para conocer cuál es el punto de partida de cada alumno y ser capaces de diseñar estrategias que le permitan transitar a cada uno el gradiente de complejidad que va desde la *ingenuidad* hacia la *maestría*. No dejamos de remarcar el carácter conjetural de la propuesta, ya que lo planteamos como una herramienta que retoma la disciplina desde su didáctica y se propone como una hipótesis de trabajo, con una probabilidad de ocurrencia (De Longhi, 2005).

Sin duda, el avance del conocimiento científico, las innovaciones en la enseñanza de las ciencias, los estudios sobre las concepciones alternativas y la propia práctica docente irán enriqueciendo esta forma de diseñar los contenidos como etapas de un proceso de construcción, además de capacitarnos cada vez más en

el desarrollo de situaciones de aprendizaje particulares para cada nivel y dimensión (manteniendo las interrelaciones) de la comprensión. Además, es una manera práctica para concretar en las aulas la atención a la diversidad de estudiantes (Cano Martínez, 2005).

Tres son los *conceptos estructurantes* (Gagliardi, 1986) que se presentan en esta oportunidad: la biodiversidad, su pérdida y conservación, y las perturbaciones.

D) BIODIVERSIDAD

La biodiversidad y sus relaciones con las propiedades ecosistémicas tienen valores culturales, intelectuales, estéticos y espirituales que son importantes para la sociedad. Actualmente, el significado y relevancia de la biodiversidad no están en duda. Se han desarrollado una gran cantidad de parámetros para medirla como un indicador del estado de los sistemas ecológicos, con aplicabilidad práctica para fines de conservación, manejo y monitoreo ambiental (Spellerberg, 1991).

El renovado interés actual por la diversidad procede, indudablemente, de la promoción del término en el contexto de problemas de conservación aunque se trate de un concepto más amplio que la riqueza global de especies (Margalef, 1997). La *diversidad* jugaría en Ecología un papel parecido al de la 'entropía negativa' en termodinámica o al de la 'información' en la teoría de la información y la comunicación; es decir, el de un parámetro indicador del grado de complejidad u organización de un sistema (Terradas, 2001). Su relevancia radica en que las condiciones, procesos y funciones que caracterizan a los ecosistemas

naturales, en los cuales la biodiversidad es fundamental, son esenciales para el ser humano ya que proporcionan una serie de servicios ambientales de los que depende la sociedad (Constaza *et al.*, 1997; Pimentel *et al.*, 1997; Chapin III *et al.*, 2000; Díaz y Cáceres, 2001). Al respecto, Díaz (2001a) afirma que hasta la primera parte de la década de los '80, los estudios de la relación entre la diversidad y el funcionamiento ecosistémico hicieron hincapié en el impacto de los procesos sobre la misma; pero que, más recientemente, la cuestión ha sido revertida, atentos a una nueva concepción de la biodiversidad, poniendo énfasis sobre todo en cómo la diversidad influye en el funcionamiento del ecosistema.

Dada la relevancia de este tópico se proponen las siguientes hipótesis de progresión de acuerdo a los niveles de comprensión.

Ingenuo

O no se reconoce la diversidad biológica en ninguno de sus niveles de expresión, o hay un centramiento en el mesocosmos (mundo cercano y perceptible). Se reconocen grupos prototípicos. No existe ningún valor en ella (García, 1997).

De principiante

Se amplía el universo de visión (García, 1997). La biodiversidad es una propiedad estructural de la comunidad o ecosistema. Se la asocia solamente al número de especies o riqueza de especies (sinonimia: 'biodiversidad' = 'diversidad de especies') (DeLong, 1996; Hunter y Brehm, 2003; Hamilton, 2005; Bermudez y De Longhi, 2005). El valor asignado se manifiesta en que un ambiente "es mejor" cuantas más especies tenga.

De aprendiz

Para determinar la diversidad de especies no sólo importa la riqueza (número de las mismas) sino también la abundancia relativa de cada una; es decir, cómo está representada cada una con respecto al resto (Díaz, 2001b, Hamiltón, 2005). Un ambiente es mejor cuantas más especies bien representadas tenga. Se disocia el concepto 'biodiversidad' del de 'diversidad de especies' para ampliarse al de ambientes y unidades de paisaje (macrocosmos) o de genes (microcosmos), pero nunca ambas escalas juntas.

De maestría

La biodiversidad es entendida como la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos, y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende, a su vez, la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas" (UNEP, 1992; CBD, 2001-2005). Se incluyen todos los niveles de organización biológica. A nivel ecosistémico, la biodiversidad se refiere tanto al número, como a la abundancia relativa y al rango de características que en él se dan. Por ejemplo, la diversidad biológica abarca al número y abundancia relativa de las distintas especies de árboles, aves, mamíferos o insectos. Pero también consiste en el rango de tamaño de las plantas (pequeñas y herbáceas, o altas y leñosas), si las aves comen frutos o insectos, migran o viven todo el año en el mismo sitio (Díaz, 2001b).

Se considera que ciertas características de los organismos son relevantes por su respuesta o efectos sobre el ecosiste-

ma y su funcionamiento -*caracteres funcionales* como el tamaño de la semilla y el modo de dispersión, la altura y estructura del follaje, etc. (Díaz y Cabido, 1997)-, lo que permite agrupar a los seres vivos, en base a estos caracteres (Díaz y Cabido, 2001), en clasificaciones flexibles con significado ecológico, que varían de acuerdo a la escala de análisis y los objetivos de investigación: *tipos funcionales* (Lavorel *et al.*, 1997; Díaz *et al.*, 2002), *gremios*, etc. En este contexto, la *diversidad funcional* (Tilman, 2001) refiere al valor (*presencia y abundancia relativa* de rasgos como tamaño de la hoja, contenido de nitrógeno, dormancia, modo de dispersión de las semillas, etc.) y *rango* (diferencia entre los valores extremos) de las características funcionales de los organismos de un ecosistema (Díaz y Cabido, 2001). Estadísticamente, el rango puede calcularse como $R(x) = X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}$, pero principalmente por la varianza $V(x) = \frac{1}{n} \sum (x - \text{promedio})^2$.

De este modo se tienen en cuenta tres importantes componentes de la biodiversidad: las características de las especies más abundantes, el rango de caracteres, y el número de especies funcionalmente similares (Díaz, 2001ab).

II) LA PÉRDIDA DE LA BIODIVERSIDAD Y SU CONSERVACIÓN

La extinción es un proceso natural pero en la actualidad está ocurriendo rápidamente como consecuencia de las actividades humanas. El hombre ya ha causado la extinción del 5-20% de las especies de muchos grupos de organismos, y las tasas de extinción se estiman

que son de cien a mil veces más grandes que aquellas anteriores a la presencia del hombre (Pimm *et al.*, 1995; Lawton y May, 1995). En las últimas décadas la pérdida de la diversidad biológica se ha convertido en uno de los problemas ambientales globales más críticos (Chapin III *et al.*, 2000) y se prevé aumente aún por causa del cambio climático (Sala *et al.*, 2000).

Desde la perspectiva de la conservación local y el desarrollo sustentable, el argumento del enfoque más tradicional consiste en preservar el más alto número de especies posible; sin embargo, desde los nuevos desarrollos en ecología, se dan argumentos a favor de la conservación de, a su vez, sus abundancias relativas y, principalmente, las interacciones (Díaz, 2001b).

Sin embargo, así como la diversidad biológica otorga beneficios económicos y ecológicos relacionados con los servicios ecosistémicos (Pimentel *et al.*, 1997), su conservación asume afrontar ciertos costos (Hodgson *et al.*, 2005). De niveles intermedios a elevados de fertilidad, el incremento exponencial en la ganancia económica por la intensificación de los cultivos en las pasturas está asociado con un decrecimiento en la biodiversidad y una aceleración de los procesos ecosistémicos que llevan a la pérdida de especies (Janssens *et al.*, 1998; Hodgson *et al.*, 2005); es decir, que un mayor retorno económico, meta de la producción agrícola, está asociado a una baja en la biodiversidad.

