

USO DE LOS CICLOS DE APRENDIZAJE PARA LA ENSEÑANZA DE DESTREZAS DE RAZONAMIENTO CIENTÍFICO Y DE SISTEMAS CONCEPTUALES¹

LAWSON, A.E.

Department of Zoology, Arizona State University, Tempe, AZ 85287, EUA.

SUMMARY

This paper deals with an important tool in science education, learning cycles. The author covers this topic through a historical perspective about their origins, a theoretical position about their use (covering the nature of declarative and procedural knowledge and the constructive process of formation of concepts and the relationship of the latter with conceptual change), and concludes with a description of the three types of learning cycles and their accomplishment of improving students' declarative and procedural knowledge. The examples along the text are specially devoted to biology.

PERSPECTIVA HISTÓRICA

Todos somos maestros en algún momento de nuestra vida, ya sea o no de una manera profesional. Por ello, todos «sabemos» algo acerca de cómo enseñar. El ciclo de aprendizaje es un método de enseñanza que pretende ser consistente con la manera cómo la gente construye espontáneamente el conocimiento; así, cualquiera que haya meditado acerca de cómo enseñar de forma efectiva, sin duda habrá descubierto diversos aspectos del ciclo de aprendizaje. Esta razón nos impide conocer el nombre del responsable del invento del ciclo de aprendizaje. Es muy posible que haya sido ideado en numerosas ocasiones por muchos maestros incluyendo sin duda los anteriores a Sócrates, quien empleó su famoso método para provocar en sus seguidores la reflexión sobre las insuficiencias de su propio conocimiento. Por otra parte, sería incorrecto concluir a partir de esto que el trabajo teórico y empírico que recientemente se ha realizado sobre el ciclo de aprendizaje no tiene nada nuevo que ofrecer. El acto de enseñar implica procedimientos y por ello requiere el uso de conocimientos relacionados con ellos y, como veremos más adelante, estos conocimientos procedimentales no se desarrollan mediante la invención repentina de ideas nuevas, sino a través del incremento gradual del conocimiento o consciencia de estos procedimientos. El trabajo reciente realizado sobre el ciclo de aprendizaje representa, realmente, no un nuevo punto de partida para prácticas pasadas, sino un aumento del nivel de conocimiento acerca de

cómo debemos enseñar y de por qué debemos enseñar de una forma concreta. Este incremento en el conocimiento nos debe conducir a una utilización más consistente de procedimientos correctos y, como consecuencia, a un aprendizaje más efectivo.

Orígenes del ciclo de aprendizaje en el programa SCIS

La identificación del ciclo de aprendizaje y sus tres fases, *exploración, introducción de vocablos, aplicación del concepto*, pueden encontrarse en los primeros trabajos del programa *Science Curriculum Improvement Study (SCIS)* del campus de Berkeley de la Universidad de California, realizados durante los últimos años de la década de 1950 y primeros de la de 1960 (*SCIS Newsletter No. 1*, 1964, en *Science Curriculum Improvement Study 1973*). Siendo más precisos, podemos buscar su origen en un día de 1957, cuando una estudiante de segundo grado invitó a su padre, el profesor Robert Karplus, físico de Berkeley, a dar una charla en su clase sobre la máquina de Wimshurst, un generador electrostático. El profesor Karplus, al igual que los alumnos, disfrutó de la visita. Durante los meses siguientes se sucedieron otras charlas sobre electricidad y magnetismo, tanto para estudiantes de la escuela elemental como para los de la escuela superior. Poco después, el profesor Karplus

comenzó a pensar en la posibilidad de desarrollar un programa de ciencias para la escuela elemental.

Con una beca de la *National Science Foundation*, Karplus preparó tres unidades tituladas *Coordenadas, Fuerza y ¿Qué soy yo?*, y las utilizó durante el curso 1959-60. A pesar de que la experiencia resultó interesante, el análisis que realizó del proceso de enseñanza reveló graves ideas falsas y otras debilidades. La experiencia inspiró a Karplus para plantearse una cuestión clave: *¿Cómo podemos crear una experiencia de aprendizaje que proporcione una conexión segura entre las actitudes intuitivas de los alumnos y los conceptos del punto de vista actual de la ciencia?*

Durante la primavera de 1960, Karplus continuó familiarizándose con la visión que los niños tienen sobre los fenómenos naturales dando clases dos veces por semana en primero, segundo y cuarto grado. También comenzó a elaborar respuestas tentativas a su pregunta. Después de esta experiencia, a Karplus, le ayudó mucho la visita que realizó al instituto de investigación de Jean Piaget, el psicólogo suizo pionero en el estudio de los patrones de razonamiento de los niños y de cómo se forman conceptos científicos.

Cuando Karplus regresó a los Estados Unidos en el otoño de 1961, volvió a dar clases en el nivel elemental con un plan basado en las observaciones y experiencias de los propios alumnos, con la intención de impulsar el aprendizaje. El plan incluía también ayudar a los alumnos a interpretar sus observaciones de una forma más analítica de la que ellos serían capaces de hacer sin ayuda. Durante ese curso escolar, J. Myron Atkin, entonces profesor de educación en la Universidad de Illinois, visitó Berkeley para compartir sus opiniones sobre la enseñanza con el profesor Karplus. Atkin y Karplus formularon juntos una teoría de enseñanza por *descubrimiento guiado* que posteriormente se formalizó en una serie de lecciones de prueba (Atkin y Karplus 1962).

El enfoque de descubrimiento guiado de Atkin y Karplus se diseñó de forma que fuera análogo a la manera en que antiguos personajes de ciencia inventaron y utilizaron conceptos nuevos de la naturaleza. En su trabajo de 1962 ofrecen un ejemplo de las observaciones e interpretaciones de la cultura antigua sobre el movimiento del Sol y los planetas. El modelo geocéntrico del sistema solar fue adoptado a partir de una invención conceptual derivada de observaciones iniciales. El concepto heliocéntrico representa una invención alternativa. Con la ayuda de estas invenciones, la gente intenta descubrir otros fenómenos además de los que les han llevado a proponer la invención por primera vez, y que pueden ser entendidos utilizando la invención. Estos intentos, si tienen éxito, conducen a reforzar y refinar el concepto. Si no tienen éxito, ponen de manifiesto los límites del concepto o, en algunos casos, les lleva a reemplazarlo.

Atkin y Karplus distinguen claramente entre la comprensión inicial de un nuevo concepto (llamada invención) y su posterior verificación o extensión (llamada descubrimiento). Asumen que generalmente los niños no son capaces de «inventar» los conceptos actuales de

la ciencia, por lo que se hace necesario para el docente «introducir» estos conceptos asegurándose de que las observaciones previas de los alumnos puedan interpretarse (o reinterpretarse) utilizando el concepto introducido. Atkin y Karplus compararon el proceso, en algunos aspectos, con la situación de un profesor copernicano que enseña a sus alumnos que el Sol está en el centro del sistema solar, mientras que toda la sociedad *sabe* que es la Tierra la que está en el centro. Atkin y Karplus no introducen los vocablos *exploración* y *ciclo de aprendizaje* en su artículo de 1962, pero las fases de *invención* y *descubrimiento* son muy evidentes en su discurso y en los temas de ejemplo.

Durante el verano de 1962, el profesor Karplus aceptó una invitación para trabajar con el *Elementary Science Study* de *Educational Services Incorporated*. Para él estaba claro que los niños necesitan tiempo para *explorar* un sistema experimental a su propio ritmo y con sus propios preconceptos. Sólo después de esta «exploración» inicial es prudente introducir un punto de vista más analítico. Armado con esta nueva intuición, Karplus puso a prueba su enfoque modificado en el siguiente curso en numerosas aulas escolares públicas cercanas a la Universidad de Maryland, donde se encontraba ubicado temporalmente el proyecto *SCIS*. En ese tiempo juntaron esfuerzos con este proyecto algunos miembros nuevos, entre los que se contó con Herbert Thier, quien publicó en 1967 con Karplus un libro en el que por vez primera aparecen explícitamente las tres fases de este enfoque de enseñanza: *El plan de un tema puede verse, por tanto, que consiste en esta secuencia: exploración preliminar, invención y descubrimiento* (Karplus y Thier 1967, p. 40).

Orígenes del ciclo de aprendizaje en la enseñanza de la biología

También pueden encontrarse los orígenes del ciclo de aprendizaje en la enseñanza de la biología. En 1953, la *National Academy of Sciences* organizó un congreso sobre enseñanza de la biología para someter a examen las prácticas educativas anteriores y sugerir nuevos enfoques alternativos. Como resultado del congreso, la *National Science Foundation* financió un proyecto que, bajo la dirección del profesor Chester Lawson —un genético de la Universidad del Estado de Michigan—, se llevó a cabo en el otoño de 1956. El resultado de este proyecto, en el que participaron treinta profesores de biología de bachiller superior y universidad de todo el país, fue la publicación de un manual con más de 150 actividades de laboratorio y de campo adecuadas para los cursos de bachiller superior (Lawson y Paulson 1958). A pesar de que no se explicitaba en él ningún método de enseñanza, su publicación impulsó que el profesor Lawson, entre otros, comenzara la búsqueda de un método apropiado de trabajo. Este proyecto también sirvió como precursor del conocido proyecto *Biological Science Curriculum Study (BSCS)*.

El profesor Lawson, al igual que el profesor Karplus, puso su atención en la historia de la ciencia para investigar el proceso de invención conceptual. Su libro de 1958, *Language, Thought, and the Human Mind*, detalla cuida-

dosamente la naturaleza de la invención científica e identifica un patrón general de razonamiento al que se refiere como *creencia-expectativa-prueba* (Lawson 1958). En este patrón, similar al de invención y descubrimiento de Atkin y Karplus, la invención conceptual constituye una *creencia* que conduce a una *expectativa* que ha de ser *probada* en el mundo real. Si uno descubre evidencias que confirman la invención, ésta se mantiene. En caso contrario, se rechaza en favor de otra creencia.

El profesor Lawson, después del proyecto de la *National Science Foundation*, comenzó a revisar exhaustivamente la investigación psicológica y neurológica del momento con el ánimo de desarrollar una teoría comprensiva sobre el aprendizaje humano, completada con un modelo de mecanismos neurológicos relacionados con consecuencias de la instrucción. La teoría resultante de este trabajo especificaba que el aprendizaje incluye: 1) atención dirigida a alguna «unidad global» no diferenciada, 2) la diferenciación de la unidad global por medio de la identificación de sus partes componentes, 3) la invención de un patrón por el cual se interrelacionan las partes, 4) la comprobación del patrón inventado para ver si se cumple, y 5) el uso del nuevo patrón en otras situaciones similares. La teoría de Lawson no fue publicada hasta 1967; a pesar de que su búsqueda bibliográfica no incluyó el trabajo de Atkin y Karplus (1962), en su libro se puede leer:

«Si sustituimos el término “unidad inicial” por sistema, “diferenciación” por la identificación de objetos internos al sistema, “patrón de relaciones” por invención, y “refuerzo” por descubrimiento, podemos ver la relación de este enfoque didáctico con nuestra teoría sobre el aprendizaje» (p. 119).

Por tanto, los mismos patrones de instrucción fueron «inventados» independientemente por Atkin y Karplus y por Lawson. Cuando Karplus, el físico, precisó de un biólogo para desarrollar la parte de ciencias de la vida del programa SCIS, llamó a Lawson². Lo que empezó siendo para Lawson una consulta de una par de semanas en el verano de 1965 terminó al cabo de diez años de trabajo como director del currículo para ciencias de la vida del programa SCIS. El producto final del programa SCIS a mitad de los años 70 fue un currículo de ciencias de la vida y de física basado en los ciclos de aprendizaje.

Cambios en los nombres de las fases del ciclo de aprendizaje

Curiosamente, el término *ciclo de aprendizaje* no aparece en ninguna de las primeras publicaciones del programa SCIS, a pesar de que sí se explicitan las fases de *exploración*, *invención* y *descubrimiento* (Karplus y Thier 1967, Science Curriculum Improvement Study 1973, Jacobson y Kondo 1968). El primer uso del término *ciclo de aprendizaje* aparece en la guía del profesor de las unidades del programa SCIS de 1970 (Science Curriculum Improvement Study 1970).

Se siguió usando el término *ciclo de aprendizaje* y los de *exploración*, *invención* y *descubrimiento* por Karplus y

otros hasta 1975 (Collea et al. 1975). No obstante, en 1976 y 1977 se constató que muchos profesores tenían problemas en comprender lo que los vocablos *invención* y *descubrimiento* querían decir en el contexto de la clase. Por ello, en una serie publicada en 1977, Karplus decidió referirse a las fases como *exploración*, *introducción de conceptos* y *aplicación de conceptos* (Karplus et al. 1977).

Otros decidieron ir aún más lejos en la modificación. Nótese que yo mismo me he referido previamente a las fases del ciclo de aprendizaje como *exploración*, *introducción de vocablos* y *aplicación de conceptos*. Sugiero esta modificación principalmente porque creo que los nombres de las fases intentan comunicar significados a los profesores (no necesariamente a los estudiantes). Los profesores pueden introducir vocablos en la segunda fase del ciclo de aprendizaje, pero no pueden introducir conceptos. Los conceptos sólo pueden ser inventados por los estudiantes.

¿POR QUÉ UTILIZAR EL CICLO DE APRENDIZAJE? POSICIÓN TEÓRICA

La ciencia cognitiva distingue dos clases fundamentales de conocimiento, el declarativo y el relativo a los procedimientos. La distinción es esencialmente entre «saber qué» (por ejemplo, sé que hay 50 estados en los Estados Unidos, que los animales inhalan oxígeno y expelen bióxido de carbono) y «saber cómo» (por ejemplo, sé cómo ir en bicicleta, contar o llevar a cabo un experimento controlado). Anderson (1980) define ambos tipos de conocimiento de la manera siguiente: *El conocimiento declarativo incluye los hechos que sabemos; el procedimental incluye las destrezas que sabemos cómo llevar a cabo* (p. 222). Obviamente, cualquier teoría de la instrucción debe pretender como meta enseñar los dos tipos de conocimiento. No obstante, antes de discutir cómo el ciclo de aprendizaje cumple este objetivo, consideraremos más detalladamente estas dos clases de conocimiento.

La naturaleza del conocimiento declarativo

Desde el punto de vista de los profesores y de los encargados del desarrollo curricular, los aspectos declarativos de las disciplinas están compuestos de un conjunto de conceptos con varios grados de complejidad, abstracción e importancia. Éstos son vistos generalmente como las unidades primarias de la instrucción.

Definir el vocablo *concepto* de manera adecuada no es tarea sencilla. Sin embargo, la siguiente definición puede considerarse suficiente para nuestro propósito: «Un concepto se ha formado cuando dos o más objetos, eventos o situaciones distinguibles han sido agrupados o clasificados juntos y aparte de otros objetos, eventos o situaciones, basándose en algún hecho, forma o propiedades comunes entre ellos» (Bourne 1966, p. 2). Un concepto puede ser considerado como una unidad de conocimiento que existe en la mente de una persona. Normalmente utilizamos vocablos para referirnos a estas unidades.

Este hecho no rechaza la existencia de conocimiento no verbal, pero hemos elegido pensar en la formación de conceptos como algo que incluye, además del reconocimiento de alguna forma o hecho(s) común de algunos fenómenos, la introducción de algún vocablo o combinación de vocablos para referirse a lo que es común de esos fenómenos. Sillas, perros, átomos, democracia, hambre, amor, etc. son vocablos a los que se les ha atribuido significado. De aquí que estos vocablos representen conceptos.

