

CUANDO SABER ES PREGUNTAR: COMPRENSIÓN, FORMULACIÓN DE PREGUNTAS Y CONOCIMIENTO EN BIOLOGÍA EVOLUTIVA*

Jorge F. Larreamendy-Joerns
Universidad Nacional de Colombia
 Juan Carlos Sandino
Universidad Jorge Tadeo Lozano
 Ricardo Tascón
Universidad del Valle

RESUMEN

El propósito del estudio fue describir los procesos de comprensión cognitiva de situaciones problema y formulación de preguntas en biología evolutiva en personas de diferente nivel de experticia conceptual, bajo el entendido de que la experticia científica se expresa no solo en la calidad de la solución a problemas, sino también en las formas de interrogar la realidad. Sesenta y seis participantes fueron asignados a cuatro grupos experimentales según su nivel de experticia. Los participantes leyeron cuatro textos, adaptados de artículos científicos originales, que describen situaciones complejas en biología evolutiva, siguiendo un procedimiento de pensamiento en voz alta. Las verbalizaciones fueron categorizadas y analizadas de acuerdo con el método de análisis de protocolo. Las diferencias entre grupo se estimaron mediante análisis de varianza. Los resultados revelan diferencias significativas en relación con el número y contenido de las preguntas formuladas. Los participantes de mayor conocimiento formularon un mayor número de preguntas sobre las situaciones descritas y orientaron sus preguntas hacia aspectos más relevantes disciplinariamente. Igualmente, formularon un mayor número de hipótesis y conjeturas y evocaron más conceptos disciplinarios. Se detectaron tres estrategias individuales de comprensión: comprensión por paráfrasis, comprensión por ejemplificación y comprensión por analogía. En el artículo se exploran las implicaciones del estudio para el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias.

Palabras clave: Diferencias entre expertos y aprendices, conocimiento científico, formulación de preguntas, comprensión cognitiva.

ABSTRACT

The purpose of this study was to describe the processes implied in problem understanding and question posing in evolutionary biology by individuals of different conceptual expertise, under the assumption that scientific expertise relates not only with the quality of answers to problems, but also with how we inquire about the reality. Sixty-six participants were assigned to four experimental groups according to their expertise level. The participants were asked to read four texts, adapted from original scientific articles, and follow a thinking aloud procedure. The verbalizations were categorized and analyzed using protocol analysis. Inter-group differences were estimated through analyses of variance. Results show significant differences regarding the number and content of the questions posed. High knowledge participants posed a greater number of questions and targeted their inquiries on more disciplinarily relevant issues. Likewise, they entertained a greater number of hypotheses and activated more disciplinary concepts. Three strategies for understanding were identified: understanding through paraphrasing, understanding through instantiation, and understanding by analogy. Implications for the study of the learning and teaching of science are explored.

Key words: Expert-novice differences, scientific knowledge, question posing, cognitive understanding



INTRODUCCIÓN

La comprensión de lo que está implicado psicológica y socioculturalmente en la práctica científica tiene consecuencias directas en el diseño de programas de enseñanza de las ciencias en diversos niveles educativos (Bruer, 1993; Larreamendy-Joerns, 1996). Por ello, una

* Investigación financiada por Colciencias y realizada con el respaldo de la Escuela de Psicología de la Universidad del Valle, Cali. Los autores agradecen la colaboración del Departamento de Psicología de la Universidad de los Andes, Bogotá. E-mail para envío de correspondencia: jflarrca@bacata.usc.unal.edu.co.

cabal comprensión de la naturaleza de la actividad científica es una tarea prioritaria para la cualificación de los procesos educativos.

La psicología cognitiva constituye una fuente privilegiada para la comprensión de los procesos implicados en la práctica científica (Klahr & Simon, 1999; Giere, 1992). En la tradición de la teoría de procesamiento de información, los estudios sobre la actividad científica pueden agruparse alrededor de tres problemas fundamentales: (a) la caracterización del razonamiento científico; (b) el estudio de los procesos de descubrimiento científico; (c) y la comprensión del proceso de cambio conceptual (bien durante el desarrollo individual, bien durante episodios de cambio microgenético).