En este contexto es que se proponen las siguientes hipótesis de progresión.

Ingenuo

O no se reconoce la pérdida de la diversidad biológica o, si se hace, no se le otorga relevancia al tema (García, 1997). Más allá de si se considera inevitable o no, este nivel de comprensión se caracteriza por una posición indiferente e individualista en cuanto a las posibles acciones a realizar.

De principiante

Hay reconocimiento de la pérdida de biodiversidad, pero sólo en referencia a la disminución del número de especies. El hombre siempre está implicado en los procesos de extinción. Los alumnos no pueden explicarla por "causas naturales". Surgen ideas preservacionistas: para mantener la diversidad biológica es necesario clausurar áreas naturales para impedir cualquier acción antrópica en ellas. "*Hay que preservar el número más alto de especies posible*". También se evitan fuentes de variación naturales que se consideran casi siempre perjudiciales: incendios, en su mayoría, y a veces las inundaciones. Ejemplo: "*el fuego contamina y mata a muchas especies*", "*destruye, mata los nutrientes y parte de la diversidad*" (Bermudez y De Longhi, 2006a). No se hace mención a las causas sociales que provocan la pérdida de biodiversidad, ni se distinguen las consecuencias. No hay justificaciones para la conservación.

De aprendiz

La pérdida de la diversidad biológica (junto con su concepción) va asimilando niveles de concreción del macrocosmos como ambientes y unidades de paisaje o del microcosmos (genes, poblaciones).

Se entiende la extinción como un

proceso natural, no sólo provocado por el hombre. De todos modos, los alumnos no encuentran otras justificaciones más que: "*disminuyó su población hasta extinguirse*", lo que no constituye una causa, sino una explicación con el manejo terminológico adecuado de la disciplina. Entré las causas sociales que provocan la pérdida se reconocen las metas económicas.

Conservar no es sinónimo de preservar: puede protegerse una especie o ecosistema sin eliminar los fenómenos naturales habituales del sistema. Por más que la idea de intervención humana puede no tener efecto evidente sobre el ecosistema (lugar del hombre), a la hora de conservar, se hace necesario evitar su accionar en él "*proteger, no dañar, no tirar basura, no extraer ni explotar*" (Bermudez y De Longhi, 2006b).

Las razones hacen alusión a que hay que conservar el más alto número de especies intentando mantener sus abundancias relativas lo más intactas posibles. Las justificaciones que se dan a la conservación hacen referencia a: *el valor intrínseco*, el que se asigna a algo por sí mismo, es decir, que su posesión no necesariamente tiene que ser de provecho para el hombre (Nebel, 1999); y el *valor utilitario directo*, que es el de las especies o individuos cuya existencia o uso beneficia a otros (Nebel, 1999; Halffter *et al.*, 2001). Este valor es, para este caso, necesariamente antropocéntrico. Sólo se consideran algunas consecuencias de la pérdida de biodiversidad.

De maestría

La pérdida de la diversidad biológica (junto con su concepción) va completán-

dose hasta incluir niveles de concreción en todas las escalas: del micro, meso y macro cosmos.

Existe noción de que la extinción de especies está ocurriendo a una tasa mucho más rápida que la natural como consecuencia de las actividades humanas (Pimentel *et al.*, 1997; Chapin *et al.*, 2000). Junto con las ideas de biodiversidad (rango de características dadas en un ecosistema) se empieza a reconocer la identidad de las especies que se pierden, al gremio o tipo funcional al que pertenecen (composición e interacciones), su abundancia: si son dominantes, subordinadas o transitorias (Grime, 1998), su estrategia ecológica: si son *competitivas*, tolerantes del estrés ambiental, o *ruderales*, cuando hay altos niveles de disturbio (Grime, 1974, 1979). Por ejemplo, la pérdida de una especie clave (como una polinizadora) puede causar el colapso de un ecosistema (Heywood, 1995). Estas ideas sugieren que el número de especies *per se* (es decir, sin la consideración de quiénes son y cómo muchas características distintas están representadas) no siempre se relaciona, necesariamente, con un "buen desempeño ecosistémico" (Grime, 1998; Tilman, 1999; Chapin *et al.*, 2000; Loreau, 2000). Por ello, más que la presencia de algunas especies clave, la preservación de sus interacciones puede ser más significativa (Díaz, 2001b). En este contexto, se reconoce que cuanto más alto sea el número de especies funcionalmente similares en una comunidad, más alta la probabilidad que al menos algunas de estas especies puedan sobrevivir a los cambios en el ambiente y mantener las propiedades del ecosistema (Díaz y Cabido, 2001). Esta

es la idea de la "hipótesis de seguros" (Loreau, 2000): cuanto mayor sea la variación en las respuestas entre las especies en una comunidad, menor será la riqueza de especies requerida para amortiguar un ecosistema.

Se reconocen tanto consecuencias biológicas más específicas sobre los productos y procesos ecosistémicos como consecuencias sociales. El valor de la conservación de las especies profundiza sobre los aspectos utilitarios e intrínsecos. Para estos últimos, se considera que los seres vivos tienen el derecho básico a la existencia, que los humanos no tienen derecho alguno a acabar con las especies que han perdurado miles de millones de años. Algunos encuentran doctrinas religiosas en la base de estos valores (Nebel, 1999). En relación con los utilitarios, se avanza hacia dos aspectos: superación del antropocentrismo -la ecología aporta una visión biocéntrica que ayuda a superar el centrismo en la especie humana, tan extendido en nuestra cultura (García, 2003)- y ahondamiento en el reconocimiento de los beneficios de la biodiversidad para el hombre (Halffter *et al.*, 2001). Es decir, en el primer caso, se progresa hacia explicaciones que reivindican la diversidad biológica por un apropiado funcionamiento ecosistémico, sin atribuirle utilidad directa al hombre. Mientras que en el segundo, se empiezan a definir los procesos y condiciones de los ecosistemas naturales que apoyan la actividad humana y mantienen su vida como 'servicios ecosistémicos' (Chapin *et al.*, 2000; Constanza *et al.*, 1997). Entre éstos, se mencionan la fertilidad del suelo, el control de plagas, del clima, la comida, el agua, la polinización, el

secuestro del dióxido de carbono atmosférico, vestimenta, etc. A cada uno de estos se le puede asignar un valor monetario en base a lo que la gente podría pagar para proteger la vida silvestre, la remediación de los años en el caso de que se perdiera un proceso o producto (como aumento en el nivel del mar por el calentamiento global provocado por una disminución en el secuestro de CO₂), o el costo que tendría para el hombre, con tecnología y mano de obra, suplir alguna cuestión ecosistémica (ejemplo: polinizar una a una las flores de un cultivo para obtener los granos) (Pimentel *et al.*, 1997).

Se puede explicar la pérdida de la diversidad por causas en las que la especie humana no está necesariamente involucrada, como el principio de exclusión competitiva (Hutchinson, 1961; Huston, 1979), catástrofes naturales que disminuyen drásticamente la población de una especie (efecto 'cuello botella'), etc.

III) PERTURBACIONES

Una buena parte del pensamiento moderno sobre la dinámica de la vegetación se basa en la consideración de las perturbaciones. Aunque el término *perturbación* parece estar asociado con la idea de funcionamiento "normal" -y consecuentemente sometido a cambios *anormales*- el interés actual de ecólogos y forestales ha favorecido, y a la vez determinado, el alejamiento de las clásicas doctrinas del *equilibrio* y la *homogeneidad* (Terradas, 2001).