Los conceptos no se encuentran aislados. Más bien, se encuentran relacionados en sistemas de significado que presentan frecuentemente una estructura jerárquica de conceptos subordinados y supraordinados (Ausubel 1963, Bruner 1963, Gagné 1970, Lawson 1958, Novak et al. 1983, Okebukola y Jegede 1988, Preece 1978, Suppes 1968). Estos sistemas de conceptos interrelacionados se denominan *sistemas conceptuales*. Un ejemplo de sistema conceptual es el de *ecosistema* en la teoría ecológica. Este sistema conceptual está formado de conceptos como *árboles, luz solar, ranas, guppies³, productores, consumidores, redes tróficas, comunidad, factores ambientales* y el mismo *ecosistema*. La jerarquía entre los conceptos, con las unidades básicas *árboles, ranas, luz solar*, etc., en la parte baja, y *ecosistema*, en la más alta, es lo que conforma el sistema conceptual conocido como *ecosistema*. El concepto *ecosistema* incluye la totalidad. Todos los conceptos mencionados previamente están

mentalmente integrados bajo el vocablo *ecosistema*. La figura 1 muestra algunos de los conceptos subordinados que deben ser interrelacionados para formar el concepto inclusivo de *ecosistema*.

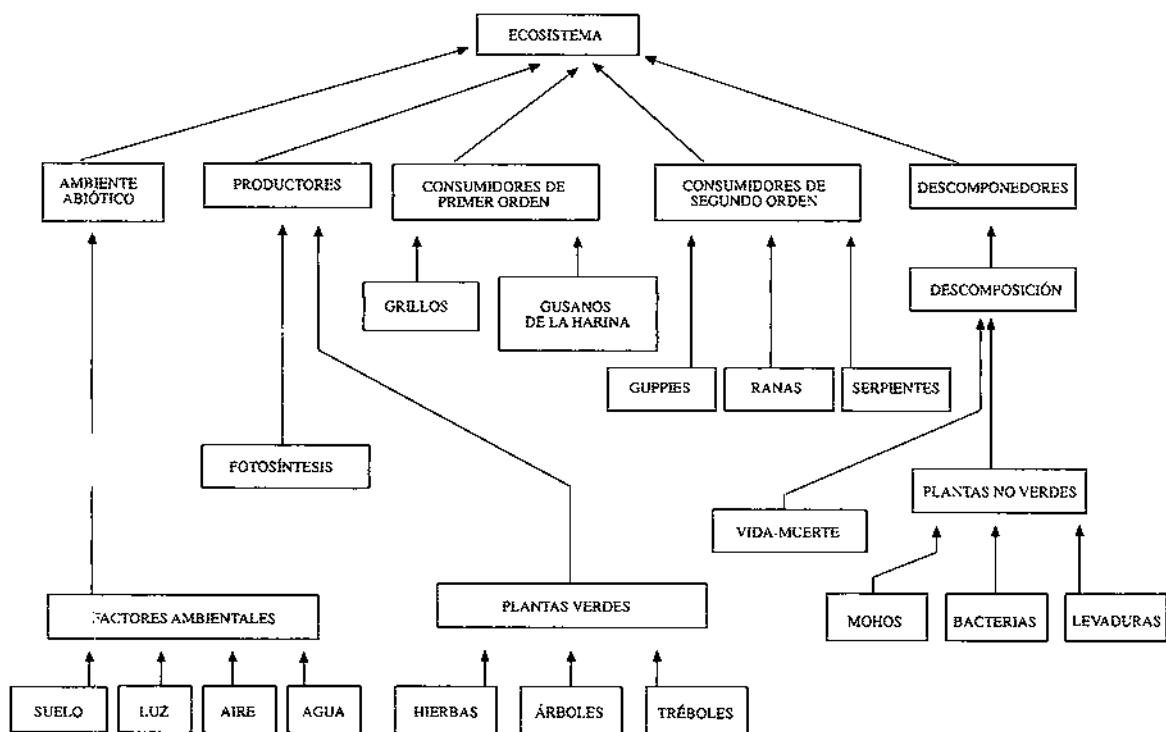
Tal y como se ha definido previamente, un concepto se refiere a algún patrón (regularidad) al que se ha dedicado uno o varios vocablos. Los vocablos se dividen en varias clases según las diferentes clases de significados. Hay al menos tres formas principales a partir de las cuales se pueden derivar significados. Por ello, hay tres clases principales de conceptos.

Se pueden obtener conceptos directamente de estímulos sensoriales, como *azul, frío o caliente, intenso o apagado*; de estados internos como *hambre, sed, cansancio*, etc. Todo el significado de estos términos procede inmediatamente del ambiente externo o interno. Por ejemplo, el vocablo *azul* deriva su significado de algo que es aprehendido de forma inmediata. Por ello, la primera clase de conceptos son los conceptos *por aprehensión* (Northrop 1947).

La segunda clase de conceptos se denominan *conceptos descriptivos*: objetos como *mesas, sillas, otras personas, habitación*, etc. eventos como *correr, descansar, jugar, comer*, etc. situaciones como *encima de, antes, debajo, junto a*, etc. Esta clase de conceptos son comprendidos de manera inmediata. El significado debe derivarse de la

Figura 1

Unos cuantos conceptos interrelacionados que están subordinados al concepto inclusivo de *ecosistema*. Las interrelaciones entre los conceptos subordinados son complejas y generalmente jerárquicas.



interacción directa con el mundo exterior. Los niños no nacen con la capacidad de percibir objetos en su ambiente tal y como son capaces de percibirlos cuando su desarrollo es más avanzado (Piaget 1952). Tal y como señaló Northrop (1947), *los objetos dependientes de la percepción no son factores que se comprenden inmediatamente; son postulados del sentido común tan conocidos y tan frecuente e inconscientemente verificados por sus consecuencias deductivas que únicamente el crítico es consciente de que deben ser postulados en lugar de ser directamente comprendidos*» (p. 93). En otras palabras, incluso las mesas son entidades construidas mentalmente. Lo que ocurre es que hemos perdido la consciencia de este hecho debido a que hemos recogido una ingente cantidad de datos en favor de la presunción de su existencia.

Los conceptos descriptivos se refieren también a las relaciones percibidas de objetos y eventos. *Más alto, más pesado, más amplio, más viejo, arriba de, antes de, etc.* son todos vocablos cuyo significado se deriva de la comparación directa de objetos y eventos. Para comprender el significado de estos términos, el individuo debe construir mentalmente un orden a partir de sus experiencias con el ambiente. No obstante, sus construcciones mentales siempre pueden ser comparadas y por tanto verificadas o no por la experiencia directa. Por tanto, los conceptos descriptivos nos permiten ordenar y describir la experiencia directa.

Los conceptos de la tercera de las clases también se producen a partir de postulados. Difieren de los descriptivos en que los atributos que los definen no son perceptibles. El uso primario de estos conceptos es el de funcionar como explicaciones de eventos que precisan causas, pero a los que no se les puede atribuir ningún agente causal directamente perceptible. Hadas, espíritus y fantasmas pertenecen a esta categoría. Ejemplos comunes de ellos en la ciencia son los genes, los átomos, las moléculas, los electrones, la selección natural, etc. Estos conceptos son denominados conceptos *teóricos*. La razón de existir de los conceptos teóricos de objetos imaginarios es la suposición básica de los humanos sobre el universo, es decir, los eventos no tienen lugar sin una causa. Debido a ello, si percibimos algunos sucesos pero no podemos percibir los objetos o procesos que los provocan, no concluimos que los sucesos son espontáneos y sin causa. En lugar de esto inventamos objetos e interacciones nunca vistas y capaces de explicar estos sucesos en términos causales perceptibles.

Debido a que los conceptos teóricos son producto de la imaginación y funcionan para explicar lo que de otra manera quedaría como inexplicable, deben dotarse de las propiedades o cualidades necesarias conformes con la teoría de la que forman parte. Es decir, derivan su significado según los postulados de teorías específicas (Lawson 1958, Lewis 1980 y 1988, Northrop 1947, Suppes 1968).

Es importante, para el educador que intenta enseñar conceptos teóricos como el electrón, que sea consciente de que un chico puede ser muy capaz de imaginar partículas muy pequeñas y denominarlas electrones si el profesor lo desea, pero con poca o ninguna conciencia o

comprensión de: 1) el sistema teórico del que forman parte y del hecho del que derivan su significado propio, 2) la situación o situaciones empíricas que conducen a postular por vez primera la existencia de estas partículas pequeñas, y 3) la evidencia que apoya la existencia de las partículas. Para el chico que no comprenda la naturaleza del sistema teórico y su relación con los datos empíricos, la idea de electrón, al igual que la de otros conceptos teóricos, puede parecerle que deriva su significado de algo mágico o quizá que aparece por decreto de algún científico omnisciente. Resumiendo, no se puede comprender completamente el significado de ningún concepto teórico sin tener alguna apreciación y consciencia del sistema teórico del que forma parte y de los datos empíricos sobre los que el sistema está fundamentado (Lawson y Karplus 1977, Shayer y Adey 1981).

Los conceptos por aprehensión, los conceptos descriptivos y los conceptos teóricos son los ladrillos que construyen los sistemas conceptuales que representan nuestro conocimiento sobre el mundo y el universo, los sistemas conceptuales que confeccionan las leyes, las filosofías y las religiones que guían las vidas de las personas, en resumen, son los contenidos de las mentes humanas.

Básicamente, los sistemas conceptuales son de dos clases, descriptivos o teóricos, según sea la naturaleza de los conceptos que comprende el sistema; un sistema conceptual descriptivo está compuesto solamente de conceptos por aprehensión y conceptos descriptivos. Un sistema teórico se compone de conceptos por aprehensión, descriptivos y teóricos.

Algunos ejemplos de sistemas conceptuales descriptivos son la anatomía humana, la cosmología de la antigua cultura griega, las taxonomías, y juegos como el ajedrez, el fútbol o el béisbol. Cada uno de estos sistemas está formado por conceptos sobre objetos perceptibles y las interacciones de estos objetos.

Como ejemplos de sistemas conceptuales teóricos podemos nombrar la teoría atómico-molecular, la genética de Mendel, la teoría de Darwin de la evolución por selección natural, etc. En la teoría atómico-molecular, los átomos y las moléculas se imagina que existen y que poseen ciertas propiedades y comportamientos, ninguna de las cuales puede ser observada. No obstante, al asignar a los átomos ciertas propiedades como la de combinarse unos con otros para formar moléculas, pueden explicarse algunos cambios químicos observables. De la misma forma, Mendel imaginó la existencia de genes que se presentan por pares, que se separan en el momento de la formación de gametos, que se unen de nuevo con la fusión del óvulo y el espermatozoo, y que determinan el camino de desarrollo del embrión. Asumiendo la existencia de los genes y que éstos tenían ciertas propiedades y comportamientos, Mendel fue capaz de explicar los resultados que se observaban en los cruces de plantas y animales.

Cada sistema conceptual está compuesto de un conjunto definido de postulados básicos que tomados juntos definen el sistema y ciertos conceptos básicos de ese siste-

ma. Por ejemplo, los postulados básicos de la genética clásica de Mendel son los siguientes:

1. Los rasgos hereditarios están determinados por unas partículas llamadas genes.
2. Los genes se transmiten de los parentales a la descendencia por medio de los gametos.
3. Un individuo posee al menos un par de genes para cada rasgo en cada una de sus células, exceptuando los gametos.
4. En ocasiones un gen de un par oculta la expresión del segundo gen (dominancia).
5. Durante la formación de gametos, los genes apareados se separan. Un gameto recibe un gen de cada par.
6. Para un gameto existe la misma probabilidad de recibir uno u otro de los genes del par.
7. Cuando se consideran dos pares de genes, los genes de cada par se reparten de forma independiente entre los gametos.
8. Los pares de genes separados en la formación de gametos se reúnen al azar en la fecundación.

Estos postulados, tomados juntos, constituyen la esencia de un sistema conceptual teórico (una teoría) que se utiliza para explicar cómo se transmiten los rasgos desde los parentales a la descendencia. Conceptos como gen, dominancia, recesivo, reparto independiente y segregación derivan su significado de los postulados del sistema. Cuando los postulados de una teoría como la de Mendel han sido ampliamente aceptados, se dice que la teoría es una teoría *empotrada* y se da a sus postulados la categoría de *hechos*. Los postulados de una gran cantidad de teorías científicas importantes han sido identificados por Lewis (1980, 1987 y 1988).

¿Cómo se forman los conceptos descriptivos? El proceso de construcción

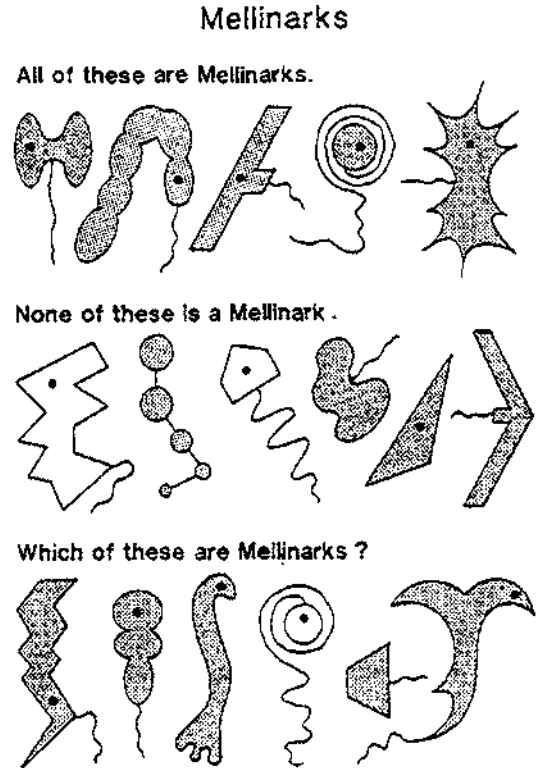
Para entender cómo tiene lugar la formación de conceptos descriptivos, consideremos los dibujos de la figura 2. La primera fila de la figura contiene cinco «criaturas» llamadas *mellinarks* (Elementary Science Study 1974). Ninguna de las criaturas de la segunda fila son *mellinarks*. A partir de esta información, intenta decidir cuáles de las criaturas de la tercera fila son *mellinarks*.

El problema de decidir qué criatura(s) de la tercera fila es/son *mellinark(s)* es un ejemplo de formación de conceptos descriptivos. Si has identificado correctamente la primera, segunda y sexta criaturas como *mellinarks*, has formado un «concepto» (esquema) para el vocablo *mellinark*. ¿Cómo lo hiciste? Teorías anticuadas sobre la abstracción (Hume 1739, Locke 1690) dirían que has «inducido» un conjunto de características específicas y las has generalizado a otros ejemplos. Por otra parte, teorías más actuales hacen hincapié en la importancia de

la generación de hipótesis y en la naturaleza predictiva de la formación de conceptos (Bolton 1977, Holland et al. 1986, Mayer 1983). Recordemos también el modelo de Lawson: creencia-expectativa-prueba (Lawson 1958).

Figura 2

Criaturas imaginarias llamadas *mellinarks* (tomado de Elementary Science Study 1974).