Los estudios sobre razonamiento científico han abordado problemas tales como las concepciones de personas legas (Clement, 1982; McCloskey, Caramazza & Green, 1980; Ohlsson, 1991), el proceso de resolución de problemas en dominios científicos (Anzai, 1991; Klahr & Dunbar, 1988; Okada & Simon, 1995; Patel & Groen, 1991), la relación hipótesis-evidencia, y la organización del conocimiento científico en la memoria, tanto en expertos como en aprendices (Chi, Hutchinson & Robin, 1989; Kitcher, 1993; Larreamendy-Joerns & Ohlsson, 1995).

Las investigaciones sobre descubrimiento científico incluyen estudios de caso históricos (Nersessian, 1992), estudios experimentales (Schauble & Glaser, 1990; Okada & Simon, 1995), observaciones etnográficas de científicos en labores de investigación (Dunbar, 1994) y simulaciones computacionales (Simon, 1989). Una revisión exhaustiva de los estudios cognitivos sobre descubrimiento científico se encuentra en Klahr y Simon (1999).

Por su parte, los estudios sobre cambio conceptual (Carey, 1992; Thagard, 1992) sugieren que el aprendizaje de la ciencia implica un número considerable de desafíos conceptuales: diferenciación de conceptos (e.g., diferenciación entre calor y temperatura), re-asignación de conceptos a categorías ontológicas recientemente creadas (e.g., re-asignación del concepto de electricidad de la categoría de materia a la categoría de interacciones) y re-organización de estructuras de conocimiento, entre otros. Estos desafíos implican cambio conceptual en el sentido que suponen una transformación en las estructuras de memoria que va más allá de la mera acumulación de conocimiento.

A pesar de la enorme variedad de estudios empíricos sobre pensamiento científico, hay un aspecto del quehacer científico que resulta crucial para el desarrollo de la experticia en ciencia y que, paradójicamente, ha recibido escasa atención en la literatura cognitiva; a saber, el proceso de formulación o generación de preguntas.

Saber formular las preguntas adecuadas, en el contexto y el nivel apropiados es una de las características de la experticia en cualquier dominio disciplinario. El aprendizaje de la ciencia implica cambios no sólo en nuestro conocimiento del mundo, sino también en la manera como nos interrogamos acerca de él. Esto es, el aprendizaje de la ciencia implica una transformación en los parámetros que utilizamos para decidir qué es relevante explicar, así como en la naturaleza de las preguntas que formulamos acerca de situaciones que nos parecen problemáticas (Forman & Larreamendy-Joerns, 1998).

La escasa atención prestada al estudio del proceso de generación de preguntas resulta paradójica dada su estrecha relación con el proceso de comprensión cognitiva [cognitive understanding] y su papel central en el aprendizaje. Por una parte, la formulación de preguntas es un proceso que depende en gran medida de la comprensión que el sujeto posee de una situación (es decir, de su representación cognitiva de la situación problema) y de las preguntas típicas propias de un dominio de conocimiento (Ram, 1994). Es, por lo tanto, un proceso dependiente de los contenidos y la organización de la base de conocimiento del sujeto.

Por otra parte, "las preguntas representan las metas de conocimiento del sujeto, es decir, aquello que el sujeto se propone aprender. El aprendizaje ocurre progresivamente conforme las preguntas del sujeto son respondidas a través de la creación y evaluación de explicaciones" (Ram, 1994, p. 209). Es decir, las preguntas que el sujeto formula a partir de su conocimiento pre-existente orientan el proceso de aprendizaje y funcionan como parámetros de control que contribuyen a la evaluación del aprendizaje conceptual.

Dada la escasa literatura sobre el tema, el propósito de la investigación reportada en este artículo fue estudiar la relación entre el proceso de comprensión de situaciones problema, la formulación de preguntas y el nivel de conocimiento disciplinar. El dominio de conocimiento seleccionado para la presente investigación fue la biología evolutiva.

Diversos criterios se tuvieron en cuenta para la escogencia de la biología evolutiva como dominio disciplinar. En primer lugar, la biología evolutiva constituye uno de los campos más productivos de la ciencia, es un marco unificador para las ciencias biológicas y ha permeado conceptual y heurísticamente disciplinas en el ámbito de las ciencias naturales y humanas (Ruse, 1982). Por otra parte, la biología evolutiva constituye un campo paradigmático para el estudio del proceso de generación de preguntas ya que permite la formulación de interrogantes sobre una misma situación real en diversos niveles y de diversa naturaleza epistemológica. Por ejemplo, respecto a un mismo fenómeno, el biólogo puede indagar sobre causas históricas, funcionales, próximas y últimas (Mayr, 1988). Finalmente, la comprensión de situaciones problema y la consiguiente formulación de preguntas en biología evolutiva no requiere necesariamente de habilidades procedimentales y, por lo tanto, el desempeño de los sujetos no está afectado por su competencia computacional (como sí es el caso en dominios como la física).