Las perturbaciones son fenómenos sumamente complejos. Sin embargo, esta complejidad ha sido frecuentemente obviada por los estudiosos de la suce-

sión, quienes se han limitado a analizar los procesos de regeneración después de un determinado tipo de perturbación (Terradas, 2001). La idea de que cada ecosistema está sujeto a un cierto régimen de perturbación es una simplificación que pretende ayudar a una aproximación conceptual y metodológica.

Una síntesis importante acerca de la dinámica de los disturbios y su efecto en procesos ecológicos apareció a mediados de la década de 1980-1990 (Vega y Peters, 2003). Quizás, la definición más conocida es la aportada por Pickett y White (1985), quienes refieren el disturbio a cualquier evento relativamente discreto en el tiempo que trastorna la estructura de una población, comunidad o ecosistema y cambia los recursos, la disponibilidad de sustrato o el ambiente físico.

En este contexto es que se proponen las siguientes hipótesis de progresión.

Ingenuo

Relacionado con ideas de equilibrio estático, no hay reconocimiento de la existencia de disturbios en los ecosistemas. Se interpreta la inmovilidad como el estado natural y habitual del sistema, presentándose un fuerte paralelismo con las concepciones primarias y simples sobre el equilibrio físico de los cuerpos sólidos (Ibarra Murillo y Gíl Quílez, 2005).

De principiante

Cualquier fuente de variación es considerada una catástrofe (Bermudez y De Longhi, 2006a), y no por el hecho de ser poco frecuente (Begon *et al.*, 1988) sino por sus consecuencias desastrosas. En este sentido, no hay noción de identidad

ni de capacidad 'buffer' o amortiguadora del sistema. Es decir, por ejemplo, la introducción de un compuesto tóxico necesariamente trae aparejadas graves consecuencias sin considerar su identidad, la dosis, las características físico-químicas como la solubilidad, la toxicidad, etc. No se consideran posibilidades como la dilución del mismo en un gran volumen de agua, su secuestro e inmovilización en compartimientos del sistema que disminuyen su biodisponibilidad, o la bioacumulación. Se manifiesta la concepción del "efecto disipador" (White, 1997, 2000), según la cual, las consecuencias de una perturbación, situadas en un lugar particular del ecosistema, se debilitan o disipan a medida que se expanden desde una posición particular de la red alimentaria. Los alumnos poseen una apreciación del tipo "ley del todo o nada": el fuego se asocia indefectiblemente a un voraz incendio; la introducción de ganado, al sobrepastoreo; la caza, a la sobreexplotación y desaparición de las especies (Bermudez y De Longhi, 2006a).

De aprendiz

Se reconoce la presencia de disturbios en los ecosistemas asociados, principalmente, a una remoción de biomasa (frecuentemente de origen vegetal). Es decir, se tiene conciencia que la acción del ganado, por ejemplo, sobre las pasturas representa una perturbación debido a que es un hecho habitual, no así ciertos fenómenos esporádicos. En este sentido, se diferencia un desastre de una catástrofe: los primeros ocurren con cierta frecuencia, por lo que ejercen una presión de selección en la vida de las poblaciones y dejan su huella en el cambio evo-

lutivo, como puede llegar a ser un huracán en la zona tropical (Begon *et al.*, 1988). Después de los desastres, la población puede haber evolucionado de tal forma que tolere cada vez más estos sucesos. En cambio, las catástrofes, como una erupción volcánica, se producen tan separadas en el tiempo unas de otras, que las poblaciones han perdido su "memoria genética" del acontecimiento cuando éste se produce de nuevo (Begon *et al.*, 1988).

Los disturbios son una parte constituyente del ambiente, caracterizados por ser regulares, repetidos y esperados (Begon *et al.*, 1988). El análisis de los mismos está estrechamente ligado a la escala: hablamos de disturbio a un nivel supra-individual (población, comunidad-ecosistema, unidad de paisaje), ya que para una gramínea que es arrancada de raíz por la acción de un herbívoro, la depredación constituye un verdadero desastre.

Se reconoce a la *intensidad* y a la *frecuencia* como características fundamentales de los disturbios ambientales. La primera es la fuerza física del evento expresado por área y por unidad de tiempo -por ejemplo, el calor liberado por área por intervalo de tiempo en un incendio, o la velocidad del viento de un huracán- (Pickett y White, 1985); mientras que la segunda refiere al número promedio de eventos por periodo de tiempo, también usada como la probabilidad de ocurrencia (Pickett y White, 1985).

A nivel comunitario, se considera que la máxima diversidad (taxonómica, por ejemplo) puede hallarse a niveles bajos, o a lo sumo medios de disturbios (según las variables intensidad y fre-

cuencia). Cuando son poco intensos o frecuentes, producen pequeños cambios en el ecosistema, independientemente de las características de éste. Se tiene en cuenta que esta fuente de variación puede detener la sucesión ecológica evitando que la comunidad alcance su supuesto clímax, manteniendo así una alta diversidad. De todos modos, no se dan explicaciones sobre los mecanismos por los que pueden ocurrir los fenómenos de este tipo.

Dentro de una misma especie, se comprende que los disturbios provocan la muerte, desplazamiento o daño de los individuos de una población de la misma (Sousa, 1984); que cuanto más intenso o frecuente sea el disturbio, más individuos mueren, se desplazan o sufren daños.

De maestría

Los disturbios no sólo consisten en una remoción de biomasa, sino que es cualquier evento relativamente discreto en el tiempo que trastorna la estructura de una población, comunidad o ecosistema, cambiando los recursos, la disponibilidad de sustrato o el ambiente físico (Pickett y White, 1985). En este contexto, la ausencia de una perturbación puede constituirse en un disturbio. Por ejemplo, en las sabanas brasileras, la supresión total del fuego resulta inadecuada como estrategia de conservación (Ramos-Neto y Pivello, 2000) por el hecho de que son comunidades que han convivido a lo largo de su historia evolutiva con los incendios. Es por ello que se ha comenzado a prescribir al fuego como herramienta de manejo en los parques nacionales norteamericanos de Yellowstone y Everglades, en Kakadu y Uluru de

Australia, entre otros (Saxon, 1984; Parsons *et al.*, 1986; Schullery, 1989, Conroy *et al.*, 1997; Russel-Smith, 1997).

La expresión de los disturbios se da en varios niveles de organización jerárquicos (Pickett *et al.*, 1989).

A nivel comunitario, se profundiza la relación entre disturbios y sucesión, por ejemplo, en el caso de un espacio vacío. La diversidad empieza con un nivel bajo cuando llegan unas pocas especies pioneras; alcanza un valor máximo hacia la mitad de la sucesión; y disminuye luego, cuando se produce la competencia (Begon *et al.*, 1988).

Como ocurre con este nivel de comprensión para el tema 'biodiversidad' y 'heterogeneidad temporal', la respuesta de un sistema frente a un disturbio se relaciona, necesariamente, con las características de las especies dominantes (Díaz, 2001a; Grime, 1998), con su capacidad para resistir un cambio, la formación de banco de semillas (Funes *et al.*, 2003), la presencia de órganos de reserva, etc. En el caso de la depredación como disturbio, se tiene en cuenta si se trata de un:

- Ramoneador no selectivo: ejerce efectos diferenciales sobre el crecimiento de las distintas especies de forma tal que las más altas sufrirán habitualmente más que las más bajas; mientras que las que poseen grandes órganos de acumulación subterráneos podrán recuperarse más rápidamente (Begon *et al.*, 1988). Los efectos del ramoneo no selectivo sobre la comunidad dependen de los grupos de especies que sufren más intensamente. Si es una especie subordinada (Grime, 1998), ésta puede ser presionada

hasta que se extinga, con la consecuente disminución de la diversidad. Además, el papel de filtro que ejercen algunas subordinadas en la regeneración de las especies dominantes luego de una gran perturbación (Grime, 1998), puede traer aparejados grandes cambios en la diversidad funcional.