Consideremos una solución que emplee la noción más moderna de generación de ideas y comprobación. Un vistazo a la primera fila nos muestra algunas características de los *mellinarks*. Tienen cola. Tienen un punto grande y numerosos puntos pequeños. Están encerrados por una membrana similar a la celular que puede tener partes curvas o rectas. Si asumimos que características como éstas deben ser cruciales para reconocer un *mellinark*, ¿cuáles de ellas lo son? La naturaleza de la membrana (curva o recta) puede eliminarse inmediatamente ya que ambos tipos se presentan en la primera fila. La importancia de las otras tres características puede comprobarse fácilmente comenzando con algunas posibilidades como las que se apuntan a continuación:

Los *mellinarks* son criaturas que tienen:

1. Sólo un gran punto.
2. Sólo una gran cantidad de puntos pequeños.

3. Sólo una cola.
4. Un punto grande y muchos puntos pequeños.
5. Un punto grande y una cola.
6. Muchos puntos pequeños y una cola.
7. Un punto grande, muchos puntos pequeños y una cola.

La propuesta 1 nos conduce a predecir que todas las criaturas de la primera fila y ninguna de las de la segunda tienen un punto grande. Como no es éste el caso, la predicción no se confirma y la propuesta de que los *mellinarks* son criaturas que se distinguen del resto únicamente por la presencia de un punto grande tampoco se confirma. El mismo patrón de razonamiento inductivo-deductivo nos lleva a descartar las propuestas 2 a la 6, dejando la número 7, en la que los *mellinarks* son definidos por la presencia de las tres características, como *correcta*. Por tanto, sólo la primera, la segunda y la sexta de las criaturas de la fila tres son *mellinarks*.

La formación de conceptos, desde esta perspectiva, no se considera como un proceso puramente abstracto, sino que descansa en la capacidad de generar y comprobar posibilidades. En este sentido, el conocimiento conceptual de alguien (un aspecto del conocimiento declarativo) depende de su conocimiento procedimental. Conforme uno gana destreza en el uso de estos procedimientos de comprobación de ideas, la formación de conceptos se le hace más fácil. Hablaremos más sobre esto más adelante, cuando se discuta el desarrollo del conocimiento procedimental. En el caso de los *mellinarks*, el concepto formado es un concepto descriptivo, ya que los atributos que lo definen son directamente perceptibles. Podemos continuar usando el término *inducción* para referirnos a este proceso de formación de conceptos, siempre que no consideremos la inducción como puramente abstracta. Si no lo aceptamos así, entonces el proceso debe calificarse de inductivo-deductivo.

El papel del ensamblaje en la formación de conceptos de orden superior

La mente humana es capaz de integrar o procesar mentalmente sólo una cantidad limitada de información. Miller (1956) introdujo el vocablo *chunk* (pieza) para referirse a las unidades discretas de información que pueden ser retenidas en la memoria de trabajo y sufrir transformación o integración. Aportó numerosas evidencias para sugerir que el número máximo de estas unidades discretas fuese aproximadamente siete⁴.

Por supuesto, todos podemos formar conceptos que contienen mucha más información que la que aportan siete unidades. El vocablo *ecosistema*, como ya hemos visto, subsume un número de unidades discretas o piezas mucho mayor que siete. Además, el vocablo *ecosistema* es él mismo un concepto, por lo que probablemente ocupa el lugar de una única pieza en la memoria consciente. Esto implica la existencia de un proceso mental por medio del cual partes previamente no relacionadas

—es decir, piezas de información (un máximo de aproximadamente siete)— son unidas por la mente en una única pieza de orden superior o unidad de pensamiento. Este proceso se conoce por el nombre de ensamblaje (*chunking*, Simon 1974).

El resultado de la formación de conceptos de orden superior (ensamblaje) es extremadamente importante. Reduce la carga de la capacidad mental y abre de forma simultánea una capacidad mental adicional que puede ser ocupada por conceptos adicionales. Esto permite formar conceptos más complejos e inclusivos (por ejemplo, conceptos que subsumen mayor cantidad de conceptos subordinados). Volviendo a nuestro ejemplo inicial, a partir del momento en que sabemos lo que es un *mellinark*, ya no será necesario referirnos a ellos como «criaturas encerradas por una membrana que puede ser curva o recta, que contiene en su interior un punto grande y muchos pequeños, y con cola». Utilizamos el vocablo *mellinark* para subsumir toda esa información, lo que facilita enormemente el razonamiento y la comunicación entre pares que han adquirido el concepto (véase Ausubel 1963 y Ausubel et al. 1968 para los detalles del proceso de subsunción).

¿Cómo se forman los conceptos teóricos?

El discurso precedente sobre la formación de los conceptos descriptivos deja dos importantes cuestiones por resolver. ¿Cómo puede tener lugar la formación de conceptos cuando los atributos que los definen no son directamente perceptibles, es decir, cuando el concepto en cuestión es teórico? ¿Qué ocurre cuando el concepto teórico que ha de ser adquirido contradice otro concepto conseguido previamente?

De nuevo consideraremos estas preguntas mediante el uso de un ejemplo. El ejemplo es el del cambio de visión que sufrió Darwin desde unas posturas creacionistas a otras evolucionistas. Además, Darwin inventó una teoría satisfactoria para la evolución por medio de la selección natural. De acuerdo con nuestra definición previa, démosles cuenta de que los conceptos de creacionismo, evolución y selección natural son todos ellos teóricos.

Consideremos primero el proceso de cambio conceptual. ¿Cómo se modifican o descartan los conceptos teóricos inapropiados en favor de otros conceptos teóricos más apropiados? Es una pregunta de respuesta difícil, principalmente debido a que el proceso tiene lugar en la mente de las personas, lejos del alcance de cualquier observador, y a menudo en un nivel subconsciente. Por tanto, no sólo se encuentra el proceso oculto para el investigador, sino también frecuentemente para el propio sujeto.

Cambio conceptual

Para trabajar este problema, Gruber y Barret (1974) han analizado el razonamiento de Darwin durante el período comprendido entre 1831 y 1838, cuando experimentó un

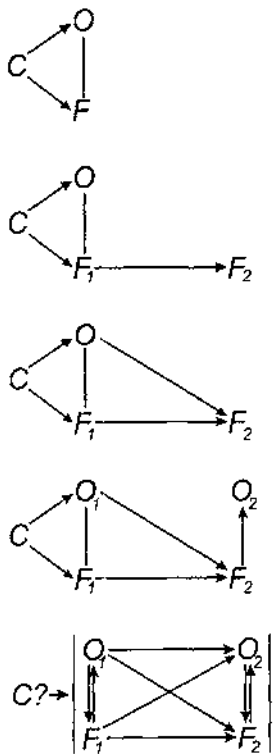
cambio conceptual desde una teoría creacionista del mundo (un error conceptual aún presente hoy en el razonamiento científico) a la de un evolucionista (una concepción científica actualmente válida). Afortunadamente para Gruber y Barret, y para nosotros, Darwin dejó registrada una gran parte de sus pensamientos en extensos diarios. La figura 3 muestra los cambios principales que ocurrieron en su sistema conceptual teórico durante ese período.

La teoría de Darwin en 1831 ha sido descrita por Gruber y Barret como una teoría en la cual el creador hizo un mundo orgánico y un mundo físico. En esta visión, el mundo orgánico estaba perfectamente adaptado al mundo físico. Esta visión del mundo era útil para Darwin, y sus razonamientos y comportamiento fueron consistentes con ella.

Aunque Charles Darwin era sin duda un creacionista en 1831, ya era entonces consciente de algunas posturas evolucionistas. De hecho, su propio abuelo, Erasmus Darwin, publicó un libro titulado *Zoonomia: or the Laws of Organic Life* que contenía ideas especulativas sobre la evolución y su posible mecanismo. Sin embargo, el día de 1831 que Darwin embarcó en el *H.M.S. Beagle* como naturalista no buscaba una teoría de la evolución, sino una aventura.

Figura 3

Cambio de la visión del mundo experimentado por Darwin entre 1832 y 1838, como ejemplo de equilibración mental (tomado de Gruber y Barret 1974).



- a. En 1832 y antes: El creador (C) construyó un mundo orgánico (O) y un mundo físico (F); O se encuentra perfectamente adaptado a F. Hay equilibrio mental.
- b. Entre 1832 y 1834: El mundo físico experimenta un cambio continuo regido por fuerzas naturales como las reunidas en *Principles of Geology* de Lyell. Esto implica una contradicción lógica que induce un estado de desequilibrio mental.
- c. En 1835: Las actividades de los organismos vivos contribuyen al cambio en el mundo físico (por ejemplo arrecifes de coral). Persiste el desequilibrio.
- d. Entre 1836 y 1837: Los cambios en el mundo físico implican cambios en el mundo orgánico si se mantienen el concepto de adaptación; la acción directa del medio físico «induce» la adaptación biológica. El equilibrio se restablece parcialmente.
- e. En 1838 y posteriormente: Los mundos físico y orgánico interactúan continuamente e inducen cambios recíprocos para mantener la adaptación. El creador, si existe, puede haber establecido la existencia del sistema pero no interfiere su actuación, manteniéndose al margen de él. Se restablece el equilibrio mental en un nivel superior de mayor complejidad.

Durante los dos primeros años de viaje en el *Beagle*, Darwin leyó algunas ideas persuasivas sobre la modificación del medio físico a lo largo del tiempo, en la obra en dos volúmenes de Charles Lyell *Principles of Geology*. En cada lugar nuevo que Darwin visitaba, encontraba ejemplos y ampliaciones importantes de las ideas de Lyell. Darwin se fue progresivamente convenciendo de que el mundo físico no era estático, sino que cambiaba con el tiempo. Esta nueva concepción del mundo físico presentaba oposición a sus creencias anteriores, lo que provocó en él serias contradicciones. Si el mundo orgánico y el mundo físico están perfectamente adaptados, y el mundo físico cambia, el mundo orgánico también debe cambiar. Ésta es, claramente, la extensión lógica del argumento. Por tanto, su conclusión era la opuesta a la teoría original de Darwin de que los organismos no evolucionaban.

Esta contradicción de visiones colocó a Darwin en lo que Piaget ha denominado estado de *desequilibrio mental*, ya que Darwin no aceptó inmediatamente la lógica de esta situación, concluyendo que los organismos también deben cambiar. De hecho, no fue hasta 1837, después de su vuelta a Inglaterra, cuando se convirtió a la idea de la evolución de las especies (Green 1958). No parece probable que hiciera falta esa cantidad de tiempo para que Darwin asimilara la lógica de la situación, pero el hecho es que en las 2.000 páginas de notas geológicas y biológicas que hizo durante el viaje, hay muy pocas dedicadas a la discusión sobre la evolución de los organismos. Y la poca argumentación que hay se opone a la idea.

Exactamente cuándo y por qué Darwin cambió sus ideas, obviamente, no se sabe. No obstante, en la figura 3 se muestra un resumen bastante exacto de su cambio en la visión del mundo. Smith y Millman (1987) han examinado también cuidadosamente los cuadernos de notas de Darwin (especialmente el cuaderno B) y han caracterizado la mente de Darwin en un estado de «razonamiento exploratorio», lo que significa que, más que aceptar una teoría particular, Darwin se encontraba considerando varias posibilidades (hipótesis alternativas) para explicar lo que había visto. Si asumimos que el peso de las evidencias le forzó a rechazar la creación especial (por ejemplo, cambio físico, «formas» intermedias de organismos, diversidad de especies nunca vistas y mucho mayor que la que razonablemente podía tener cabida en el arca de Noé), entonces su razonamiento exploratorio estaba principalmente animado a explicar la evolución. La figura 3e representa el restablecimiento parcial del equilibrio mental, ya que elimina la contradicción lógica implícita en la figura 3b.

Piaget se refiere al proceso del paso de un estado mental de equilibrio al desequilibrio y restauración posterior del equilibrio como *equilibración*. Por tanto, una respuesta inicial a la pregunta de cómo ocurre el cambio conceptual es a través del proceso de equilibración. Las condiciones necesarias para que aparezca el equilibrio conceptual parecen ser: 1) datos que no sean consistentes con anteriores formas de pensamiento, 2) la presencia de concepciones-hipótesis alternativas (la hipótesis de la evolución), y 3) tiempo suficiente, motivación y destrezas de razonamiento para comparar las hipótesis

alternativas y sus predicciones consecuentes con la evidencia (Anderson y Smith 1986, Hewson y Hewson 1984, Lawson y Thompson 1987, Posner et al. 1982).

El uso de la analogía

Una vez Darwin aceptó la hipótesis alternativa de que los organismos evolucionan, apareció inmediatamente la pregunta: «¿Cómo?». Por supuesto que su respuesta fue a través de un proceso llamado selección natural. Luego la selección natural representa un concepto teórico empleado por Darwin. Además, a diferencia del ejemplo que hemos utilizado para la formación del concepto descriptivo de *mellinark*, los atributos que definen el concepto de selección natural no son visibles. ¿Por medio de qué proceso intelectual llegó Darwin a utilizar el concepto de selección natural? ¿Cómo se forman en general los conceptos teóricos?

Según los escritos dejados por Darwin (Green 1958, Gruber y Barret 1974, Smith y Millman 1987), su búsqueda de una teoría explicativa de la evolución de los organismos incluyó una serie inicial de pruebas infructuosas y una gran cantidad de tentativas hasta septiembre de 1838, cuando ocurrió un suceso clave. Darwin leyó *Essay on the Principles of Population* de Thomas Malthus. Darwin escribió: *Había llegado a la conclusión, a partir del estudio de las producciones domésticas, de que la selección es el principio del cambio; y mientras leía a Malthus, vi inmediatamente la manera de aplicar este principio* (Green 1958, pp. 257-258). Darwin vio en el escrito de Malthus una idea clave que podía adoptar y utilizar para explicar la evolución. Esa idea clave era que la selección artificial de plantas y animales domésticos era análoga a lo que presumiblemente ocurre en la naturaleza, y podía dar cuenta del cambio o evolución de las especies. Como señala Gruber (Gruber y Barret 1974, pp. 118-119), Darwin había leído a Malthus antes, pero no fue hasta esta lectura cuando se hizo consciente de la importancia del proceso de selección artificial⁵. Una vez asimilado esto, Darwin volvió a la tarea de ordenar la evidencia en favor de su teoría de la descendencia con modificación. Volvió a los hechos conocidos sobre la cría de animales y plantas, a la evidencia que le hizo dudar por vez primera de la fijeza de las especies, es decir, los hechos sobre la distribución geográfica de las formas orgánicas, y a las criaturas de las Islas Galápagos. Descubrió apoyo para sus ideas en los registros geológicos, anatómicos, ecológicos y embriológicos, y sobre el año 1842 estaba ya preparado para escribir un borrador de su teoría completa (Green 1958).

El ejemplo del uso de Darwin del proceso análogo a la selección artificial sugiere que la analogía juega un papel central en la formación de los conceptos teóricos. La «idea» o patrón que permitió a Darwin dar sentido a sus datos era análoga al patrón inherente al proceso de selección artificial. Hanson (1947) se refiere a este proceso de adopción de ideas ya existentes para su aplicación en situaciones nuevas como *abducción*. Otros se han referido al proceso como *razonamiento analógico* (Karplus 1979, Lawson y Lawson 1979) o *transferencia analógica* (Holland et al. 1986).

Los ejemplos de abducción son muy numerosos en la historia de la ciencia. Kepler adoptó la idea de la elipse para describir las órbitas planetarias de Apolonio. Mendel adoptó los modelos del álgebra para explicar la herencia. Kekulé tomó la idea de serpientes mordeándose su propia cola (¡en un sueño!) para determinar la estructura molecular del benceno. Y Coulomb adoptó las ideas de Newton sobre la atracción gravitatoria para describir las fuerzas eléctricas que existen en el nivel de partículas atómicas.