LA NOCIÓN DE COMPRESIÓN EN PSICOLOGÍA COGNITIVA

En la psicología cognitiva contemporánea, no existe una teoría unificada sobre el concepto de comprensión. De hecho, tanto los métodos de investigación como las definiciones conceptuales propuestas varían en función del dominio de conocimiento de interés. Así, por ejemplo, en el campo de la psicología del razonamiento matemático, comprender un procedimiento matemático implica tomar en consideración no simplemente la secuencia de acciones a realizar, sino también (y en especial) las condiciones que deben cumplirse para su ejecución, sus relaciones con otros procedimientos que cumplen un mismo propósito y, por supuesto, su consistencia con la meta impuesta por el problema a resolver. En el campo de la psicología del razonamiento matemático, al igual que en dominios conceptuales como la física, la comprensión que un sujeto posee de una situación o de una serie de conceptos se infiere generalmente a partir de su desempeño en tareas de resolución de problemas.

En el campo de formación de conceptos, la comprensión es frecuentemente asociada al proceso de categorización. Formar un concepto equivale a identificar regularidades en la realidad, a establecer clases

y relaciones entre clases; es decir, a establecer nexos entre percepciones y fenómenos estadísticamente regulares. A su vez, categorizar equivale a establecer un nexo entre las regularidades estadísticas de la realidad y el conocimiento previo en forma de representaciones cognitivas que expresan clases de entidades. Conceptualizar y comprender son, pues, procesos solidarios. Comprender equivale a asignar un objeto, evento o proceso a una categoría ya existente, lo cual implica que los atributos del concepto son transferidos o heredados a la entidad categorizada. Es decir, la activación y el uso de conceptos relevantes y apropiados suponen comprensión.

Más recientemente, la noción de comprensión se ha asociado al término de explicación (Debe distinguirse, sin embargo, esta asociación del ya tradicional debate en las ciencias sociales y humanas sobre las relaciones entre explicación y comprensión en el contexto de su utilidad heurística.) Según esta perspectiva, comprender algo significa disponer de una teoría que explique la situación. "Explicarse a sí mismo un grupo de eventos significa hacerse a una teoría de dichos eventos. Por lo tanto, la comprensión cognitiva de hecho requiere de una buena idea de que constituye una explicación razonable" (Schank, Kass & Riesbeck, 1994, p. 17). Según Schank, los esquemas mentales están indexados u organizados en la memoria a largo plazo bajo el criterio de preguntas explicativas. Es decir, la activación de determinados esquemas mentales depende de si ellos contribuyen o no a dar respuesta a preguntas típicas que suelen formularse en un determinado dominio de la práctica o del saber. Dicho de otra manera, a preguntas típicas respondemos, sobre la base de esquemas mentales o patrones explicativos con respuestas más o menos típicas; respuestas que podemos, en virtud de ciertos procesos cognitivos, modificar y adaptar a situaciones nuevas aunque no completamente originales.

Uno de los modelos más difundidos en el ámbito de la psicología cognitiva contemporánea es el modelo de comprensión desarrollado por Kintsch (1988, 1992). Según Kintsch, la comprensión que ocurre como resultado del proceso de lectura de textos, es un proceso que implica la construcción de representaciones mentales sobre las cuales el lector realiza operaciones tales como resumir, evocar, parafrasear, inferir y aprender.

Según el modelo Construcción-Integración propuesto por Kintsch, la comprensión de un texto

implica la construcción de una base textual y de un modelo de situación. La base textual implica la formación, a partir del *input* lingüístico, de proposiciones, la activación de conocimiento relevante del mundo, la inferencia de proposiciones adicionales para asegurar la coherencia y la asignación de niveles de activación a los conceptos y las proposiciones. Igualmente involucra la exclusión de información irrelevante, la selección de macroproposiciones que capturan las ideas comunes a dos o más oraciones y la construcción de representaciones textuales cada vez estables (i.e., resistentes a la introducción de información adicional aparentemente contradictoria). La base textual, está basada en información extraída directamente del texto o en información generada inferencialmente durante el proceso de lectura.