- **Ramoneador selectivo:** como en el caso de los herbívoros generalistas, la depredación selectiva fomenta una mayor diversidad en la comunidad si las plantas preferidas son las dominantes (Begon *et al.*, 1988). Pero cuando los depredadores prefieren a las especies competitivamente inferiores, la diversidad disminuye (Lubchenco, 1978), ya que una vez removidas no pueden volver a establecerse (Begon *et al.*, 1988). En el caso de que sea una especie transitoria, por más que sólo están representadas como semillas o juveniles, ya que una gran proporción de éstas son dominantes o subordinadas en otros sistemas ecológicos cercanos, su implicancia en el efecto fundador (Grime, 1998) puede determinar que colonicen una zona aquellos tipos funcionales de plantas capaces de explotar las nuevas condiciones. Por otro lado, el efecto de la depredación de estas especies puede no significar grandes cambios en la riqueza de especies. Hay reconocimiento de que los depredadores especialistas son ideales para el control biológico y pueden restaurar la diversidad perdida por la introducción de una especie exótica. En este contexto, se da una interacción depredador-presa en la que ambos persisten, pero a menudo con densidades bajas (Begon *et al.*, 1988).

Además de las variables de los disturbios 'intensidad' y 'frecuencia', se

agregan (Pickett y White, 1985):

- **Disposición:** disposición espacial, incluyendo relaciones con gradientes geográficos, topográficos, ambientales y comunitarios.

- **Intervalo de retorno:** es el inverso de la frecuencia; es decir, el tiempo promedio entre dos disturbios.

- **Sinergia:** efectos por la ocurrencia de otros disturbios (por ejemplo: la sequía incrementa la intensidad del fuego).

- **Severidad:** impacto en el organismo, comunidad o ecosistema (por ejemplo: biomasa removida).

Como se dijo anteriormente, la diversidad de especies depende, entre otros factores, de la intensidad del disturbio y del tiempo de evolución conjunta de éste con el ambiente. En este sentido, la diversidad puede resultar máxima cuando es *alta* la presión de pastoreo, como ocurre en el matorral mediterráneo (Naveh y Whittaker, 1979; Perevolotsky y Seligman, 1998) debido al largo tiempo evolutivo de utilización por el hombre; cuando es *moderada* (Connell, 1978), como en los pastizales norteamericanos; o *baja*, cuando se trata de ecosistemas pobres en nutrientes (Proulx y Mazumder, 1998 y referencias citadas allí).

Al respecto, la Hipótesis del Disturbio Intermedio (Connell, 1978) explica que cuando los agentes causantes de mortalidad actúan con intensidades intermedias, evitan que las especies más competitivas excluyan a las demás, permitiéndoles permanecer en la comunidad. Si la intensidad del disturbio fuera baja, las especies más competitivas no

serían inhibidas; si fuera alta, ninguna de las especies podría compensar la gran mortalidad causada por el disturbio (Vega y Peters, 2003).

No se pierde de vista el nivel trófico al que el disturbio afecta principalmente, ni las relaciones entre éstos, debido a que los efectos no son fáciles de predecir ni cuantificar (Wooton, 1998).

A nivel poblacional, la consecuencia fundamental de la liberación de recursos que genera el disturbio es la oportunidad directa o indirecta para el establecimiento de nuevos individuos o colonias (Sousa, 1984). De este modo, el disturbio es importante en dos aspectos del ciclo de vida de una población dada. En primer lugar, sirve como una fuente de heterogeneidad espacio-temporal de la disponibilidad de recursos, situación fundamental para la permanencia de algunas especies. En segundo lugar, es además un agente de selección natural de las historias de vida (Sousa, 1984).

La prueba de una unidad didáctica con conceptos estructurantes de ecología

En el marco de un proyecto de innovación educativa que se desarrolló en 2004 (De Longhi, 2004) se diseñó una unidad didáctica problematizadora para la que se previó el tratamiento lingüístico de la clase y la secuencia de construcción conceptual (De Longhi *et al.*, 2004), elementos necesarios para poner en escena los significados y referentes del grupo de alumnos y para legitimar los diferentes niveles de comprensión de los conceptos estructurantes arriba mencionados. Finalmente, con todo ello, se propu-

so una secuencia de actividades (gráfico 1) en niveles de complejidad, abstracción (Sanmartí, 2000) y referencia ambiental crecientes (García, 2003) destinadas a que los alumnos transiten desde los niveles de comprensión más rudimentarios hacia los más elaborados y acabados (Boix Mansilla y Gardner, 1999), y según los momentos didácticos de inicio (i), desarrollo (d), síntesis (s) y aplicación (a). En esta propuesta, el patio escolar cumplió un papel protagónico (Feisinger *et al.*, 1997).

La unidad se desarrolló en la materia Ecología de un curso de quinto año de la Educación Polimodal (alumnos de diecisiete y dieciocho años de edad) de una escuela del interior de la provincia de Córdoba, Argentina, con orientación en Ciencias Naturales y especialidad en Salud y Ambiente.

Esta propuesta se llevó a cabo en cuatro clases de ochenta minutos cada una, se tomó el registro de audio y se realizaron entrevistas a los alumnos durante cada encuentro.

Los objetivos planteados fueron que los alumnos a) superen ideas preservacionistas sobre la conservación de las especies y los ecosistemas, b) sean capaces de construir un concepto actualizado de biodiversidad y otorguen relevancia a la misma para el funcionamiento ecosistémico y las políticas de conservación; y, que c) desarrollen capacidades metodológicas que les permitan reconstruir los conceptos ecológicos recuperando la dimensión sintáctica de la disciplina (Bermudez, 2005).

La idea fuerza que guiaría la construcción conceptual de los alumnos era

que el paso del tiempo puede determinar una co-evolución del ecosistema y sus disturbios de forma tal que los niveles más altos de diversidad de especies pueden encontrarse tanto a niveles bajos, como medios y altos de perturbaciones.

Inicio

i 1) Se presentó una situación problemática titulada *Ecologistas incendiarios* que recuenta una historia sobre los cuidados que dan los 'naturalistas' para conservar la diversidad biológica de los parques nacionales. En la misma, se menciona que una de las estrategias más empleadas consiste en evitar todo tipo de perturbación, ya sea natural o antrópica; pero que, en los últimos años, se ha comenzado a incendiar ciertas partes de zonas protegidas -como parques nacionales- en ocasiones particulares. A nivel local, este "paradigma" cuenta que un grupo de 'conservacionistas' quiere introducir ganado vacuno en un parque recientemente creado con los fines de recuperar la biodiversidad que paradójicamente disminuyó luego de la clausura.

i 2) Después de discutir sobre las razones y posibles contradicciones de estas decisiones resultó necesario dejar en claro cuál era el idea de biodiversidad que subyacía en tales afirmaciones. Para ello, en el patio escolar (un espacio muy grande que rodeaba a la institución, con distintas zonas determinadas por el tipo de uso), se pidió a los alumnos que dibujaran en papeles afiche tres zonas con diferentes niveles de diversidad, según lo que entendieran del concepto. Otros, en cambio, pintaron estas áreas pero con escalas de observación que fueron desde el micro al macrocosmos (desde una hormiga a un cóndor).