La abducción, el uso de la analogía para adoptar ideas antiguas y aplicarlas en situaciones nuevas para inventar nuevos conceptos y explicaciones, es omnipresente. Según Pierce (Hanson 1947, p. 85):

Todas las ideas de la ciencia aparecen por medio de la abducción. La abducción consiste en estudiar los hechos e idear una teoría para explicarlos. Su única justificación es que, si en algún momento somos capaces de comprender algo, debe ser por este camino. Los razonamientos abductivo e inductivo son completamente irreductibles, ya sea uno respecto del otro o de la deducción, o la deducción con cualquiera de ellos [...]

Por tanto, la respuesta a cómo se forman los conceptos teóricos es por la aplicación de patrones adquiridos previamente del mundo de los objetos y sucesos observables para explicar los eventos no observables. El científico debe descubrir la analogía por sí mismo, mientras que el estudiante debe ser ayudado en la clase por el profesor que le debe señalar la analogía relevante.

El patrón general de la formación de conceptos y el cambio conceptual

Basándonos en estas reflexiones, podemos identificar un patrón general existente tanto en los procesos de formación de conceptos (ya sean descriptivos formados por la vía inductivo-deductiva o teóricos construidos por la vía abductivo-deductiva) como en el cambio conceptual. El patrón existe en ambos porque lo que estamos considerando en la formación y el cambio de conceptos no son realmente dos procesos diferentes, sino dos extremos del mismo continuo. Como nos recuerda Piaget, cada acto de asimilación en la estructura cognitiva se acompaña de alguna acomodación de esa estructura. Dos experiencias nunca son idénticas, por lo que la asimilación pura no es posible. Además, la acomodación pura no ocurre posiblemente debido a que implicaría que la reorganización cognitiva ha tenido lugar sin ningún estímulo del medio. Por tanto, en el extremo de la formación de conceptos tenemos una dominancia de la asimilación frente a la acomodación, mientras que en el extremo del cambio conceptual domina la acomodación sobre la asimilación.

Este patrón general se muestra en la figura 4. El recuadro A representa la pregunta que ha sido inspirada por alguna experiencia (por ejemplo, ¿qué es un *mellinark*?, ¿cómo ha aparecido la diversidad de especies?). El recuadro B representa las hipótesis alternativas que han aparecido, bien por la selección de hechos perceptibles del estado del problema (inducción) o bien por medio del

razonamiento analógico (abducción), en nuestra propia memoria o en la de otros (por ejemplo, en libros). El uso del razonamiento analógico es un componente importante de lo que a menudo es denominado razonamiento creativo. Llamativamente, la mente subconsciente juega un papel importante en la generación de ideas nuevas.

Para someter a juicio las posibilidades alternativas debe imaginarse alguna situación experimental o correlacional que permita la deducción de las consecuencias lógicas de las ideas (recuadro C). Las consecuencias lógicas (predicciones) se comparan entonces con los resultados obtenidos de la prueba, lo que se representa en el recuadro D. Si los resultados predichos y los resultados reales son esencialmente iguales, se obtiene apoyo para la respuesta propuesta. Si no, la respuesta propuesta se abandona y deben ser generadas y comprobadas otras hasta que se consiga una concordancia razonable. Nótese cómo las palabras *si*, *y*, *entonces* y *por tanto* ligan los elementos del proceso en un argumento razonable a favor o en contra de cualquier proposición particular o conjunto de alternativas.

La adquisición del conocimiento declarativo es, con mucho, un proceso constructivo que hace uso implícito o explícito del conocimiento procedimental. Por supuesto que los estudiantes pueden memorizar, de manera maquina, aspectos del conocimiento declarativo, pero ese tipo de conocimiento repetitivo no favorece la mejora del conocimiento procedimental. La tarea pedagógica

es enseñar de forma que los alumnos participen en el proceso constructivo, ya que hacerlo así mejora la significación y la retención del conocimiento declarativo e incrementa la conciencia y generalización del proceso procedimental. Antes de volver a la discusión de cómo utilizar el ciclo de aprendizaje para cumplir esta tarea, contemplaremos de cerca la naturaleza del conocimiento procedimental.

La naturaleza del conocimiento procedimental

La figura 4 representa la forma en que ocurre la formación de conceptos; por ejemplo, la manera en que las personas aprendemos sobre nuestro mundo. El resultado de este proceso de aprendizaje es conocimiento conceptual-declarativo. Los procedimientos que se utilizan para generar ese conocimiento declarativo se conocen colectivamente como conocimiento procedimental. Los recuadros de la figura representan varios aspectos del conocimiento declarativo (preguntas, hipótesis, predicciones, resultados y conclusiones), mientras que las flechas (de recuadro a recuadro) representan varios procedimientos (abducción, inducción, deducción, comparación e inferencia). En el proceso se encuentran empotrados varios patrones de razonamiento (estrategias cognitivas) como son el razonamiento combinatorio (la generación de combinaciones de hipótesis alternativas), el control de variables (realizar experiencias de forma que cambie una única variable independiente) y el razonamiento correlacional (comparar relaciones para confirmar o no sucesos).

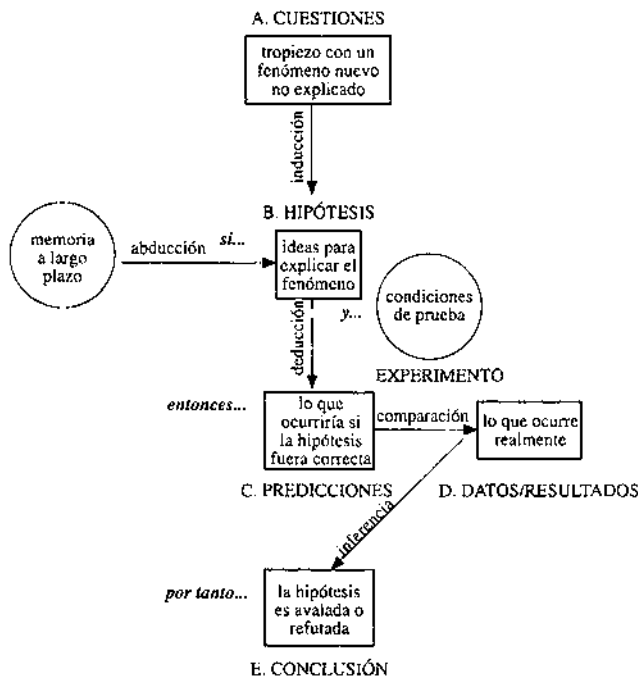
Debido a la importancia central del conocimiento procedimental en la ciencia y en el razonamiento crítico y creativo en general, tanto psicólogos como educadores han intentado identificar sus componentes con tanta precisión como les ha sido posible. Uno de los primeros intentos comprendió ocho destrezas principales y otras muchas subdestrezas (Burmester 1952). Al final del artículo se muestra una lista modificada de estas destrezas agrupadas en siete categorías, que se intenta que sean fácilmente relacionables con el patrón general de razonamiento expuesto en la figura 4.

Algunas de estas destrezas son creativas, mientras que otras son críticas. Incluso otras implican tanto aspectos creativos como críticos del razonamiento científico. Defino como destreza la capacidad de hacer algo bien. Una actuación diestra incluye saber qué hacer, cuándo hacerlo y cómo hacerlo. En otras palabras, ser diestro en algo implica el conocimiento de un conjunto de procedimientos, saber cuándo aplicarlos y ser hábil en el momento de llevarlos a cabo.

Estas destrezas funcionan de forma coordinada en la mente del pensador creativo y crítico conforme aprende sobre el mundo. Incluyen pasos clave y las palabras clave *si*, *y*, *entonces* y *por tanto*, como se muestra en la figura 4. Las destrezas son, fundamentalmente, instrumentos de aprendizaje esenciales para el éxito e incluso para la supervivencia. Por lo tanto, si ayudamos a los estudiantes a mejorar su uso de estas destrezas de razonamiento creativo y crítico, les estamos ayudando a ser más inteligentes y a «aprender cómo aprender».

Figura 4

Patrón básico de razonamiento inductivo-deductivo e hipotético-deductivo.



Estados en el desarrollo del conocimiento procedimental. La teoría de Piaget

Se ha escrito mucho sobre el desarrollo del conocimiento procedimental-operativo en la tradición piagetiana (Collea et al. 1975, Collette y Chiappetta 1986, Inhelder y Piaget 1958, Karplus et al. 1977). Los estadios de Piaget sensorial-motor, preoperacional, de operaciones concretas y de operaciones formales son muy conocidos. Existe escasa discusión sobre la validez de la noción de niveles o fases en el desarrollo del conocimiento procedimental, pero hay una controversia abundante cuando se consideran los detalles.

Según la teoría de Piaget, cuando nace un niño se encuentra en el estadio sensorio-motor. Durante esta fase, que dura unos 18 meses, el niño adquiere algunos conocimientos prácticos como el hecho de que los objetos continúan existiendo incluso cuando se deja de verlos (permanencia de los objetos). El nombre del segundo estadio describe las características del niño: *preoperacional*, el estado de desarrollo intelectual anterior a que aparezcan las operaciones mentales. En esta fase, que persiste hasta más o menos los siete años de edad, el niño exhibe un egocentrismo extremo, centra su atención únicamente sobre aspectos de determinados objetos, sucesos o situaciones, y no demuestra razonamiento de conservación. En otras palabras, el pensamiento del niño es muy rígido. Sin duda, el mayor logro de esta etapa es la adquisición del lenguaje.

Sobre los siete años de edad, los procesos de razonamiento de los niños comienzan el «deshielo», muestran una rigidez menor. Este estadio, llamado *operacional concreto*, está marcado por el desarrollo de operaciones. Las operaciones concretas se definen como sistemas de pensamiento interiorizados y reversibles que se basan en las manipulaciones de clases, relaciones y cantidades de objetos. El niño ahora es capaz de llevar a cabo lo que Piaget llama experimentos mentales; puede asimilar datos de una experiencia concreta y ordenarlos y reordenarlos en su mente. En otras palabras, el niño operacional concreto tiene una movilidad de pensamiento mucho mayor que cuando era más pequeño.

El nombre de este estado de desarrollo es representativo de la clase de pensamiento de este tipo de aprendiz. Como Piaget explica, en este estadio *las operaciones involucradas [...] son llamadas «concretas» debido a que se relacionan directamente con los objetos y no todavía con hipótesis planteadas verbalmente* (Piaget e Inhelder 1969, p. 100). Es decir, las operaciones mentales que se realizan en esta fase son *objeto dependientes*, están ligadas a los objetos.

La potencialidad del desarrollo de lo que Piaget denomina pensamiento *formal operacional* se produce entre los once y los quince años. Para Piaget, el estadio de operaciones formales constituye el nivel más alto de desarrollo de las estructuras mentales. Una persona que ha llegado a esta fase de pensamiento formal *es un individuo que piensa más allá del presente y forma teorías sobre todo, deleitándose especialmente en las consideraciones de lo que es y lo que no* (Piaget 1966, p. 148).

Presumiblemente no hay nada que esté genéticamente predeterminado en esta secuencia de desarrollo de las estructuras mentales. Además, como dicen Inhelder y Piaget (1958, p. 337): *la maduración del sistema nervioso no puede hacer más que determinar la totalidad de posibilidades o imposibilidades de un estadio dado. Un ambiente social particular resulta indispensable para la realización de estas posibilidades*. Piaget eligió el nombre de *operacional formal* para su más alto estadio de pensamiento debido a su creencia de que los patrones de razonamiento son isomórficos con las reglas de la lógica proposicional formal (Piaget 1957). Quizás sea ésta la posición más problemática en la teoría de Piaget. Una amplia línea de investigación indica claramente que, a pesar de que los avances en la capacidad de razonamiento se producen en la adolescencia, nadie, incluidos los lógicos profesionales, razona con reglas lógicas separadas de la materia en cuestión (Griggs 1983, Lehman et al. 1988, Nisbett et al. 1987, Wason y Johnson-Laird 1972).

Capacidad de reflexión y la interiorización de los patrones de argumentación

Si la adquisición de reglas de lógica formal no diferencia el razonamiento del niño del adolescente, ¿qué es entonces lo que los diferencia? Lawson y otros (1984) plantearon la hipótesis de que el cambio importante es hacia una mayor capacidad de reflexión debida a la capacidad del adolescente de hacer preguntas, no a otros, sino a sí mismo y de reflexionar de una manera hipotético-deductiva acerca de la corrección o incorrección de las respuestas a estas preguntas. Este comportamiento precisa la adquisición de destrezas lingüísticas asociadas a la comprobación de hipótesis y conduce en último término al desarrollo de esquemas de comprobación de hipótesis y a patrones de argumentación. Es decir, el niño antes de la adolescencia plantea preguntas, genera respuestas, pero no posee aún medios sistemáticos para interrogarse a sí mismo sobre la corrección de sus propias respuestas. Debe confiar en el juicio de otros para esto y él se dedica simplemente a generar ideas, la mayoría de las cuales usa, para bien o para mal. Los niños, sin una capacidad reflexiva que se enfrente a tareas complejas, eligen simplemente la solución más obvia de entre las que surgen en su interior, y concluyen a su favor o rechazo sin considerar más argumentación.

Kuhn y otros (1988) llegan a una conclusión similar tomando en cuenta las diferencias entre el razonamiento infantil y el adulto. Identifican tres destrezas clave que son adquiridas por algunos adultos. La primera es la capacidad de pensar *sobre* una teoría en lugar de pensar únicamente con una teoría. En otras palabras, el adulto reflexivo es capaz de considerar teorías alternativas y preguntarse cuál es la más aceptable. Por otra parte, el pensador intuitivo no considera los méritos o deméritos relativos de teorías alternativas (hipótesis); meramente tiene una «teoría» y cree que es cierta. Chamberlain (1897) denomina estas teorías como teorías predominantes. La segunda es la capacidad de considerar la evidencia que ha de ser evaluada como algo distinto de

la misma teoría. Para el niño, evidencia y teoría son indistinguibles. Por nuestra experiencia, quizás la distinción más complicada de hacer en un aula es entre los términos *hipótesis*, *predicción* y *evidencia* (Lawson et al. 1984). Posiblemente sea debido a que estas palabras carecen esencialmente de significado si no se ha intentado nunca decidir entre dos o más explicaciones alternativas, por lo que nunca antes se ha considerado el papel jugado por las predicciones y la evidencia. La tercera es la capacidad de dejar a un lado nuestra propia aceptación (o rechazo) de una teoría para poder evaluarla objetivamente a la luz de sus predicciones y de la evidencia.

Lawson y otros (1984) plantean la hipótesis de que la capacidad de reflexión sobre la corrección de las teorías propias se produce como consecuencia de la interiorización de los patrones de argumentación externa, lo que acontece cuando otras personas proponen teorías alternativas. Esta hipótesis parece estar esencialmente de acuerdo con los primeros pensamientos de Piaget. Piaget (1928) avanzó la hipótesis de que el desarrollo del razonamiento avanzado aparece como consecuencia de la *confrontación de nuestros pensamientos con los de otras personas, lo que produce dudas y el deseo de demostrar* (p. 209). Continúa diciendo: *La necesidad social de compartir los pensamientos de otros y de comunicar con éxito el nuestro propio está en las raíces de nuestra necesidad de verificación. La prueba es el resultado de la discusión [...] La discusión es, por tanto, el esqueleto de la verificación. El razonamiento lógico es una discusión que tenemos con nosotros mismos, y que reproduce en nosotros las características de una auténtica discusión* (p. 209).