Por su parte, el modelo de situación va más allá de la base textual y permite a los lectores fijar una referencia común a pesar del uso de diversas expresiones lingüísticas superficiales; traducir expresiones lingüísticas de un lenguaje a otro; integrar información lingüística y no lingüística; y, finalmente, construir un mismo espacio del problema para problemas isomorfos. Esta clase de representación es mucho más integrada con la base de conocimiento del sujeto y mucho menos dependiente de la forma lingüística. El modelo de la situación constituye una representación extensional del significado del texto, es decir, una representación de lo que trata el texto, mas que del texto como tal.

Tanto para Schank como para Kintsch comprender es un proceso de manipulación de información textual que esta al servicio de metas que trascienden la representación más próxima del texto. Para el primero, comprender es explicar, es decir, construir una estructura de entendimiento que de cuenta de las relaciones causales responsables de la situación. Para el segundo, comprender es hacerse a un modelo que sea utilizado en el contexto bien de situaciones de aprendizaje o de resolución de problemas. Comprender es, pues, un proceso que no se agota en sí mismo, sino que contribuye al logro de una meta.

Tanto la elaboración de una red relacional, como el uso de la misma para el cumplimiento de una meta, son elementos presentes en la definición de comprensión que propone Herbert Simon (1989, p. 489) en el contexto de la resolución de problemas:

Una persona comprende una situación problemática en la medida en que ella puede inducir, por alguna combinación de reconocimiento y razonamiento, una

compleja red de relaciones entre los elementos de la situación y, como resultado, puede ejecutar una variedad de tareas que implican operar sobre o transformar la situación de alguna forma.

Al igual que Kintsch y Schank, Simon insiste en la construcción de una red de relaciones y en la contribución del conocimiento previo (para el caso de Simon, en forma de razonamiento, mas que como evocación de esquemas prefigurados). Por otro lado, Simon enfatiza en que el resultado del proceso de comprensión debe dar origen a una representación operable. Es decir, a una representación que puede transformarse y manipularse para efectos de resolución de problemas. Ello implica que el producto del proceso de comprensión no puede ser una representación inerte, sino una representación de conocimiento usable.

EL PROCESO DE FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

Investigaciones recientes sugieren que el proceso de formulación de preguntas es el punto de partida del proceso de comprensión, pero al tiempo su producto resultante. Larreamendy-Joerns y Chi (1994) han sugerido que el aprendizaje de conceptos científicos implica un cambio en los esquemas causales y explicativos del aprendiz. A diferencia de la cognición cotidiana, el conocimiento científico se interroga sobre y explica de forma fundamental, fenómenos prevalentes.

Sin embargo, con muy pocas excepciones, este aspecto de la experticia en disciplinas científicas y, por tanto del proceso de aprendizaje de conceptos científicos, ha permanecido relativamente inexplorado. Algunos investigadores (van Lehn, Jones & Chi, 1992) han asumido que la identificación de situaciones-problema y la generación de preguntas son procesos no problemáticos que dependen del reconocimiento de lagunas en la base de conocimiento del sujeto en el contexto de resolución de problemas.

En su mayoría, el proceso de formulación de preguntas ha sido investigado en el dominio de la comprensión de textos narrativos. Estrategias pedagógicas como *Inquiry-Based-Reading* y *Questioning the Autor* (Beck et al., 1996) han sido desarrolladas bajo el entendido de que formular preguntas es un proceso habitual, aunque encubierto, de la lectura experta. Formular preguntas contribuye a integrar la información hasta el momento procesada, a

maximizar la formulación de inferencias, a anticipar estratégicamente información futura, a relacionar la información textual con conocimiento previo relevante; en una palabra, a asegurar la coherencia del texto. Igualmente, formular preguntas a la lectura y formularse preguntas a sí mismo como lector contribuye a promover una perspectiva crítica sobre el texto.

Uno de los modelos actuales sobre el proceso de formulación de preguntas ha sido desarrollado por Ram (1994) en el contexto de la teoría de Schank sobre comprensión de relatos breves. Ram sostiene que la comprensión de relatos es una actividad dirigida por metas, en la cual el proceso de explicación (i.e., la intención del lector de darle sentido a la historia) es controlada por la clase de preguntas que el lector espera que el relato aborde o responda. Dicho de otra manera, leemos siempre con una pregunta en la mente y es esa pregunta la que nos permite, en últimas, darle sentido al texto.