Desarrollo

d 1) Una vez en el aula, y colocadas en las paredes, fueron analizándose todas las producciones artísticas en busca de patrones. Las mismas, pusieron en evidencia dos componentes de la biodiversidad: el número de especies (o riqueza) y la 'variedad' de las mismas. A su vez, los dibujos permitieron analizar que estas y otras variables estaban fuertemente determinadas por la escala de análisis que toma el observador para estudiarlas.

d 2) Mediante el diálogo, el docente fue guiando las intervenciones de los alumnos para identificar a un nuevo componente de la diversidad biológica, siempre al nivel de especie, que es el de "abundancia relativa".

d 3) Luego se trabajaron los conceptos de *caracteres funcionales* y *tipos funcionales*.

d 4) Con estos fundamentos se arribó al constructo de *diversidad funcional*. Para ello, resultaron útiles los esquemas en el pizarrón de ambientes sencillos, con pocas especies, en donde se asignaban abundancias al azar a cada una, las cuales se fueron cambiando según las situaciones a representar (ecosistemas con distintas curvas de rango-abundancia). Es decir, sistemas de igual riqueza pero con totales de individuos diferentes; o similares, pero con distribuciones poco equitativas; compuestos de especies de unos pocos grupos funcionales, o de muchos; etc.

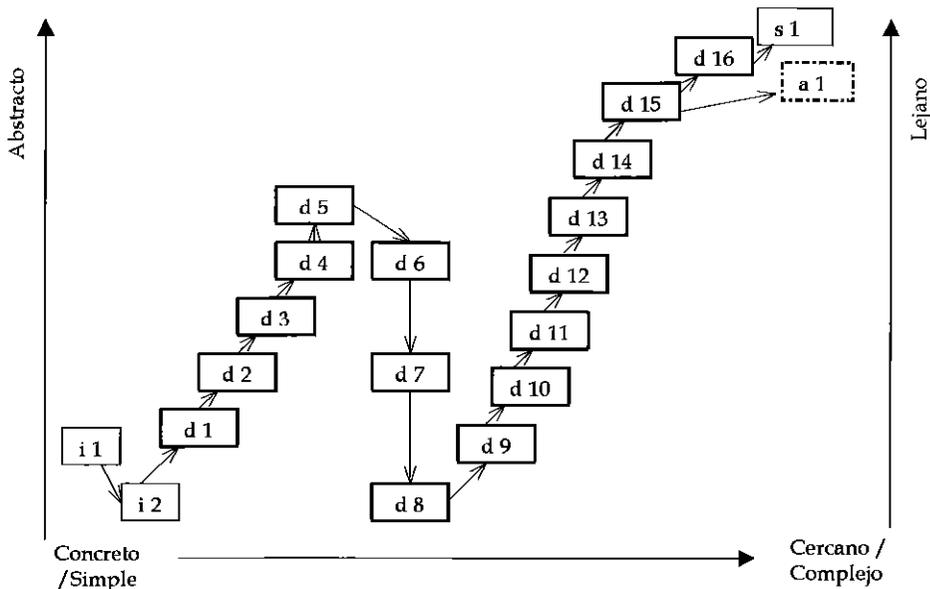
d 5) También se discutió sobre la influencia de los tipos funcionales en el funcionamiento ecosistémico y en la estrecha relación existente entre especies

abundantes y la respuesta ante las posibles perturbaciones 'naturales' o provocadas por el hombre.

d 6) Mediante el diálogo, se fue guiando a los alumnos a que aplicaran el

concepto de diversidad de especies a otras unidades de organización de la vida desde los genes (microcosmos) hasta las unidades de paisaje (macrocosmos).

Gráfico 1. Secuencia de actividades según los momentos didácticos de *inicio* (i), *desarrollo* (d), *síntesis* (s) y *aplicación* (a) de la prueba de una unidad didáctica con conceptos estructurantes en ecología, graficadas según su grado de abstracción, complejidad y referencia ambiental.



d 7) Luego, se conversó con los alumnos sobre las posibilidades de cuantificar la diversidad de especies de un ecosistema teniendo en cuenta las variables que habían sido puestas en juego en análisis. De esta manera, se propuso el índice de Simpson que, entre los existentes, posee operaciones matemáticas relativamente sencillas. Es así que se dio a los alumnos una tabla con el nombre vulgar y científico de especies vegetales de

la zona y sus abundancias relativas. Con este listado, y a modo de ejemplo, se calculó el índice entre todos, en el pizarrón.

d 8) Una vez realizada esta actividad, se concurrió al patio de la escuela con los fines de medir la diversidad de especies vegetales en las mismas áreas que anteriormente habían sido dibujadas. Para ello, se convinieron los nombres de las especies cuyas identidades resultaban desconocidas y se entregó una planilla a

cada grupo de alumnos para que cargue sus datos con facilidad. Cada grupo relevó un cuadrado de 1 m² elegido al azar en cada una de las zonas de la actividad "12" caracterizadas por: 1) alto nivel de pisoteo por actividades lúdicas en los recreos y prácticas deportivas variadas, 2) medio nivel de tránsito humano; y 3) bajo o nulo tránsito de personas.

d 9) De vuelta en el aula, se calculó el índice de Simpson (D) para cada área, y se realizó un promedio de los valores obtenidos por cada grupo.

d 10) De esta forma se pudieron comparar las tres zonas y relacionar la diversidad de especies con el nivel de pisoteo humano (disturbio).

d 11) Se identificaron posibles factores de variación no deseados como la presencia de árboles cercanos que pudieran estar influyendo en la diversidad de especies debido a la retención de humedad, aporte de nutrientes, la evitación de actividades lúdicas a su alrededor, etc.

d 12) Se graficó en el pizarrón "D" en función del nivel de disturbio (pisoteo humano, en este caso) y se pudo observar que de la unión de los tres puntos con una línea resultaba una curva a modo de campana, donde los valores más altos de diversidad se encontraban a niveles medios de perturbación. Mediante el diálogo, se fue discutiendo con los alumnos sobre las posibles causas de los valores hallados, las variables que intervenían en la estructuración de este patrón y las que condicionaron las mediciones realizadas debido a su falta de control (diseño experimental). Es decir, por un lado, en el área uno, la presión que ejercía el disturbio determinaba que sólo pudieran

sobrevivir las especies particularmente resistentes a las duras condiciones impuestas por el pisoteo intensivo, en este caso, las gramíneas y otras hierbas. Por otro, en el área tres, la diversidad de especies no fue máxima debido a que la ausencia de perturbación trajo como consecuencia que sólo se establecieran las especies más competitivas, desplazando a las demás. De este modo, en el área dos, el valor más elevado del Índice de Simpson se obtuvo porque se redujo la probabilidad de *exclusión competitiva* (Hutchinson, 1961). Es decir que, si dos o más especies compitieran por el mismo recurso en el mismo momento y en un ambiente estable, una de ellas desplazaría a la/s otra/s hacia la extinción mientras el sistema siga uniforme, sin ser desequilibrado por algún disturbio (Begon *et al.*, 1988).

d 13) A su vez, se pudo observar cómo variaba la composición florística según la intensidad de los disturbios. Por ejemplo, especies como la "cicutu" (*Conium maculatum*) y el "nabo silvestre" (*Brassica campestris*) dominaban la mayoría de las cuadratas de la zona con pisoteo esporádico, mientras que no estaban representadas en las demás áreas. El marco de interpretación de estas observaciones fue el de las estrategias ecológicas de Grime (1974, 1979), quien clasifica a los hábitat según la gravedad de sus condiciones y la cantidad de disturbios.

d 14) En la interacción se profundizó sobre algunos componentes de los *disturbios* como la *intensidad*, la *frecuencia* y la *estacionalidad* (Picket y White, 1985), relacionándolos con los frecuentes eventos de incendios invernales en

las sierras, posibles causas y consecuencias, especies vegetales involucradas en el rebrote, la rápida combustión, la *resistencia* -la habilidad de un sistema de permanecer en el mismo estado de cara a una perturbación- y la *resiliencia* -su capacidad para retornar al estado original luego de haber sido desplazado de éste- (Díaz, 2001a; Vega y Peters, 2003; Begon *et al.*, 1988).

d 15) Mediante el diálogo se relacionó lo llevado a cabo en el patio del colegio con la situación problemática "Ecologistas incendiarios". Para ello se realizó una analogía entre el pisoteo (estudiado en este dispositivo didáctico), la herbivoría y el fuego como disturbios en el ecosistema, para luego analizar su efecto sobre la diversidad de especies, y sobre la historia evolutiva de existencia conjunta.

d 16) En este sentido, se ejemplificó con las situaciones de los parques nacionales estadounidenses y australianos, matorrales mediterráneos y sabanas brasileñas. Es decir, en los ecosistemas en que ha habido un largo periodo de coexistencia entre la comunidad y las perturbaciones, la diversidad de especies es máxima a niveles altos de disturbios (Naveh y Whittaker, 1979; Perevolotsky y Seligman, 1998), a diferencia de aquellos donde es moderada (Connell, 1978), como en los pastizales norteamericanos; o baja, cuando se trata de ecosistemas pobres en nutrientes (Proulx y Mazumder, 1998 y referencias citadas allí).