Es decir, la consciencia creciente y la capacidad de utilizar el patrón de razonamiento hipotético-deductivo durante la adolescencia (definido como la capacidad de hacerse preguntas a uno mismo, de generar respuestas tentativas, de deducir predicciones según esas respuestas y de clasificar la evidencia disponible para verificar o refutar esas respuestas tentativas, todo ello en el interior de nuestra mente) aparece como consecuencia del intento de tomar parte en las discusiones con otros y escuchar los argumentos de otras personas en los que se proponían propuestas alternativas (teorías) que se aceptan o rechazan en función de la evidencia y la razón y no por cuestiones relativas a la autoridad o a la emoción.

Esta posición parece también consistente con la de Vygotski (1962), que considera el habla como social en origen y que sólo con el tiempo llega a tener propiedades autoinstructivas que a la larga se convierten en razonamiento verbalmente interiorizado. Esta posición es también similar a la de Luria (1961), según el cual la diferenciación progresiva del lenguaje para regular el comportamiento ocurre en cuatro etapas. En la primera, el niño aprende el significado de las palabras; en la segunda, el lenguaje puede servir para activar el comportamiento pero no para limitarlo; en la tercera, el lenguaje puede controlar el comportamiento mediante su activación o inhibición por vía de la comunicación con una fuente externa; y en la cuarta, la interiorización

del lenguaje puede servir para autorregular la función mediante instrucciones propias de uno mismo.

Incluso Piaget (1976) propuso una teoría similar del desarrollo del conocimiento procedimental en tres etapas. La primera (sensorio-motora) es en la que el lenguaje tiene poco o ningún papel, ya que aún ha de ser adquirido. El niño aprende principalmente por medio de su actividad sensorio-motora y el conocimiento es de acción. El segundo nivel se caracteriza por la adquisición del lenguaje. El niño es capaz de responder al lenguaje hablado y de adquirir conocimientos transmitidos por los adultos que hablan el mismo lenguaje. Para aprender, el niño debe plantear preguntas y obtener respuestas verbales de los adultos. Por supuesto, esto no quiere decir que todas las respuestas de los adultos sean entendidas por él; con todo, es verdad que el niño tiene a su alcance un nuevo y potente modo de aprendizaje. La limitación esencial de esta etapa es que el uso del lenguaje como instrumento de reflexión y guía interior está escasamente desarrollado. Por ello, el razonamiento en esta etapa es esencialmente intuitivo. La última etapa comienza en el momento en que el individuo comienza a plantearse preguntas a sí mismo, no a otros, y, a través de una «interiorización» progresiva de los elementos del lenguaje de la discusión, adquiere la capacidad de «hablar consigo mismo», lo que constituye la esencia del pensamiento reflexivo y permite comprobar interiormente planteamientos hipotéticos alternativos y llegar a decisiones razonadas internamente para resolver problemas.

Voss y otros (1983) han caracterizado el pensamiento avanzado en las ciencias sociales principalmente como un asunto de construir propuestas para la acción que se ajustan a muchos de los principios clásicos de la argumentación retórica. Igualmente, Lawson y Kral (1985) ven este proceso de alfabetismo crítico sobre todo como un proceso de argumentación que utiliza estas formas clásicas de argumentación.

No se han sugerido normas diferenciadas por edades para facilitar el paso de un nivel de razonamiento al siguiente, y no vemos ninguna razón biológica o psicológica por la que un niño, por ejemplo, de seis años no puede comenzar a reflexionar interiormente sobre sus propios pensamientos, dado un ambiente en el que el comportamiento reflexivo haya sido fuertemente estimulado. Esto representa, obviamente, sólo el principio, y una persona puede todavía necesitar mucho más tiempo y experiencia para interiorizar el lenguaje de la argumentación y desarrollar los esquemas asociados de comprobación de hipótesis. Por otra parte, un ambiente dogmático en el que los méritos relativos de las ideas no son discutidos y las reglas son impuestas de forma estricta e irrazonada es muy posible que retrase el desarrollo de destrezas de uso de este modo de pensamiento hipotético-deductivo.

Este enfoque del desarrollo del conocimiento procedimental sugiere que los vocablos *pensamiento intuitivo* y *pensamiento reflexivo* describen mejor los cambios intelectuales que tienen lugar durante la adolescencia que los vocablos de Piaget *pensamiento concreto* y *pensamiento formal*. El pensador infantil no es consciente de

la naturaleza hipotético-deductiva de sus procesos de razonamiento, por lo que su razonamiento está dominado por un contexto de intuiciones y ejemplos a seguir. El pensador adulto, por otra parte, se ha hecho consciente de sus patrones de razonamiento y ha interiorizado potentes patrones de argumentación que le permiten una reflexión consciente acerca de la suficiencia de las ideas antes de pasar a la acción. El razonamiento reflexivo se basa en la generación de múltiples ideas, predicciones, evidencia y argumentos, todo ello mediado por el lenguaje.

Un ejemplo de cómo influye el lenguaje en los argumentos es el proporcionado por Gesell (1940, p. 55) a partir de un diálogo entre dos niños de cuatro y cinco años

Cuatro años: *I know that Pontius Pilate is a tree.*

Cinco años: *No, Pontius Pilate is not a tree at all.*

Cuatro años: *Yes, it was a tree, because it says: «He suffered under Pontius Pilate», so it must have been a tree.*

Cinco años: *No, I am sure Pontius Pilate was a person and not a tree.*

Cuatro años: *I know he was a tree, because he suffered under a tree, a big tree.*

Cinco años: *No, he was a person, but he was a very pontius person⁶.*

Aquí el niño de cuatro años intenta formar un concepto de Poncio Pilatos y erróneamente cree que estas palabras se refieren a un árbol, un árbol grande. Sin embargo, el de cinco años le provoca una retroalimentación contradictoria que hace que el de cuatro piense de nuevo sobre su posición y al final entre en razón. Aquí la comprobación de ideas tiene lugar por medio del diálogo. Por otra parte, la comprobación de ideas en el razonamiento reflexivo adolescente y adulto puede mediar internamente, ya que el pensador reflexivo puede generar posibilidades y comprobar internamente su consistencia con otros hechos conocidos antes de llegar a una conclusión.

Seamos conscientes de que hemos sostenido que el pensador reflexivo ha «interiorizado» patrones de argumentación importantes y que el pensador intuitivo no. Esto plantea la pregunta de cómo ocurre esta «interiorización». Según Piaget (1976), en el desarrollo del conocimiento procedimental está implicado un proceso denominado «abstracción reflexiva». La abstracción reflexiva implica la progresión de un uso de acciones espontáneas a otro de reglas explícitas mediadas verbalmente para guiar el comportamiento. La abstracción reflexiva aparece únicamente cuando el sujeto se encuentra en la necesidad de reflexionar sobre sus acciones. La causa de esta reflexión es la contradicción con el ambiente físico o la contradicción verbal con otras personas, como es el caso del niño de cuatro años que creía que Poncio Pilatos era un árbol. El resultado de la abstracción reflexiva es que la persona puede obtener conocimiento declarativo correcto y además hacerse más

consciente y más diestro en el uso de los procedimientos utilizados para la obtención de ese conocimiento.

ENSEÑAR LOS CONOCIMIENTOS DECLARATIVO Y PROCEDIMENTAL

Hasta aquí se ha discutido que el proceso constructivo da como resultado la adquisición o el cambio del conocimiento declarativo que reside en sistemas conceptuales de distintos grados de complejidad y abstracción. Yendo un poco más lejos, se ha dicho que el conocimiento consciente de los procedimientos implicados en la construcción de ese saber «se desarrolla» cuando la discusión con otras personas fuerza a uno mismo a reflexionar sobre la suficiencia de los procedimientos propios. Las reglas verbales conscientes para guiar el comportamiento se desarrollan a partir de esos tropiezos que sirven como «esquemas anticipadores» para guiar el comportamiento en situaciones nuevas. Por ello, el desarrollo amplía el abanico de actuaciones efectivas en situaciones familiares a situaciones nuevas. Llegamos ahora al tema principal de este artículo. ¿Cómo puede diseñarse y llevarse a cabo la instrucción para ayudar a los estudiantes a construir y retener el conocimiento declarativo útil y desarrollar un conocimiento consciente de las reglas procedimentales efectivas con aplicación general?

Elementos esenciales de la instrucción

Nuestra discusión previa sugiere que los elementos que se detallan a continuación deben ser incluidos en las clases que se diseñen para mejorar tanto el conocimiento declarativo como el procedimental:

1. Deben suscitarse preguntas o plantearse problemas que demanden de los estudiantes su actuación según sus opiniones previas (conceptos y sistemas conceptuales) y/o sus procedimientos anteriores.
2. Sus actuaciones deben llevar a resultados ambiguos y/o pueden ser desafiadas o replicadas. Esto obliga a los estudiantes a reflexionar de nuevo sobre sus anteriores opiniones y/o procedimientos utilizados para generar los resultados.
3. Deben sugerirse opiniones alternativas y/o procedimientos más efectivos.
4. Estas opiniones alternativas y/o los procedimientos más apropiados deben ahora utilizarse para generar predicciones nuevas o datos nuevos que permitan cambiar las opiniones anteriores y/o adquirir una nueva opinión (concepto).

Supóngase, por ejemplo, que en una clase de biología se pide a los alumnos que usen su conocimiento declarativo previo (opiniones) para predecir la salinidad de la salmuera en la que mejor se incuben huevos de camarón, y diseñar y llevar a cabo una experiencia para comprobar su predicción. Si los estudiantes trabajan en grupos de 2 o 3, se generarán 10 o 15 conjuntos de datos en una clase. Estos datos se muestran en la pizarra. Ya que no se

dieron procedimientos específicos a los grupos, los resultados pueden ser muy variados. Esta variación en los resultados puede llevar a los alumnos a preguntarse unos a otros sobre los procedimientos que han utilizado para generar sus resultados. También provoca en algunos de ellos el estado cognitivo de desequilibrio si sus resultados contradicen sus expectativas. Puede generarse una larga lista de diferencias en los procedimientos. Por ejemplo:

- Los frascos de incubación contenían diferentes cantidades de agua.
- Algunos frascos estaban tapados, otros no.
- Las cantidades de huevos por frasco variaban de frasco a frasco y entre grupos.
- Algunos frascos con huevos se agitaban, otros no.
- Algunos grupos utilizaron agua destilada, otros agua del grifo. Etcétera.

Una vez generada esta lista, se hace patente para los estudiantes que estos factores no deben variar. Entonces se sugiere un procedimiento mejor. Todos los grupos seguirán el mismo procedimiento (todas las variables estarán bajo control). Cuando se lleve esto a cabo, el efecto real de las distintas concentraciones de sal puede ser separado de los falsos efectos del resto de variables. Al final, cuando se han obtenido los datos nuevos, los resultados son claros y permiten que los alumnos vean cuáles de sus predicciones eran correctas y cuáles no, y permiten al profesor introducir los vocablos «rango óptimo» para el patrón de incubación que ha sido descubierto. A algunos estudiantes, esto les ayudará a recuperar el equilibrio; para otros pueden ser necesarias actividades complementarias.

El ciclo de aprendizaje

Hasta aquí, la tesis principal es que las situaciones que permitan a los alumnos examinar la suficiencia de sus opiniones previas (concepciones) les obligan a discutir las y comprobarlas. Esta manera de actuar puede provocar sucesivamente desequilibrio, cuando esas opiniones se contradigan, y la oportunidad de adquirir conceptos más apropiados y hacerse más diestros en el uso de procedimientos para la formación de conceptos (por ejemplo, patrones de razonamiento-formas de argumentación). La predicción central de la instrucción es que el uso correcto del ciclo de aprendizaje logra este objetivo.

A pesar de que hay tres tipos de ciclo de aprendizaje (no todos igualmente efectivos a la hora de producir desequilibrio, argumentación y mejora del razonamiento), los tres siguen la secuencia general en las tres fases de *exploración, introducción de vocablos y aplicación de conceptos* ya comentadas anteriormente.

Durante la exploración, normalmente los estudiantes examinan un fenómeno nuevo con unas orientaciones mínimas. Los fenómenos nuevos suelen plantear cues-

tiones y complejidades que no pueden resolver con sus concepciones o patrones de razonamiento habituales. Esto puede provocar debate y un análisis de las razones que sustentan sus ideas. Este análisis puede conducir a una discusión explícita de las formas de comprobación de ideas alternativas por medio de la generación de predicciones. La recolección y el análisis de los resultados puede entonces llevar al abandono de algunas ideas y a la retención de otras. También hay que tener en cuenta el examen cuidadoso de los *procedimientos* utilizados en el proceso.

Un punto clave es que facilitar la exploración inicial permite a los alumnos comenzar a interactuar con los fenómenos de una forma muy personal, lo que puede tener un efecto profundo no sólo sobre sus destrezas observacionales sino también sobre sus destrezas de generación y comprobación de ideas. En una serie de estudios muy interesantes, Wright (1988) examinó el efecto de la instrucción intensiva sobre las destrezas de los estudiantes en hacer observaciones de sucesos discrepantes y generar y comprobar hipótesis alternativas para explicarlos. Después de considerar un suceso discrepante, se pidió a los estudiantes que identificaran 75 detalles potencialmente relevantes del suceso y que propusieran 5 hipótesis aceptables. Se comprobó que esta actividad de exploración intensiva fue extremadamente efectiva, haciendo que los alumnos fuesen mucho más competentes generando hipótesis alternativas y diseñando experiencias para comprobarlas. El uso que Wright hace de la exploración inicial y de las indicaciones obtenidas por la concurrencia golpea en el lugar preciso para incitar el uso y el desarrollo de destrezas de razonamiento reflexivo.

Tres tipos de ciclos de aprendizaje

Los ciclos de aprendizaje pueden clasificarse en uno de estos tres tipos: *descriptivo, empírico-abductivo e hipotético-deductivo*. La diferencia esencial entre los tres reside en el grado en el cual los estudiantes recogen datos de una manera puramente descriptiva (no guiada por hipótesis explícitas que quieren comprobar), o desde el primer momento ya exponen a la comprobación hipótesis alternativas de una manera controlada.

Los tres tipos de ciclos de aprendizaje representan tres puntos a lo largo del continuo formado por la ciencia descriptiva y la ciencia experimental. Estos ciclos, por supuesto, precisan exigencias diferentes de la iniciativa, conocimientos y destrezas de razonamiento de los estudiantes. En términos de destrezas de razonamiento, los ciclos de aprendizaje descriptivos generalmente exigen sólo patrones descriptivos (por ejemplo, formación de series, clasificación, conservación, razonamiento inductivo-deductivo), mientras que los ciclos de aprendizaje hipotético-deductivos precisan del uso de patrones de orden elevado (por ejemplo, control de variables, razonamiento correlacional, razonamiento hipotético-deductivo). Los ciclos de aprendizaje empírico-abductivos son intermedios en sus demandas, requiriendo patrones de razonamiento descriptivos pero implicando, generalmente, algunos patrones de orden superior.

En los ciclos de aprendizaje descriptivos, los alumnos descubren y describen un patrón empírico dentro de un contexto específico (exploración). El profesor le pone nombre (introducción de vocablos), y entonces se identifica el patrón en contextos adicionales (aplicación de conceptos). Esta clase de ciclo de aprendizaje es denominado descriptivo porque los estudiantes y el profesor describen lo que observan sin intentar explicar sus observaciones. Los ciclos de aprendizaje descriptivos responden a la pregunta «¿qué?», pero no se plantean la pregunta «¿por qué?».