No obstante las investigaciones mencionadas, la formulación de preguntas es un aspecto no suficientemente estudiado en relación con la experticia en dominios conceptuales. Esta ausencia de investigación empírica es tanto más sorprendente cuanto que uno de los sellos distintivos de la experticia no es tan sólo la solución creativa y adecuada de problemas, sino el planteamiento de interrogantes productivos.

MÉTODO

Sujetos

66 sujetos (N = 66) participaron en la presente investigación. Con base en la clasificación de niveles de experticia propuesta por Patel y Groen (1991), se conformaron tres grupos experimentales, de 20 sujetos cada uno, de acuerdo con su niveles de conocimiento sobre biología evolutiva: legos (estudiantes de primer año de universidad sin formación en biología evolutiva, en su mayoría estudiantes de ciencias sociales), aprendices (estudiantes universitarios de segundo año de biología), y cuasi-expertos (estudiantes universitarios que han tomado un curso especializado de pregrado en teoría evolutiva). Los participantes de los tres grupos mencionados fueron muestreados de una universidad pública en el sur occidente colombiano. Se obtuvo datos de un grupo reducido de expertos, doctorados en biología evolutiva (N = 6), cuyo análisis no es reportado en este artículo.

Procedimiento

El procedimiento experimental se realizó en una sola sesión individual. A cada participante se le presentó un conjunto de cinco textos breves (uno de práctica y cuatro experimentales). Se pidió entonces a cada participante que leyera en voz alta cada uno de los textos, que procurara identificar las preguntas que un biólogo investigador podría formularse acerca de la situación descrita y que verbalizara cualquier elaboración, asociación o interrogante que viniera a su mente acerca de la situación. El procedimiento fue precedido por un breve entrenamiento en la técnica de pensamiento en voz alta [thinking aloud]. La secuencia de presentación de los textos fue contrabalanceada para controlar efectos seriales en la lectura de textos. Las verbalizaciones de los sujetos fueron audiograbadas y transcritas en formato de protocolo verbal. En la transcripción, se incluyeron tanto las verbalizaciones en respuesta a los textos experimentales, como las lecturas y relecturas de los mismos.

Materiales

Los cuatro textos experimentales (de una extensión entre 190 y 268 palabras), describían situaciones reales tomada de fuentes especializadas en biología evolutiva, debidamente adaptadas para asegurar máxima comprensión léxica sin compromiso de exactitud conceptual (ver Anexo No. 1, para un ejemplo). Los textos trataban sobre la interacción entre polillas del género *Tegeticula* y flores del género *Yucca* (Texto 1), el comportamiento grupal de búfalos africanos (Texto 2), las estrategias de cortejo sexual de las Aves de Glorieta (Texto 3) y el comportamiento grupal de orugas (Texto 4). En conjunto, los textos estaban relacionados con fenómenos y conceptos como co-evolución, parasitismo, selección sexual, fenotipo extendido, estrategias de defensa y forrajeo, entre otros.

RESULTADOS

Diferencias en la extensión de las verbalizaciones

El primer análisis consistió en determinar si existían diferencias significativas entre los grupos experimentales en relación con la extensión de las verbalizaciones, medida por el número de palabras de cada participante como respuesta a cada texto

experimental. Según Ericsson y Simon (1989), las verbalizaciones que realiza un sujeto en el contexto de una tarea de solución de problemas o de una lectura, pueden ser bien articulaciones de representaciones ya codificadas lingüísticamente en memoria de trabajo, o verbalizaciones de contenidos que deben ser, previamente a su articulación, codificados en forma lingüística. Las verbalizaciones guardan una relación estrecha con los rasgos del ambiente de la tarea. Es decir, expresan información disponible para el sujeto que está relacionada con los contenidos de la tarea. Otros factores constantes, una verbalización más profusa implica mayores nexos entre el ambiente de la tarea y el

conocimiento previo del sujeto, en particular cuando las instrucciones de verbalización insisten en la articulación de cualquier ocurrencia que pase por la mente, independientemente que se trate de una asociación o de una elaboración (como fue el caso del presente estudio).

Considerando lo anterior, se realizó un conteo del número de palabras producidas por cada participante en cada texto experimental. Luego se calcularon los promedios por texto y grupo experimental (ver Tabla No. 1). Los promedios para cada grupo y texto experimental se encuentran graficadas en la Figura No. 1.