Este proceso fue guiado cuidadosamente por el docente de forma que los elementos conocidos (análogos) sirvieran sólo como referencia y anclaje de los

tópicos (Ortony, 1975) -disturbios, ecosistemas, metodologías- para evitar que la analogía inicial impida la comprensión del conocimiento científico meta (Pittman, 1999). Mediante el diálogo, se orientó a los alumnos a la toma de conciencia del salto cognitivo logrado en el tema (Galagovsky, 1993), propósito didáctico de la última etapa del Modelo Didáctico Analógico (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001). Para ello, se explicitaron las transposiciones que operaron en los procesos de analogación; es decir, los recortes, simplificaciones y aproximaciones que se produjeron, las transferencias y los rangos de validez conceptual, destacando la condición de reversibilidad a la hora de recuperar el modelo original.

Síntesis

s 1) Finalmente, se legitimó al término de perturbación como toda variación que se produce en el régimen habitual de un sistema (aplicable a cada una de sus escalas de análisis), considerando que el paso del tiempo puede determinar una evolución conjunta del ecosistema y sus disturbios de forma que la biodiversidad puede resultar máxima con niveles altos, medios o bajos de los mismos.

Aplicación

a 1) Por último, los alumnos elaboraron la carta de recomendación a la Dirección de Parques Nacionales de Argentina sobre la posibilidad de que ingrese el ganado vacuno en la reserva. En la misma, pudieron aplicar los conceptos, procedimientos y actitudes trabajados en la unidad didáctica.

Conclusiones

Desde una visión de Didáctica de las Ciencias que trabaja sobre la transformación y comunicación de conocimientos en el aula, esta propuesta resulta una innovación de carácter constructivista. La misma se propone dar respuestas a diferentes problemas: a) al énfasis puesto en la información sumativa de un currículo de ciencias tradicional, dando criterios de selección y organización de contenidos basados en conceptos estructurantes, b) a la legitimación de aprendizajes centrada en definiciones de conceptos, planteando una hipótesis de progresión con diferentes niveles en la conceptualización, c) a la planificación centrada en los contenidos conceptuales mostrando la necesidad de construir saberes que permitan una alfabetización científica, y d) a la improvisación en temas muy divulgados (como los ecológicos con enfoque ambiental) mostrando la necesidad de un diseño con base epistemológica en la disciplina organizado en niveles de complejidad creciente.

La experiencia nos permitió abordar múltiples conceptos ecológicos sin perder de vista la forma en que los mismos son construidos. De hecho, las actividades en el patio de la escuela se realizaron con la finalidad de formar metodológicamente a los alumnos para recuperar así la dimensión sintáctica de la disciplina. Creemos que la situación problemática permitió trabajar durante toda la unidad didáctica, realizando aproximaciones sucesivas que favorecen el tránsito de los alumnos por los distintos, y cada vez más profundos, niveles de comprensión. Este hecho también se vio fomentado

por la planificación de las actividades en un gradiente de complejidad, abstracción y referencia ambiental crecientes. De esta forma, desde un ámbito muy cercano y conocido para los alumnos, como es el institucional, se fueron estableciendo analogías de los resultados y procedimientos a otros disturbios y contextos geográficos cada vez más lejanos. La generalización debió ser cuidadosa, pero estuvo guiada por la idea fuerza.

El marco teórico que sustenta la propuesta interrelaciona tópicos habitualmente tratados en forma independiente en el contexto de la Didáctica de las Ciencias como son la resolución de situaciones problemáticas, el diseño de unidades didácticas como hipótesis de progresión, los conceptos estructurantes y la enseñanza para la comprensión. La idea que los reúne en una explicación coherente es la de centrar la enseñanza en el marco de la disciplina de referencia, recuperarla desde una epistemología experimental para el caso y planificar los logros de aprendizaje en una graduación con diferentes puntos de llegada.

Creemos que esta estrategia incentiva e involucra a los estudiantes en problemáticas concretas y actuales, comprometiéndolos tanto afectiva como intelectualmente. Esta forma de trabajo representa un cambio de la cotidiana realidad escolar, sobretudo, en cuanto a la resolución de este tipo de problemas, a los que los adolescentes no están acostumbrados.

Es nuestra intención implementar la estrategia con otros contenidos y 'contagiar' a otros docentes, trabajando como equipos de innovadores e investigadores, en el marco de la Didáctica de la Biología y desde sus conceptos estructurantes.

Referencias bibliográficas.

- Acevedo, J.A., Vázquez, A. y Manassero, M.A. (2003). Papel de educación CTS en una alfabetización científica y tecnológica para todas las personas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(2).
- Astolfi, J.P. (1988). El aprendizaje de conceptos científicos: aspectos epistemológicos, cognitivos y lingüísticos. *Investigación en la Escuela*, 23, 65-76.
- Bachelard, G. (1938). *La formación del espíritu científico*. Méjico. Siglo XXI.
- Barker, S. y Slingsby, D. (1998). From nature table to niche: Curriculum progression in ecological concepts. *International Journal of Science Education*, 20(4), 479-486.
- Begon, M.; Harper, J.L. y Townsend, C.R. (1988). *Ecología: individuos, poblaciones y comunidades*. Barcelona. Ediciones Omega.
- Bermudez, G. (2005). La diversidad biológica y los disturbios. Desde el patio de la escuela a los parques nacionales. En: De Longhi, A.L.; Ferreyra, A.; Paz, A.; Bermudez, G.; Solís, M.; Vaudagna, E. y Cortez, M. *Estrategias de enseñanza de Ciencias Naturales en el nivel medio*. (53-84). Córdoba. Universitas.
- Bermudez, G. y De Longhi, A.L. (2005). De la ingenuidad a la maestría. Niveles y dimensiones de la comprensión de cuestiones ecológicas en la escuela media. Ponencia en el Tercer Encuentro de Investigadores en Didáctica de la Biología. 9 y 10 de diciembre. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Disponible en:
http://www.adbia.com.ar/eidibi_archivos/aportaciones/com_orales/trabajos_completos/bermdez_deLonghi_co.pdf
- Bermudez, G. y De Longhi, A.L. (2006a). Magia y catástrofe en la comprensión ingenua de factores estructuradores de los ecosistemas. VII Jornadas Nacionales y II Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología "La educación en biología: desafíos y propuestas para una práctica educativa renovadora". ADBiA. 11 a 14 de octubre, Neuquén, Argentina.
- Bermudez, G. y De Longhi, A.L. (2006b). La comprensión de los métodos ecológicos en el planteo de estrategias contra la pérdida de la diversidad biológica. VII Jornadas Nacionales y II Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología "La educación en biología: desafíos y propuestas para una práctica educativa renovadora". ADBiA. 11 a 14 de octubre, Neuquén, Argentina.
- Boix Mansilla, V. y Gardner, H. (1999). ¿Cuáles son las cualidades de la comprensión? En: Stone Wiske, M. (comp.). *La enseñanza para la comprensión. Vinculación entre la investigación y la práctica*. (215-256). Barcelona. Paidós.
- Buch, T. (2003). CTS desde la perspectiva de la educación tecnológica. *Revista Ibero-Americana de Educação*, 32, 147-163.
- Cano Martínez, M.I. (2005). La atención a la diversidad desde propuestas diversas: el tratamiento de la problemática ambiental en la secundaria obligatoria. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 44, 35-45.
- Carmona, A.G. (2005). Relaciones CTS en el estudio de la contaminación atmosférica: una experiencia con estudiantes de secundaria. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(2).