En los ciclos de aprendizaje empírico-abductivos, los estudiantes también descubren y describen un patrón empírico en un contexto específico (exploración), pero van un poco más lejos al señalar posibles causas para ese patrón. Esto requiere el uso de razonamiento analógico (abducción) para realizar la transferencia de vocablos/conceptos aprendidos en otros contextos a este contexto nuevo (introducción de vocablos). Los vocablos pueden ser introducidos por los alumnos o por el profesor. Con la guía del profesor, los estudiantes deben examinar los datos recogidos durante la fase de exploración para ver si las causas formuladas como hipótesis son consistentes con los datos y con otros fenómenos conocidos (aplicación de conceptos). En otras palabras, las observaciones se realizan de forma descriptiva, pero esta clase de ciclo de aprendizaje va un poco más lejos al generar y comprobar la(s) causa(s) del patrón, de ahí el nombre que recibe de empírico-abductivo.

El tercer tipo de ciclo de aprendizaje, el hipotético-deductivo, se inicia con el planteamiento de una pregunta causal a partir de la cual se pide a los alumnos que generen explicaciones alternativas. El tiempo del estudiante se dedica a deducir las consecuencias lógicas de estas explicaciones y explícitamente a diseñar y llevar a cabo experimentos para comprobarlas (exploración). El análisis de los resultados experimentales permite que algunas de las hipótesis sean rechazadas, que otras permanezcan y que se introduzcan términos (introducción de vocablos). Por último, los conceptos relevantes y los patrones de razonamiento implicados y discutidos pueden ser aplicados a otras situaciones en un momento posterior (aplicación de conceptos). Este tipo de ciclo precisa de la generación explícita y comprobación de hipótesis alternativas por medio de la comparación de deducciones lógicas con resultados empíricos, y por ello se denomina hipotético-deductivo.

Para la preparación y uso de los tres ciclos de aprendizaje se utilizan los pasos siguientes:

1. Ciclos de aprendizaje descriptivos

- a) El profesor identifica algún concepto o conceptos para ser objeto de enseñanza.
- b) El profesor identifica algún fenómeno que implica el patrón sobre el que se basa el concepto.
- c) Fase de exploración: los alumnos exploran el fenómeno e intentan descubrir y describir el patrón.

d) Fase de introducción de vocablos: los alumnos informan de los datos que han recogido y ellos o el profesor describen el patrón; entonces el profesor introduce el vocablo que se refiere al patrón.

e) Fase de aplicación de conceptos: se discuten o exploran fenómenos adicionales que implican el mismo concepto.

2. Ciclos de aprendizaje empírico-abductivos

- a) El profesor identifica algún concepto o conceptos para ser objeto de enseñanza.
- b) El profesor identifica algún fenómeno que implica el patrón sobre el que se basa el concepto.
- c) Fase de exploración: el profesor plantea una cuestión descriptiva y otra causal.
- d) Los alumnos recogen datos para responder a la pregunta descriptiva.
- e) Los datos para responder a la pregunta descriptiva se exponen en la pizarra.
- f) Se responde la pregunta descriptiva y se saca de nuevo a la luz la pregunta causal.
- g) Se avanzan hipótesis alternativas para responder a la pregunta causal y se examinan los datos ya recogidos para su primera comprobación.
- h) Fase de introducción de vocablos: se introducen los vocablos relacionados con el fenómeno explorado y con la hipótesis explicativa más probable.
- i) Fase de aplicación de conceptos: se discuten o exploran fenómenos adicionales que implican el mismo concepto.

3. Ciclos de aprendizaje hipotético-deductivos

- a) El profesor identifica algún concepto o conceptos para ser objeto de enseñanza.
- b) El profesor identifica algún fenómeno que implica el patrón sobre el que se basa el concepto.
- c) Fase de exploración: los alumnos exploran un fenómeno que plantea una cuestión causal o bien la plantea el profesor.
- d) En una discusión en clase se avanzan hipótesis y se pide que los alumnos trabajen en grupo para deducir implicaciones y diseñar experimentos, o bien este paso se realiza en la misma discusión en clase.
- e) Los alumnos llevan a cabo los experimentos.
- f) Fase de introducción de vocablos: se analizan y comparan los datos, se introducen los vocablos y se extraen conclusiones.
- g) Fase de aplicación de conceptos: se discuten o exploran fenómenos adicionales que implican el mismo concepto.

Ciclos de aprendizaje descriptivos

Ya se ha dicho anteriormente que los tres tipos de ciclos no poseen la misma efectividad para generar desequilibrio, argumentación y uso de patrones de razonamiento para examinar las concepciones alternativas-errores. Los ciclos de aprendizaje descriptivos están especialmente diseñados para que los alumnos observen una pequeña parte del mundo, descubran un patrón, lo denominen y lo localicen en otras partes. Esto puede producir poco o incluso ningún desequilibrio, ya que quizá los alumnos no tengan fuertes expectativas sobre lo que va a ser descubierto. Dibujar una distribución de frecuencias de longitud de una muestra de conchas marinas permitirá introducir el vocablo «distribución normal», pero no producirá mucha argumentación entre los estudiantes. Un ciclo de aprendizaje descriptivo sobre la estructura-función de varias clases de cráneos permite que el profesor introduzca los vocablos *herbívoro*, *omnívoro* y *carnívoro*. También puede producir alguna discusión entre los alumnos al extender y comparar ideas sobre la estructura del cráneo y las posibles dietas. Con todo, sólo en contadas ocasiones hay posibilidad de que se discutan acaloradamente las posibles relaciones causa-efecto, y no se persigue la obtención de evidencia sólida⁷.

Ciclos de aprendizaje empírico-abductivos

Consideremos el ciclo de aprendizaje empírico-abductivo denominado *¿Qué produce que el agua suba?*, que implica el concepto de presión atmosférica. Al igual que otros ciclos empírico-abductivos, precisa más que la simple descripción de un fenómeno. Se pide una explicación. La explicación abre las puertas a multitud de errores conceptuales. Las discusiones resultantes y el análisis de la evidencia representa un ejemplo casi perfecto de cómo deben usarse los ciclos de aprendizaje empírico-abductivos para producir desequilibrio, adquisición de conocimiento conceptual y desarrollo de conocimiento procedimental.

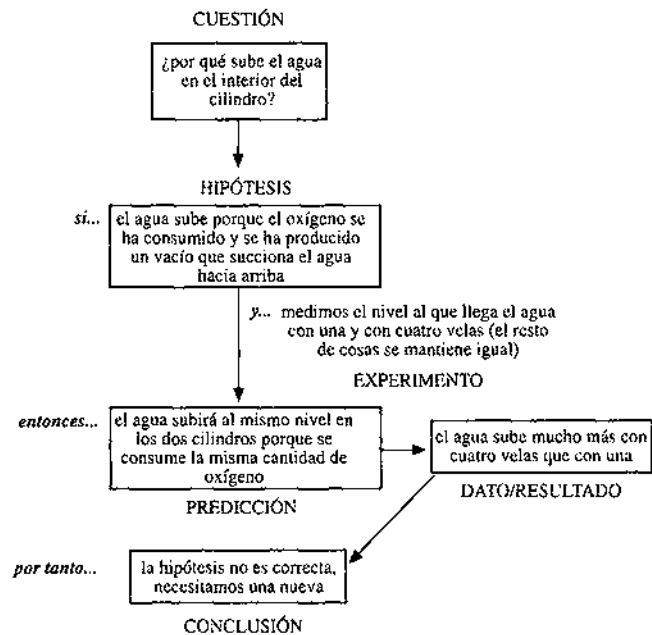
Para empezar, los alumnos invierten un cilindro de vidrio transparente sobre una vela encendida colocada en un recipiente con agua. Observan que la llama se apaga pronto y que el agua sube su nivel en el interior del cilindro. Se proponen dos preguntas causales: *¿Por qué se apaga la llama?* *¿Por qué sube el agua?* La explicación típica propuesta por los alumnos es que la llama consume la totalidad del oxígeno encerrado en el cilindro, lo que produce un vacío parcial que «succiona» el agua desde abajo hacia el interior del cilindro. Esta explicación revela dos errores:

- a) la llama destruye materia ya que produce un vacío parcial; y
- b) el agua sube por la acción de una fuerza inexistente llamada succión.

La comprobación de estas ideas requiere el uso de un patrón de razonamiento hipotético-deductivo y la utilización del aislamiento y control de variables (Fig. 5).

Figura 5

El recuadro superior representa la cuestión clave planteada. En este caso es: «¿por qué sube el agua?». Las posteriores hipótesis, experimentos, predicciones, resultados y conclusiones siguen el patrón de razonamiento hipotético-deductivo: «si... y... entonces... por tanto...» y demanda de los estudiantes que aislen y controlen las variables independientes comparando el ascenso del agua con una y con cuatro velas. Como se muestra, la hipótesis inicial conduce a una predicción falsa que debe ser rechazada (el razonamiento lleva a una contradicción). Los estudiantes deben ahora generar una o varias hipótesis alternativas y comenzar de nuevo hasta que obtengan una hipótesis consistente con los datos.



Seamos conscientes de que el nombre dado a este ciclo de aprendizaje intermedio es el de empírico-abductivo. Para aclarar la razón de nuestra elección del vocablo empírico-abductivo, consideremos un ciclo de aprendizaje empírico-abductivo diseñado para enseñar el proceso de descomposición biológica. Durante la exploración se plantean dos preguntas: 1) *¿qué factores afectan la velocidad de descomposición de los organismos muertos?*, y 2) *¿qué causa la descomposición?* Los alumnos son desafiados a diseñar experimentos para responder a la primera pregunta comprobando los efectos de un conjunto de variables como la temperatura, la cantidad de agua, la cantidad de luz, la cantidad de productos químicos como sal, azúcar, alcohol y antisépticos. Después de los experimentos de los alumnos, se muestran los resultados en la pizarra. Estos resultados revelan generalmente que el aumento de temperatura y de cantidad de agua incrementa la velocidad de descomposición, mientras que la presencia de productos químicos como la sal, el azúcar y el alcohol retrasa la descomposición.

Se les recuerda entonces a los estudiantes la segunda pregunta: *¿qué causa la descomposición?* A pesar de que acaban de observar el crecimiento de grandes cantidades y variedades de mohos y bacterias, responden invariablemente a esta pregunta diciendo que son el agua y la temperatura los causantes de la descomposición. Sólo después de mucho insistir con preguntas del tipo: *¿Qué*

supones que causa ese olor horrible? ¿Qué es esa materia negra peluda de la superficie del pan? ¿Qué crees que está haciendo esa materia negra?, algún alumno genera la idea de que quizá los mohos y las bacterias son los causantes reales de la descomposición. No obstante, una vez ha sido generada esta idea hay que volver a los datos recogidos para ver si la idea «cuadra». Como los mohos y las bacterias son seres vivos y como todos los seres vivos presumiblemente precisan agua y una temperatura adecuada para sobrevivir, tiene sentido que los recipientes sin agua o a temperaturas de congelación no muestren descomposición ya que el crecimiento de mohos y bacterias puede ser muy lento o inexistente. Por otra parte, en los recipientes con un exceso de compuestos químicos como sal y alcohol pueden morir los mohos y las bacterias. Por tanto, la idea es acorde con los datos y el profesor puede entonces introducir el término *descomposición biológica* para describir el proceso recién discutido (introducción de vocablos). Otros ejemplos de descomposición biológica u otros ciclos de aprendizaje pueden ahora comenzarse para que la idea sea aplicada en otros contextos (aplicación de conceptos).

Reflexionemos sobre este ciclo para ver la razón por la que lo denominamos empírico-abductivo. Primero, debe quedar claro que comienza con un vistazo al mundo empírico. Además, los experimentos empíricos de los alumnos no se diseñan teniendo en mente hipótesis correctamente formuladas. Por ejemplo, ellos pueden tener la sospecha de que el aumento de temperatura puede aumentar la velocidad de descomposición, pero esta idea, casi seguro, procede de su experiencia pasada (por ejemplo con la refrigeración) y no de una teoría sobre la descomposición biológica. Segundo, cuando responden a la segunda pregunta sobre las causas reales de la descomposición, están en principio restringidos a utilizar los procesos de *inducción*, y simplemente inducen de sus resultados que el agua y el calor *causan* la descomposición cuando en realidad todos los resultados muestran que existe una *relación correlacional*. Para ir más allá de estas visiones restringidas e incorrectas, debe proporcionarse a los alumnos indicios y consejos, y animarles a pensar más sobre el problema, hasta que uno de ellos «acierta» la idea de que los mohos y/o bacterias son los auténticos agentes causales. Ya que creemos que este «acierto» de la idea correcta implica, no *inducción*, sino *abducción* (no la observación directa, sino el uso de la analogía para la adopción de ideas de experiencias pasadas), y ya que el proceso es necesario para llegar a la deseada teoría sobre la descomposición biológica, por eso hemos elegido los términos empírico-abductivo para referirnos a esta clase de ciclo de aprendizaje. Resumiendo, cualquier ciclo de aprendizaje que comience con la pregunta «¿qué factores afectan...?» y continúe con la generación de hipótesis sobre las causas es un ciclo de aprendizaje empírico-abductivo.

Ciclos de aprendizaje hipotético-deductivos

Al igual que los ciclos empírico-abductivos, los hipotético-deductivos precisan de la explicación de algún fenómeno. Esto abre la posibilidad de generar concepcio-

nes alternativas-errores con la resultante argumentación, desequilibrio y análisis de los datos para resolver el conflicto. No obstante, a diferencia de los ciclos empírico-abductivos, los hipotético-deductivos piden desde el principio la formulación explícita de hipótesis alternativas capaces de explicar el fenómeno. En pocas palabras, se plantea una cuestión causal y los alumnos deben generar explícitamente hipótesis alternativas. Posteriormente deben de ser comprobadas por medio de la deducción de las consecuencias predichas y de la experimentación. Esto supone dar un gran peso específico a la iniciativa y las destrezas de razonamiento de los alumnos.

Por ejemplo, consideremos la cuestión de la ascensión del agua en las plantas. Los objetos son atraídos hacia el centro de la tierra por la fuerza de la gravedad y, a pesar de ello, el agua sube, en los árboles más altos, hasta sus hojas más alejadas del suelo, permitiendo así que la fotosíntesis tenga lugar en ellas. ¿Qué produce que suba el agua a pesar de la actuación en contra de la fuerza gravitatoria? Las siguientes hipótesis (concepciones, errores) alternativas fueron generadas en una actividad de laboratorio realizada recientemente:

1. El agua que se evapora de las hojas crea un vacío que succiona al agua y la hace subir.
2. La presión de las raíces empuja el agua hacia arriba a través de los vasos del tallo que poseen válvulas de un único sentido.
3. La acción capilar del agua la estira hacia arriba, al igual que cuando se empapa una servilleta de papel.
4. La ósmosis empuja el agua hacia arriba.

Es claro que las limitaciones de equipo de laboratorio pueden impedir la comprobación de algunas de estas ideas, pero la hipótesis de la «evaporación de las hojas» puede ser sometida a prueba comparando la ascensión del agua en plantas con y sin hojas. Esto requiere los patrones de razonamiento de aislamiento y control de variables. La hipótesis de la «presión de raíz» puede comprobarse comparando plantas con y sin raíz; la hipótesis de «válvulas de sentido único» puede probarse comparando la ascensión del agua en tallos colocados en la posición natural y en esos mismos tallos invertidos respecto a esa posición. Los resultados provocarán el rechazo de algunas de las hipótesis pero no de otras. Las que sobreviven son consideradas «correctas», al menos por el momento, al igual que ocurre en la ciencia «real», que es justamente lo que están haciendo los alumnos. Después de la experimentación, pueden introducirse vocablos como transpiración y aplicarlos en otros contextos como ya hemos visto en los otros tipos de ciclo de aprendizaje.