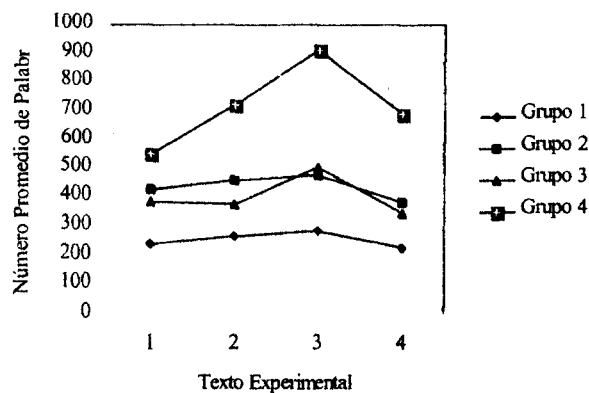


Figura No. 1. Promedios de palabras por grupo y texto experimental (Nota: Se incluyen los datos del grupo de expertos, N = 6)

Para estimar la significación estadística de las diferencias entre los promedios observados, se llevó a cabo un análisis de varianza de modelo mixto, con texto experimental (1 a 4) como factor repetido y grupo experimental (legos, aprendices, cuasi-expertos) como factor entresujetos.

Los resultados indican que existe un efecto significativo para el factor Texto, $F_{(3, 171)} = 4.0$, $p < 0.025$; es decir, la extensión de las verbalizaciones varió sistemáticamente según los textos procesados por los participantes. El análisis de varianza también indicó un efecto significativo para el factor Grupo, $F_{(2, 57)} = 3.78$, $p < 0.01$, y ausencia de significación estadística para la interacción Grupo x Texto.

El grupo de los legos fue el que menor número de verbalizaciones produjo, lo cual es consistente con lo previamente dicho acerca de la relación entre

conocimiento y pensamiento en voz alta durante la lectura. Los resultados muestran que no existen diferencias significativas entre los grupos de aprendices y cuasi-expertos, aunque sí entre los grupos superiores y el grupo de legos.

Aunque el análisis de la extensión de las verbalizaciones proporciona una primera descripción del desempeño de los participantes en la prueba experimental, es posible que las diferencias entre los grupos experimentales se manifiesten, no tanto en la extensión de las verbalizaciones, sino en su contenido.

Diferencias en las Categorías de Procesamiento

El propósito de la presente investigación fue caracterizar los procesos de comprensión de situaciones problema y formulación de preguntas en biología

evolutiva en función del nivel de experticia conceptual de individuos en dicho dominio científico. Por obvias razones, es en el contenido y en los procesos subyacentes, más que la extensión, de las verbalizaciones donde pueden cifrarse las diferencias entre los niveles de conocimiento. Para tales efectos, se analizaron los protocolos verbales producidos por los participantes y se codificaron las verbalizaciones según el tipo de procesamiento cognitivo subyacente. Con base en un análisis preliminar de las verbalizaciones, se propusieron las siguientes cinco categorías de procesamiento: (a) ejemplificación, (b) formulación de preguntas, (c) formulación de hipótesis, (d) establecimiento de analogías y (e) metacomentarios.

Estas categorías dan cuenta de las operaciones cognitivas más prevalentes durante la lectura de los textos experimentales. En tal sentido, contribuyen, en términos de la definición de comprensión de Simon, a la construcción de una "compleja red de relaciones entre los elementos de la situación", al igual que a su posterior transformación (como sucede en el caso de formulación de hipótesis).

Cada uno de los protocolos verbales fue codificado, tomando como unidad de segmentación el conjunto de verbalizaciones producido por cada sujeto en cada texto y asignando a cada categoría la verbalización que se adecuara a la categoría, irrestrictamente de su extensión. La Tabla No. 1. presenta las definiciones de las categorías de procesamiento.