- Chapin, F.S. III; Zavaleta, E.S.; Eviner, V.T.; Taylor, R.L.; Vitousek, P.M.; Reynolds, H.L.; Hooper, D.U.; Lavorel, S.; Sala, O.E.; Hobbie, S.E.; Mack, M.C. y Díaz, S. (2000). Consequences of changing biodiversity. *Nature*, 405, 234-242.
- Connell, M.L. (1978). Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199, 1302-1310.
- Convention on Biological Diversity. (2001-2005). Secretariat of the Convention on Biological Diversity. United Nations Environment Programme.
En: <http://www.biodiv.org/convention/default.shtml#>.
- Conroy, R.J.; Burrell, J. y Neil, R. (1997). Fire management planning: some recent initiatives from the NSW National Parks and Wildlife Service. En: *Proceedings of the Australian Bushfire Conference*. (207-212).
- Costanza, R.; D'arge, R.; De Groot, R.; Farber, S.; Grasso, M.; Hannon, B.; Limburg, K.; Naeem, S.; O'Neill, R.V.; Paruelo, J.; Ranskin, R.G.; Sutton, P. y van Den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
- DeLong Jr., D.C. (1996). Defining Biodiversity. *Wildlife Society Bulletin*, 24, 738-749.
- De Longhi, A.L.; Bernardello, G.; Crocco, L. y Gallino, M. (2003). *Ciencias Naturales II: Genética y Evolución*. Módulos 1 y 2. (Libro en CD). Buenos Aires. Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación.
- De Longhi, A.L. (Coordinador). (2004). *Una estrategia problematizadora para enseñar y aprender ciencias*. Programa de Innovaciones en el aula. Convenio de Cooperación Interinstitucional: Agencia Córdoba Ciencia, Ministerio de Educación, Universidad Nacional de Ciencias y Academia Nacional de Ciencias.
- De Longhi, A.L.; Ferreyra, A.; Paz, A.; Campaner, G.; Cortez, M. y Bermudez, G. (2004). Desde el contenido a la interacción. Estrategia de indagación dialógica en Ciencias. *III Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales*. (1-3). Guatemala. Universidad San Carlos de Guatemala y Escuela de Formación de Profesores de Enseñanza Media., 5-9 de julio. CD.
- De Longhi, A.L. (2005). Propuestas para un proceso de formación continua de docentes innovadores en educación en ciencias. En: De Longhi, A.L.; Ferreyra, A.; Paz, A.; Bermudez, G.; Solís, M.; Vaudagna, E. y Cortez, M. *Estrategias de enseñanza de Ciencias Naturales en el nivel medio*. (9-24). Córdoba. Universitas.
- Díaz, S. (2001a). Ecosystem function, measurement, terrestrial communities. En: *Encyclopedia of Biodiversity*, Vol. 2. (321-344). Academic Press.
- Díaz, S. (2001b). Does biodiversity matter to terrestrial ecosystem processes and services? En: Steffen, W., Jäger, J., Cason, D. y Bradshaw, C. (eds.). *Challenges of a changing Earth: Proceedings of the Global Change Open Science Conference*. (165-167). Amsterdam. Springer.
- Díaz, S. y Cabido, M. (2001). Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *TRENDS in Ecology & Evolution*, 16(11), 646-655.
- Díaz, S. y Cabido, M. (1997). Plant functional types and ecosystem response to global change: a multiscale approach. *Journal of Vegetation Science*, 8, 463-474.
- Díaz, S. y Cáceres, D.M. (2001). Ecological approaches to rural development projects. *Cadernos de Saúde Pública* (Brasil), 16 (sup. 3), 7-14.

- Díaz, S.; Gurvich, D.E.; Pérez-Harguindeguy, N. y Cabido, M. (2002). ¿Quién necesita tipos funcionales de plantas? *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 37(1-2), 135-140.
- Edwards, M.; Gil, D.; Vilches, A. y Praia, J. (2004). La atención a la situación del mundo en la educación científica. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(1), 47-64.
- Feinsinger, P.; Margutti, L. y Oviedo, R.D. (1997). School yards and nature trails: ecology education outside the university. *TRENDS en Ecology and Evolution*, 12(3), 115-120.
- Funes, G.; Basconcelo, S.; Díaz, S. y Cabido, M. (2003). Seed bank dynamics in tall-tussock grasslands along an altitudinal gradient. *Journal Vegetation Science*, 14, 253-258.
- Gagliardi, R. (1986). Los conceptos estructurales en el aprendizaje por investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 30-35.
- Galagovsky, L.R. (1993). *Hacia un nuevo rol docente. Una propuesta diferente para el trabajo en el aula*. Buenos Aires. Troquel.
- Galagovsky, L.R. y Adúriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 231-242.
- García, J.E. (1995). Epistemología de la Complejidad y enseñanza de la Ecología. El concepto de ecosistema en la escuela secundaria. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla.
- García, J.E. y Rivero, A. (1996). La transición desde un pensamiento simple hacia otro complejo en el caso de la construcción de nociones ecológicas. *Investigación en la Escuela*, 28, 37-58.
- García, J.E. (1997). Una hipótesis de progresión sobre los modelos de desarrollo en educación ambiental. *Investigación en la Escuela*, 37, 15-32.
- García, J.E. (2000). Educación ambiental y ambientalización del currículum. En: Perales, F.J. y Cañal, P. (coord.). *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Marfil. Alcoy.
- García, J.E. (2003). Investigando el ecosistema. *Investigación en la Escuela*, 51, 83-100.
- Gil Pérez, D.; Gavidia Catalán, V.; Sanmartí Puig, N.; Caamaño Ros, A.; Albadejo Marcet, C.; Jiménez Aleixandre, M.P.; Barral, F.M.L. y Otero Gutierrez, L. (1993). *Propuestas de secuencia. Ciencias de la naturaleza*. Madrid. Editorial Escuela Española.
- Giordan, A. y De Vecchi, G. (1988). *Los orígenes del saber. De las concepciones personales a los conceptos científicos*. Sevilla. Diada.
- Grime, J.P. (1998). Benefits of plant diversity to ecosystems: immediate, filter and founder effects. *Journal of Ecology*, 86, 901-910.
- Grime, J.P. (1979). *Plant strategies and vegetation processes*. Chichester. John Wiley & Sons.
- Grime, J.P. (1974). Vegetation classification by reference to strategies. *Nature* (London), 250, 26-31.
- Halfpeter, G.; Moreno, C.E. y Pineda, E.O. (2001). *Manual para evaluación de la biodiversidad en Reservas de la Biosfera*. vol. 2. Zaragoza. M&T-Manuales y Tesis SEA.
- Hamilton, A. (2005). Species diversity or biodiversity? *Journal of Environmental Management*, 75, 89-92.