La ascensión del agua en las plantas puede implicar errores conceptuales, pero pocos alumnos se mostrarán claramente a favor de alguno de los puntos de vista ya que es poco probable que se encuentren estrechamente ligados a alguno de ellos por fuertes lazos intelectuales o emocionales. Pero consideremos el caso de la evolu-

ción y de la creación especial. Aquí, frecuentemente, los compromisos son profundos, por lo que un ciclo de aprendizaje hipotético-deductivo sobre la pregunta «¿de dónde proceden las formas de vida actuales?» puede causar fuertes controversias, argumentación y razonamiento reflexivo⁸.

Para enseñar el concepto de evolución utilizando un ciclo de aprendizaje hipotético-deductivo, comenzamos de nuevo con hipótesis alternativas. Al menos deben aparecer tres de ellas:

1. Los organismos actuales fueron creados durante un período breve por un acto de creación especial (por ejemplo, por Dios). Además, los organismos fueron creados por Dios con un aspecto virtualmente idéntico al que podemos observar actualmente en estas criaturas.

2. Los organismos actuales han surgido espontáneamente de materia inerte a través del tiempo. Por ejemplo, carne muerta en proceso de descomposición produce larvas de moscas, o trapos viejos colocados en lugares húmedos producen crías de rata.

3. Los organismos actuales han evolucionado gradualmente a partir de organismos muy sencillos a través de enormes períodos de tiempo.

Los alumnos pueden generar otras hipótesis, pero al menos estas tres deben ser consideradas.

Seamos conscientes de que está pasando algo interesante. Lo que representa para algunas personas la verdad revelada, a saber, la creación especial, está siendo tratada no como verdad, sino simplemente como una de tres hipótesis alternativas. El reconocimiento de que puedan existir hipótesis alternativas como oposición a la verdad revelada representa un paso crucial.

Una vez generadas las hipótesis, deben someterse a prueba por medio de la predicción y de la recolección y análisis de datos. La hipótesis de generación espontánea conduce a reproducir o discutir los experimentos clásicos de Spallanzani, Needham o Pasteur hasta llegar a su rechazo definitivo. Las hipótesis de creación especial y de evolución nos llevan a considerar los procesos de sedimentación geológica, formación de fósiles y el registro fósil. Las dos hipótesis producen predicciones muy distintas sobre el registro fósil e incluso contradictorias en algunos aspectos. La creación especial predice un patrón de restos fósiles en los que las capas más profundas, las capas sedimentarias más antiguas (previas al acto de creación especial), no presentarán huellas de organismos y las capas inmediatamente posteriores a la creación mostrarán todas las formas de organismos simples y complejos; el resto de capas más jóvenes irán presentando cada vez menor número de formas de vida conforme hayan tenido lugar los procesos de extinción. La hipótesis de la evolución también predice la ausencia de fósiles en las capas más antiguas y profundas (antes de comenzar la evolución), pero las capas contiguas deberán mostrar unas pocas y simples formas de vida (por ejemplo, bacterias unicelulares, algas verde-azuladas); conforme las capas van siendo más recientes,

menos profundas, se espera que muestren progresivamente formas de vida gradualmente más complejas, mayores y más variadas.

Los alumnos poseen, por tanto, hipótesis opuestas con predicciones dramáticamente diferentes. ¿Cuál es la correcta? Para obtener información, simulan una excursión al Gran Cañón y observan los fósiles hallados en seis de las capas sedimentarias de las paredes del cañón. Los fósiles muestran un patrón como el predicho por la hipótesis evolutiva y claramente distinto al esperado por la hipótesis de la creación especial. Así, se obtiene evidencia y argumentos a favor de la hipótesis de la evolución. Posteriores actividades permitirán que el concepto de evolución sea aplicado a otros contextos. Una de estas actividades deberá ser, necesariamente, un ciclo de aprendizaje sobre el concepto de selección natural.

Los ciclos de aprendizaje como fases diferentes de hacer ciencia

Un nuevo vistazo a las figuras 4 y 5 servirá para resumir las diferencias principales entre los tres tipos de ciclos de aprendizaje descritos. Los ciclos de aprendizaje descriptivos comienzan con exploraciones que nos muestran lo que ocurre bajo circunstancias específicas en contextos concretos. Representan la ciencia descriptiva. El contexto del experimento de la vela encendida nos permite responder preguntas como: *¿cuánto y cómo de aprisa subirá el agua en el cilindro bajo distintas condiciones?* Pero termina antes de que aparezca la pregunta *¿qué es lo que produce que suba el agua?* Los ciclos empírico-abductivos incluyen todo esto y además solicitan hipótesis causales. Por tanto, incluyen los recuadros de *cuestión* y de *hipótesis* de las figuras 4 y 5, e incluso pueden ir más lejos e incluir algunos o todos los recuadros posteriores. Los ciclos hipotético-deductivos comienzan generalmente con el planteamiento de una pregunta causal y pasan directamente a las hipótesis y su comprobación, por lo que representan la visión clásica de la ciencia experimental.

Por supuesto, existe solapamiento entre los tres tipos de ciclos de aprendizaje ya que representan varias fases del proceso de hacer ciencia, que es normalmente continuo y cíclico. Al igual que en el caso de cualquier sistema de clasificación, puede ser complicado clasificar algunos ciclos de aprendizaje ya que pueden tener características de más de uno de los tipos de ciclo. Sin embargo, esperamos que este sistema se muestre útil en el diseño del currículo y de la instrucción.

Una nota acerca de la creatividad

Wallas (1926) describió cuatro estadios en el proceso creativo. Fueron:

1. Preparación. El estadio durante el cual el problema se investiga en todas direcciones.

2. Incubación. El estadio de pensamiento no consciente sobre el problema. Durante esta fase, la persona aparta el problema de su mente consciente y atiende otras cosas.

3. Iluminación. La aparición espontánea de una «idea feliz».

4. Verificación. Esta fase es un intento consciente y deliberado de someter a prueba la idea nueva.

Torrence (1967) definió creatividad como el proceso de hacerse sensible a los problemas, deficiencias, lagunas de conocimiento, elementos perdidos, discordias, etc.; identificar la dificultad, buscar soluciones, hacer conjeturas o formular hipótesis y posiblemente modificarlas y volverlas a comprobar; y, finalmente, comunicar los resultados.

El parecido entre las descripciones de Wallas y de Torrence de los procesos de creatividad y nuestra descripción anterior del proceso de construcción es grande. Posiblemente sean lo mismo. Si esto es así, la creatividad puede ser mejorada proporcionando a los estudiantes la oportunidad de utilizar sus propias mentes para resolver problemas por medio del ciclo de aprendizaje.

En relación con esta idea de promoción de la creatividad en la clase, Torrence (1967, p. 85) escribió:

Muchos se quejan de que aún no conocemos lo suficiente sobre los factores que afectan al aumento de creatividad. En mi opinión, sabemos lo suficiente sobre esos factores desde los tiempos de Sócrates y Platón como para hacer un trabajo mucho mejor en la educación de la creatividad del que habitualmente se hace. Sócrates sabía que era importante realizar preguntas provocadoras y promover los caminos naturales del aprendizaje. Él sabía que no era suficiente con realizar preguntas que únicamente provocaran la reproducción de lo que ya había sido aprendido. Él sabía que pensar es una destreza que se desarrolla con la práctica y que es importante hacer preguntas que soliciten del aprendiz hacer algo con lo que aprende para evaluarlo, producir ideas nuevas a partir de ello y recombinarlas de nuevas maneras.

Por tanto, la adquisición del conocimiento procedimental, del conocimiento declarativo y de la creatividad puede promoverse en el sistema educativo si a los alumnos se les da la oportunidad por medio de los ciclos de aprendizaje de utilizar el proceso de construcción para generar y comprobar sus ideas propias. Además, proporcionar el clima adecuado para que ello tenga lugar es absolutamente crucial. Debemos aceptar las ideas de nuestro alumnos. Debemos interesarnos más en la invención intelectual que en la corrección o incorrección de lo que ha sido inventado. Tenemos que dejar de juzgar las invenciones de nuestros alumnos y en su lugar proporcionarles evidencias para que las juzguen por ellos mismos. Como ha señalado Rogers (1954, p. 147):

Cuando dejemos de realizar juicios sobre las otras personas desde nuestra posición propia de evaluadores, estaremos promoviendo la creatividad.

Existe una gran cantidad de literatura acerca de la naturaleza y capacidad de modificación de la inteligencia (Herrnstein et al. 1987). La palabra inteligencia es normalmente definida como la capacidad de aprender a resolver problemas o de tomar decisiones razonables, o cosas por el estilo. Debido a que estas capacidades dependen de las destrezas de razonamiento crítico y creativo y de un adecuado y organizado cuerpo de conocimientos, hechos y principios (por ejemplo, los conocimientos procedimental y declarativo), y ya que acabamos de detallar unos procedimientos de enseñanza para mejorar el conocimiento declarativo y procedimental de los estudiantes, hemos proporcionado procedimientos para mejorar su inteligencia. Esto no implica que todos los aspectos de la inteligencia sean modificables, ni que las diferencias de aptitud intelectual que presentan los alumnos vayan a ser eliminadas. Sin embargo, hay numerosas razones para creer que anteriores métodos escolares pueden ser muy mejorados y que la instrucción por medio del ciclo de aprendizaje puede incluso hacer alumnos más inteligentes. Véase Lawson y otros (1989) para una revisión de estudios que han evaluado la efectividad de la instrucción por medio del ciclo de aprendizaje y véase Lawson (1994) para un nuevo currículo de biología⁹ basado en ciclos de aprendizaje.

LITADO DE DESTREZAS CLASIFICADAS EN SIETE CATEGORÍAS

- 1.00. Destreza en describir apropiadamente la naturaleza.
 - 1.10. Destreza en describir objetos en términos de características observables.
 - 1.20. Destreza en realizar series de objetos en términos de características observables.
 - 1.30. Destreza en clasificar objetos en términos de características observables.
 - 1.40. Destreza en describir, realizar series, clasificar y medir objetos en términos de variables como cantidad, longitud, área, peso, volumen y densidad.
 - 1.50. Destreza en identificar variables y constantes características de grupos de objetos.
 - 1.51. Destreza en identificar características variables continuas y discontinuas y en designar valores específicos a estas características.
 - 1.52. Destreza en medir, registrar y realizar gráficos de frecuencia de aparición de algunos valores de características de una muestra de objetos.
 - 1.53. Destreza en determinar la media, la mediana y la moda de la distribución de frecuencias descrita en 1.52.
 - 1.60. Destreza en reconocer la diferencia entre una muestra y una población y de identificar formas de obtención de una muestra aleatoria (no sesgada).
 - 1.61. Destreza en realizar predicciones sobre la probabilidad de aparición de características específicas de una población basándose en la frecuencia de aparición de esas características en una muestra aleatoria.
- 2.00. Destreza en percibir y plantear cuestiones causales sobre la naturaleza.
 - 2.10. Destreza en reconocer una cuestión causal a partir de la observación de la naturaleza o en el contexto de un párrafo o un artículo.

- 2.20. Destreza en distinguir entre una observación y una cuestión.
- 2.30. Destreza en reconocer una cuestión incluso cuando es planteada de una forma expositiva en lugar de una forma interrogativa.
- 2.40. Destreza en distinguir una cuestión de una posible respuesta a una pregunta (hipótesis) incluso cuando la hipótesis se presenta en forma interrogativa.
- 2.50. Destreza en distinguir entre cuestiones descriptivas y causales.
- 3.00. Destreza en reconocer, generar y formular hipótesis alternativas (explicaciones causales) y teorías.
- 3.10. Destreza en distinguir una hipótesis de una cuestión.
- 3.20. Destreza en diferenciar entre una frase que describe una observación o generaliza a partir de una observación y una base que es una hipótesis (explicación causal) de la observación.
- 3.30. Destreza en reconocer el carácter provisional de una hipótesis o teoría.
- 3.40. Destreza en distinguir entre una explicación provisional de un fenómeno (hipótesis) y un vocablo usado simplemente para denominar el fenómeno.
- 3.50. Destreza en generar sistemáticamente todas las combinaciones posibles de las hipótesis generadas.
- 4.00. Destreza en generar y formular predicciones lógicas basadas en la bondad asumida de las hipótesis y de las condiciones experimentales imaginadas.
- 4.10. Destreza en diferenciar entre hipótesis y predicciones.
- 5.00. Destreza en planear y llevar a cabo experimentos controlados para someter a prueba hipótesis alternativas.
- 5.10. Destreza en seleccionar hipótesis alternativas razonables para someterlas a prueba.
- 5.20. Destreza en diferenciar entre una observación no controlada y una experiencia que incluye controles.
- 5.30. Destreza en reconocer que únicamente debe variar un factor independiente en un experimento.
- 5.31. Destreza en reconocer el factor variable independiente y el factor variable dependiente.
- 5.32. Destreza en reconocer los factores que se mantienen constantes en los controles parciales.
- 5.40. Destreza en reconocer los problemas experimentales y técnicos inherentes a los diseños experimentales.
- 5.50. Destreza en criticar experimentos defectuosos cuando:
- 5.51. El diseño experimental es tal que no puede proporcionar una respuesta a la pregunta.
- 5.52. El experimento no fue diseñado para comprobar las hipótesis específicas planteadas.
- 5.53. El método de recolección de datos no es digno de crédito.
- 5.54. Los datos no eran correctos.
- 5.55. Los datos eran insuficientes en número.
- 5.56. No se incluyeron controles apropiados.
- 6.00. Destreza en recoger, organizar y analizar datos experimentales y correlacionales relevantes.
- 6.10. Destreza en reconocer la existencia de errores en las medidas.
- 6.20. Destreza en reconocer cuando la precisión de una medida dada está garantizada por la naturaleza de la cuestión.
- 6.30. Destreza en organizar y analizar datos.
- 6.31. Destreza en construir tablas y gráficos de frecuencia.
- 6.32. Destreza en medir, registrar y dibujar los valores de dos variables en un único gráfico.
- 6.33. Destreza en construir una tabla de contingencia de variables discontinuas.
- 6.40. Destreza en reconocer los elementos en común a muchos de los datos.
- 6.50. Destreza en reconocer propensiones predominantes y tendencias en los datos y de extrapolarlos e interpolarlos.
- 6.60. Destreza en aplicar nociones cuantitativas de probabilidad, proporción, porcentaje y correlación a los fenómenos naturales y en reconocer cuando las variables se relacionan aditivamente o multiplicativamente construyendo ecuaciones cuantitativas simples que describan estas relaciones.
- 6.61. Destreza en reconocer la relación directa, inversa o la falta de relación entre variables.
- 6.62. Destreza en reconocer que cuando dos cosas varían a la vez la relación puede ser coincidente y no causal.
- 6.63. Destreza en reconocer la evidencia adicional necesaria para establecer causa y efecto (véase 6.62).
- 7.00. Destreza en extraer y aplicar conclusiones razonables.
- 7.10. Destreza en evaluar la relevancia de los datos y la extracción de conclusiones por medio de la comparación de los resultados reales con los predichos.
- 7.11. Destreza en diferenciar entre la evidencia directa y la indirecta.
- 7.12. Destreza en reconocer datos no relacionados con las hipótesis.
- 7.13. Destreza en reconocer los datos que respaldan una hipótesis.
- 7.14. Destreza en reconocer los datos que no respaldan una hipótesis.
- 7.15. Destreza en combinar la evidencia a favor y en contra obtenida de una variedad de fuentes y sopesar la posible falsedad o bondad de las hipótesis.
- 7.16. Destreza en posponer el juicio si no hay evidencia o es insuficiente.
- 7.17. Destreza en reconocer el carácter provisional inherente de todas las conclusiones científicas.
- 7.20. Destreza en aplicar conclusiones a situaciones nuevas.
- 7.21. Destreza en abstenerse de aplicar conclusiones a situaciones nuevas que no son estrechamente análogas a la situación experimental.
- 7.22. Destreza en ser consciente del carácter provisional de las conclusiones sobre situaciones nuevas, incluso cuando hay un estrecho paralelismo entre las dos situaciones.
- 7.23. Destreza en reconocer las presunciones que deben hacerse para aplicar una conclusión a una situación nueva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, C.W. y SMITH, E.R., 1986. Teaching Science, en Koehler, V. (ed.), *The Educator Handbook: A Research Perspective*. (Longman: Nueva York).
- ANDERSON, J.R., 1980. *Cognitive Psychology and Its Implications* (W.H. Freeman: San Francisco).
- ATKIN, J.M. y KARPLUS, R., 1962. Discovery or invention?, *The Science Teacher*, 29(5), p. 45.
- AUSUBEL, D.P., 1963. *The Psychology of Meaningful Verbal Learning*. (Gnune & Stratton: Nueva York).
- AUSUBEL, D.P., NOVAK, J.D. y HANESIAN, H., 1968. *Educational Psychology: A Cognitive View*, 2ª ed. (Holt, Rinehart & Winston: Nueva York).
- BOLTON, N., 1977. *Concept formation*. (Pergamon Press: Oxford).
- BOURNE, L.E., 1966. *Human Conceptual Behavior*. (Allyn & Bacon: Boston).
- BRUNER, J.S., 1963. *The Process of Education*. (Harvard University Press: Cambridge).
- BURMESTER, M.A., 1952. Behavior involved in critical aspects of scientific thinking, *Science Education*, 36(5), pp. 259-263.
- CHAMBERLAIN, T.C., 1897. The method of multiple working hypotheses, *Science*, 148, pp. 754-759.
- COLLEA, F.P., FULLER, R.G., KARPLUS, R., PALDY, L.G. y RENNER, J.W., 1975. *The Physics Teaching and the Development of Reasoning*. (American Association of Physics Teacher: Stony Brook).
- COLLETTE, A.T. y CHIAPPETTA, E.L., 1986. *Science Instruction in the Middle and Secondary School*. (Charles E. Merrill: Columbus, Ohio).
- ELEMENTARY SCIENCE STUDY, 1974. *Attribute Games and Problems*. (McGraw Hill: Nueva York).
- GAGNÉ, R., 1970. *The Conditions of Learning*, 2ª ed. (Holt, Rinehart & Winston: Nueva York).
- GESELL, A., 1940. *The First Five Years of Life*. (Harper: Nueva York).
- GREEN, J.C., 1958. *The Death of Adam*. (Iowa State University Press: Ames).
- GRIGGS, R.A., 1983. The role of problem content in the selection task in the THOG problem, en Evans, J.StB.T. (ed.), *Thinking and reasoning: Psychological approaches*. (Routledge & Kegan Paul: Londres).
- GRUBER, H.E. y BARRET P.H., 1974. *Darwin on Man* (E.P. Dutton: Nueva York).
- HANSON, N.R., 1947. *Patterns of Discovery* (Cambridge University Press: Cambridge).
- HERRNSTEIN, R., JENSEN, A., BARON, J. y STERNBERG, R., 1987. Can intelligence be improved?, en Perkins, D.N. Lochhead, J. & Bishop, J.C. (eds.), *Thinking: The Second International Conference*. (Lawrence Erlbaum: Hillside, Nueva Jersey).
- HEWSON, P.W. y HEWSON, M.G.A., 1984. The role of conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction, *Instructional Science* 13, pp. 1-13.
- HOLLAND, J., HOLYOAK, K., NISBETT, R. y THAGARD, P., 1986. *Induction: Process of inference. Learning and Discovery* (The MIT Press: Cambridge, Massachusetts).
- HUME, P., 1739. *A Treatise of Human Nature*. (Clarendon Press: Oxford, 1896).
- INHELDER, B. y PIAGET, J., 1958. *The Growth of Logical Thinking from Childhood to Adolescence*. (Basic Books: Nueva York).
- JACOBSON, W. y KONDO, A., 1968. *SCIS Elementary Science Sourcebook*. (SCIS: Berkeley, California).
- KARPLUS, R., 1979. Teaching for the development of reasoning, en Lawson, A.E. (ed.), 1980. *AETS Yearbook: The Psychology of Teaching from Thinking and Creativity*. (ERIC/SMEAC: Columbus, Ohio).
- KARPLUS, R. y THIER, H.D., 1967. *A New Look at Elementary School Science*. (Rand McNally: Chicago).
- KARPLUS, R., LAWSON, A.E., WOLLMAN, W., APPEL, M., BERNOFF, R., HOWE, A., RUSCH, J.J. y SULLIVAN, F., 1977. *Science Teaching and the Development of Reasoning: A Workshop*. (Regents of the University of California: Berkeley).
- KUHN, D., AMSEL, E. y O'LOUGHLIN, M., 1988. *The Development of Scientific Thinking Skills*. (Academic Press: San Diego).
- LAWSON, A.E., 1994. *Biology: A Critical Thinking Approach*. (Addison-Wesley: Menlo Park, California).
- LAWSON, A.E. y KARPLUS, R., 1977. Should theoretical concepts be taught before formal operations?, *Science Education*, 61(1), pp. 125-135.
- LAWSON, A.E. y KRAL, E.A., 1985. Developing formal reasoning through the study of English, *The Educational Forum*, 49(2), pp. 21-226.
- LAWSON, A.E. y LAWSON, C.A., 1979. A theory of teaching for conceptual understanding, rational thought and creativity, en Lawson, A.E. (ed.), 1980. *AETS Yearbook: The Psychology of Teaching from Thinking and Creativity*. (ERIC/SMEAC: Columbus, Ohio).
- LAWSON, A.E. y THOMPSON, L., 1987. «Relationships among biological misconceptions, reasoning ability, mental capacity, verbal I.Q., and cognitive style». Artículo presentado en la *Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching*, Washington, DC, abril de 1987.
- LAWSON, A.E., ABRAHAM, M.R. y RENNER, J.W., 1989. *A Theory of Instruction. Using the Learning Cycle to Teach Science Concepts and Thinking Skills*. (National Association for Research in Science Teaching: Cincinnati, Ohio).
- LAWSON, A.E., LAWSON, D.L. y LAWSON, C.A., 1984. Proportional reasoning and the linguistic abilities required for hypothetic-deductive reasoning, *Journal of Research in Science Teaching*, 21(2), pp. 119-131.

- LAWSON, C.A., 1958. *Language, Thought, and the Human Mind*. (Michigan State University Press: East Lansing).
- LAWSON, C.A., 1967. *Brain Mechanisms and Human Learning*. (Houghton Mifflin: Boston).
- LAWSON, C.A. y PAULSON, R.E., (eds.), 1958. *Laboratory and Field Studies in Biology: A Source Book for Secondary Schools* (Holt, Rinehart & Winston: Nueva York).
- LEHMAN, D.R., LEMPERS, R.O. y NISBETT, R.E., 1988. The effects of graduate training on reasoning, *American Psychologist*, 43(6), pp. 431-442.
- LEWIS, R.W., 1980. Evolution: a system of theories, *Perspectives in Biology and Medicine*, Summer, pp. 551-572.
- LEWIS, R.W., 1987. Theories, concepts, mapping, and teaching, *The University Bookman*, 27(4), pp. 4-11.
- LEWIS, R.W., 1988. Biology: A hypothetic-deductive science, *The American Biology Teacher*, 50(6), pp. 362-367.
- LOCKE, J., 1690. *Essay on the Human Understanding*. (Clarendon Press: Oxford, 1924).
- LURIA, A.R., 1961. *The Role of Speech in the Regulation of Normal and Abnormal Behavior*. (Pergamon Press: Londres).
- MAYER, R.E., 1983. *Thinking Problem Solving Cognition*. (W.H. Freeman: Nueva York).
- MILLER, G.A., 1956. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information, *The Psychological Review*, 63(2), pp. 81-79.
- NISBETT, R.E., FONG, G.T., LEHMAN, D.R. y CHENG, P.W., 1987. Teaching reasoning, *Science*, 238, pp. 625-631.
- NORTHROP, F.S., 1947. *The Logic of the Sciences and the Humanities*. (Macmillan: Nueva York).
- NOVAK, J.D., GOWIN, D.W. y JOHANSEN, G.T., 1983. The use on concept mapping and knowledge vee mapping with junior high school science students, *Science Education*, 67(5), pp. 625-645.
- OKEBOKOLA, P.A. y JEGEDE, O.J., 1988. Cognitive preference and learning mode as determinants of meaningful learning through concept mapping, *Science Education*, 72(4), pp. 489-500.
- PIAGET, J., 1928. *Judgment and Reasoning in the Child*. (Littlefield Adams: Paterson, Nueva Jersey).
- PIAGET, J., 1952. *The Origins of Intelligence in Children*. (International University Press: Nueva York).
- PIAGET, J., 1957. *Logic and Psychology*. (Basic Books: Nueva York).
- PIAGET, J., 1966. *Psychology of Intelligence*. (Littlefield Adams: Totowa, Nueva Jersey).
- PIAGET, J., 1976. *The Grasp of Consciousness*. (Harvard University Press: Cambridge).
- PIAGET, J. y INHELDER, B., 1969. *The Psychology of the Child*. (Basic Books: Nueva York).
- POSNER, G.J., STRIKE, K.A., HEWSON, P.W. y GERTZOG, W.A., 1982. Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change, *Science Education* 66(2), pp. 211-227.
- PREECE, P.F.W., 1978. Exploration of semantic space: Review of research on the organization on scientific concepts in semantic meaning, *Science Education*, 62(4), pp. 547-562.
- ROGERS, C.R., 1954. Toward a theory of creativity. ETC: A Review of Semantics, 11, pp. 249-260.
- SCIENCE CURRICULUM IMPROVEMENT STUDY, 1970. *Environment Teacher's Guide*. (Rand McNally: Chicago).
- SCIENCE CURRICULUM IMPROVEMENT STUDY, 1973. *SCIS Omnibus*. (Lawrence Hall of Science: Berkeley, California).
- SHAYER, M. y ADEY, P., 1981. *Towards a Science of Science Teaching*. (Heinemann Educational Books: Londres).
- SIMON, H.A., 1974. How big is a chunk?, *Science* 183, pp. 482-488.
- SMITH, C.L. y MILLMAN, A.B., 1987. Understanding conceptual structures: A case study of Darwin's early thinking, en Perkins, D.N. Lochhead, J. y Bishop, J.C. (eds.), *Thinking: The Second International Conference*. (Lawrence Erlbaum: Hillsdale, Nueva Jersey).
- SUPPES, P., 1968. The desirability of formalization in science, *Journal of Philosophy*, 65, pp. 651-664.
- TORRENCE, E.P., 1967. Scientific views of creativity and factors affecting its growth, en Kagan, J. (ed.), *Creativity and Learning*. (Beacon Press: Boston).
- VOSS, J.F., GREENE, T.R., POST, T.A. y PENNER, D.C., 1983. Problem solving in the social sciences, en Bowen, G.H. (ed.), *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research Theory*, 17, pp. 165-213. (Academic Press: Nueva York).
- VYGOTSKI, L.S., 1962. *Thought and Language*. (The MIT Press: Cambridge, Massachusetts).
- WALLAS, G., 1926. *The Art of Thought*, en Vernon, P.E. (ed.), *Creativity*. (Harvard University Press: Cambridge, Massachusetts).
- WASON, P.C. y JOHNSON-LAIRD, P.N., 1972. *Psychology of Reasoning: Structure and Content* (Harvard University Press: Cambridge, Massachusetts).
- WRIGHT, E.L., 1988. «Effect of intensive instruction in cue attendance on basic problem-solving skills of pre-service science methods students.» Artículo presentado en la *Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching*, St. Louis, abril de 1988.

NOTAS

• Este artículo ha sido traducido del inglés por Óscar Barberá.

1. Parte de este trabajo fue presentado en el IV Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas, celebrado en Barcelona, los días 13 al 16 de septiembre de 1993.

2. Karplus conoció el trabajo de Lawson a través de Jack Fishleder, que formó parte del equipo de SCIS en 1965 y había contribuido en el proyecto que Lawson dirigió en 1958.

3. *Nota del traductor:* Los *guppies* (*Lebistes reticulatus*) son peces tropicales americanos pequeños (unos 3-4 cm) que presentan una enorme variabilidad de formas y colores. La espectacularidad de los machos (brillantemente coloreados y con grandes aletas caudales y dorsales), su facilidad de captura y su sencillo mantenimiento hacen que los individuos de esta especie sean muy utilizados en los acuarios. En Sudamérica se les conoce por peces *millón*, debido a que forman grandes grupos en su estado natural.

4. *Nota del traductor:* Esta cantidad de unidades de información ha sido revisada posteriormente en varias ocasiones (p.e. Simon 1974) y en los procesos controlados (los que requieren atención consciente para interpretar el conocimiento declarativo); según la mejor estimación, se pueden manejar únicamente tres o cuatro de estos *chunks* simultáneamente (Broadvent 1975. *The magical number seven after fifteen years*, en A. Kennedy y A. Wilkes (eds.), *Studies in Long Term Memory*. (Wiley: Nueva York), citado en Stillings et al. 1987. *Cognitive Science. An Introduction* (MIT Press: Cambridge).

5. Uno se puede preguntar por qué Darwin no reconoció la importancia del proceso de selección cuando leyó por vez primera a Malthus. Naturalmente, nadie sabe con certeza la

respuesta a esta pregunta, pero parece evidente que el concepto de selección natural precisa del conocimiento de conceptos previos como factores limitantes, variación y potencial biótico. Si Darwin no conocía esas ideas o si no estaban cercanas a su plano de consciencia cuando leyó sobre el tema de la selección artificial, parece poco probable que pudiera reconocer la importancia de la idea para la evolución.

6. *Nota del traductor:* Debido a que se trata de un ejemplo de cómo media el lenguaje en el pensamiento, se ha mantenido en la lengua original, ya que su traducción perdería el sentido que el autor persigue (la negrilla es del traductor).

7. *Nota del traductor:* El autor ha publicado con detalle algunos ciclos de aprendizaje, entre los que se cuentan parte de los mencionados en este artículo. Pueden encontrarse en: *A Better Way to Teach Biology*, (1988), *The American Biology Teacher*, 50(5), pp. 266-278; y en *Exploring Growth (& Mitosis) Through a Learning Cycle*, (1991), *The American Biology Teacher*, 53(2), pp. 107-110.

8. *Nota del traductor:* En los Estados Unidos ha existido a lo largo de todo el siglo xx una fuerte polémica con las posturas evolucionistas y creacionistas, que aún continúa, especialmente acerca de la oportunidad de estos temas en la enseñanza de la biología en las escuelas públicas, lo que ha provocado la intervención de los máximos órganos de justicia de aquel país. En el caso de otras culturas como las europeas, aunque también es tema polémico, las controversias carecen de algunas de las connotaciones con las que el autor cuenta en el artículo.

9. *Nota del traductor:* El currículo de biología al que hace referencia el autor ha sido diseñado para la High School de los Estados Unidos, que comprende la escolarización entre los 15 y 18 años de edad.