- Heywood, V.H. (Ed.). (1995). *Global biodiversity assessment*. Cambridge. Cambridge University Press.
- Hodgson, J.G.; Montserrat-Martí, G.; Tallowin, J.; Thompson, K.; Díaz, S.; Cabido, M.; Grime, J. P.; Wilson, P.J.; Band, S.R.; Bogard, A.; Cabido, M.; Cáceres, D.; Castro-Díez, P.; Ferrer, C.; Maestro-Martínez, M.; Pérez-Rontomé, M.C.; Charles, M.; Cornelissen, J.H.C.; Dabbert, S.; Pérez-Harguindeguy, N.; Krimly, T.; Sijtsma, F.J.; Strijker, D.; Vendramini, F.; Guerrero-Campo, J.; Hynd, A.; Jones, G.; Romo-Díez, A.; de Torres Espuny, L.; Villar-Salvador, P. y Zak, M.R. (2005). How much will it cost to save grassland diversity? *Biological Conservation*, 122, 263-273.
- Hogan, K. (2002). Small groups' ecological reasoning while making an environmental management decision. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(4), 341-368.
- Hunter, L.M. y Brehm, J. (2003). Qualitative insight into public knowledge of, and concern with, biodiversity. *Human Ecology*, 31(2), 309-320.
- Huston, M. (1979). A general hypothesis of species diversity. *American Naturalist*, 113, 81-101.
- Hutchinson, G.E. (1961). The paradox of plancton. *American Naturalist*, 95, 137-145.
- Ibarra Murillo, J. y Gil Quílez, M.J. (2005). Alumnos de secundaria argumentando en Ecología: ¿están en equilibrio los ecosistemas? *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra, VII Congreso.
- Janssens, F.; Peeters, A.; Tallowin, J.R.B.; Bakker, J.P.; Bekker, R.M.; Fillat, F. y Oopmes, M.J.M. (1998). Relationship between soil chemical factors and grassland diversity. *Plant and Soil*, 202, 69-78.
- Jiménez Aleixandre, M.P. (2002). Presentación de monografías: ciencia y cultura, cultura y evolución. *ALAMBIQUE. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 32, 5-8.
- Lavelle, S.; McIntyre, S.; Landsberg, J. y Forbes, T.D.A. (1997) Plant functional classifications: from general groups to specific groups based on response to disturbance. *Trends Ecology and Evolution*, 12, 474-478.
- Lawton, J.H. y May, R.M. (1995). *Extinction Rates*. Oxford. Oxford University Press.
- Loreau, M. (2000). Biodiversity and ecosystem functioning: recent theoretical developments. *Oikos*, 91, 3-17.
- Lubchenco, J. (1978). Plant species diversity in a marine intertidal community: importance of herbivore food preference and algal competitive abilities. *American Naturalist*, 112, 23-39.
- Margalef, R. (1997). El binomio diversidad-biodiversidad. *Simposio Internacional sobre Diversidad Biológica y Biodiversidad*. ADENA e INBIO. Madrid, 28-30 de mayo.
- Nebel, B.J. (1999). *Ciencias ambientales: ecología y desarrollo sostenible*. Méjico. Príncipe-Hall.
- Naveh, Z. y Whittaker, R.H. (1979). Structural and floristic diversity of shrublands and woodlands in northern Israel and other Mediterranean areas. *Vegetatio*, 41, 171-190.
- Ortony, A. (1975). Why metaphors are necessary and not just nice. *Educational Theory*, 25, 45-53.
- Parsons, D.J.; Graber, D.M.; Agee, J.K. y van Wagtenonk, J.W. (1986). Natural fire management in national parks. *Environmental Management*, 10(1), 21-24.

- Perevolotsky, A. y Seligam, N.G. (1998). Role of grazing in Mediterranean Rangeland Ecosystems. *Bioscience*, 48(12), 1007-1017.
- Perkins, D. (1999). Qué significa comprender. En: Stone Wiske, M. (comp.). *La enseñanza para la comprensión. Vinculación entre la investigación y la práctica*. Barcelona. Paidós.
- Pickett, S.T.A.; Kolasa, J.; Armesto, J. y Collins, S.L. (1989). The ecological concept of disturbance and its expression at various hierarchical levels. *Oikos*, 54(2), 129-136.
- Pickett, S.T.A. y White, P.S. (Eds.). (1985). *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Orlando. Academic Press.
- Pimentel, D.; Wilson, C.; Mc Cullum, C.; Huang, R.; Dwen, P.; Flack, J.; Tran, Q.; Saltman, T. y Cliff, B. (1997). Economic and environmental benefits of biodiversity. *Bioscience*, 47(11), 747-757.
- Pimm, S.L.; Russell, G.J.; Gittleman, J.L. y Brooks, T.M. (1995). The future of biodiversity. *Science*, 269, 347-350.
- Pittman, K.M. (1999). Generated analogies: another way of knowing? *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 122.
- Porlán, R. (1992). La Didáctica de las Ciencias. Una disciplina emergente. *Cuadernos de Pedagogía*, 210, 68-71.
- Proulx, M. y Mazumder, A. (1998). Reversal of grazing impact on plant species richness in nutrient-poor vs. nutrient-rich ecosystems. *Ecology*, 79(8), 2581-2592.
- Ramos-Neto, M.B. y Pivello, V.R. (2000). Lightning fires in a Brazilian savanna national park: rethinking management strategies. *Environmental Management*, 26(6), 675-684.
- Russell-Smith, J. (1997). Developing a coordinated fire management and research program for northern Australia: the role of the CRC for tropical savannas. In: *Proceedings of the Australian Bushfire Conference*. (12-17).
- Sala, O. E., Chapin, F.S.; Armesto, J.J.; Berlow, E.; Bloomfield, J.; Dirzo, R.; Huber-Sanwald, E.; Huenneke, L.F.; Jackson, R.B.; Kinzig, A.; Leemans, R.; Lodge, D.M.; Mooney, H.A.; Oesterheld, M.; Poff, N.L.; Sykes, M.T.; Walker, B.H.; Walker, M. y Wall, D.H. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287, 1770-1774.
- Sanmartí, N. (2000). El diseño de Unidades Didácticas. En: Perales Palacios, F. y Cañal de León, P. (eds.). *Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y Práctica de la Enseñanza de las Ciencias*. Alcoy. Editorial Marfil.
- Saxon, E.C. (Ed.). (1984). *Anticipating the inevitable: a patch-burn strategy for fire management at Uluru National Park*. Australia. CSIRO Division of Wildlife and Rangelands Research.
- Schullery, P. (1989). The fires and fire policy. *Bioscience*, 39(10), 686-694.
- Sousa, W.P. (1984). The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 15, 353-391.
- Spellerberg, I.F. (1991). *Monitoring ecological change*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Terradas, J. (2001). *Ecología de la vegetación. De la fisiología de las plantas a la dinámica de las comunidades y paisajes*. Barcelona. Omega.

- Tilman, D. (1999) The ecological consequences of changes in biodiversity: a search for general principles. *Ecology*, 80, 1455-1474.
- Tilman, D. (2001). Functional diversity. En: *Encyclopedia of Biodiversity*, Vol 2. (109-120). Academic Press.
- UNEP. (1992). *Convention on biological diversity*. Nairobi. UNEP - Environmental Law and Institutions Program Activity Centre.
- Vega, E. y Peters, E. (2003). Conceptos generales sobre el disturbio y sus efectos en los ecosistemas. En: Sánchez, O.; Vega, E.; Peters, E. y Monroy-Vichis, M. (eds.). *Conservación de Ecosistemas de Montaña en México*. Méjico. Instituto Nacional de Ecología.
- White, P.A. (1997). Naïve ecology: causal judgments about a simple ecosystem. *British Journal of Psychology*, 8(2), 219-233.
- White, P.A. (2000). Naïve analysis of a food web dynamics: a study of causal judgment about complex physical systems. *Cognitive Science*, 24(1), 605-650.
- Wootton, T. (1998). Effects of disturbance on species diversity: a multitrophic perspective. *The American Naturalist*, 152(6), 803-825.