Tabla 1. Categorías de procesamiento empleadas en el análisis de protocolos verbales

Categoría de procesamiento	Definición
Ejemplificación	Verbalización en la que el participante identifica la totalidad o una parte del texto experimental como ilustración o ejemplo de un concepto disciplinario (i.e., concepto claramente perteneciente al ámbito de la biología o de alguna disciplina afín).
Formulación de preguntas	Verbalización en la que el participante solicita información no provista por el texto. Se codificaron como preguntas expresiones interrogativas marcadas y no marcadas.
Formulación de hipótesis	Verbalización en la que el participante expresa una conjetura, solución o respuesta a un problema, explícita o implícitamente identificado en el texto experimental o en verbalizaciones anteriores.
Establecimiento de analogía	Verbalización en la que el participante establece una correspondencia relacional entre dos dominios o situaciones diferentes, con propósitos explicativos.
Metacomentarios	Verbalización en la que el participante expresa apreciaciones, reservas u objeciones bien sobre la situación descrita en el texto experimental o sobre la manera como el texto experimental caracteriza la situación.

Para efectos de la codificación, se contabilizaron como una sola ocurrencia verbalizaciones que fueran equivalentes en términos de contenido conceptual.

Las frecuencias de las categorías de procesamiento en cada grupo experimental (agregadas por texto) se presentan en la grafica en la Figura No. 2.

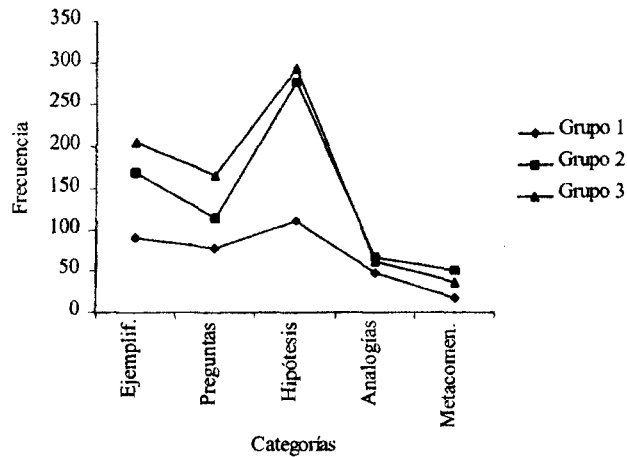


Figura No. 2. Frecuencias de las categorías de procesamiento por grupo experimental.

Como puede observarse, la categoría de procesamiento más frecuente, para los tres grupos experimentales, fue la formulación de hipótesis, seguida por la ejemplificación, la formulación de preguntas, el establecimiento de analogías y los metacomentarios, respectivamente. Esta distribución es predecible si se tiene en cuenta que los textos experimentales eran de coherencia textual media y por lo tanto admitían de adiciones conceptuales para esclarecer las relaciones causales (o más genéricamente, explicativas) entre los elementos propuestos. El carácter descriptivo de los textos, por tanto, alentaba la producción de hipótesis, a diferencia de textos explicativos que alientan otro tipo de producciones.

De hecho, la formulación de hipótesis puede considerarse como una operación cognitiva cercana a las autoexplicaciones [self-explanations], propuestas por Chi (1989); es decir, como elaboraciones cognitivas que permiten derivar (o asegurar) la relación conceptual entre elementos presentes en el texto. Un propósito plausible, pues, de la formulación de hipótesis es garantizar una mayor coherencia, no ya textual, sino mental (es decir, del modelo de situación construido a partir del texto). Igualmente, no es contraintuitivo que la

ejemplificación haya ocupado el segundo lugar de ocurrencia en las verbalizaciones de los participantes. La lectura es, de hecho, un proceso que implica la activación de conceptos previos relevantes. Dicha activación es dependiente del nivel de conocimiento de los lectores: un mayor conocimiento implica, otras cosas iguales, la activación de un número mayor de conceptos relevantes (aunque dicha activación puede o no manifestarse en las verbalizaciones).

Dejando a un lado las diferencias entre los grupos experimentales, es de anotar la semejanza entre las curvas (o tendencias) de los grupos de diversos niveles de conocimiento. El desempeño de los tres grupos experimentales analizados fue, en términos de tendencias, muy semejante, lo cual sugiere que las características de los textos experimentales (en términos de propiedades textuales y nivel conceptual) se sobrepusieron eventualmente a las diferencias de los grupos de participantes.

Diversos análisis de varianza, tomando en consideración ya no las frecuencias, sino los promedios por categoría en cada texto y grupo experimental, mostraron diferencias significativas entre los grupos de mayor y menor conocimiento en las categorías de

formulación de preguntas, formulación de hipótesis, ejemplificación y metacomentarios. No se encontraron diferencias entre grupos para la categoría de analogías.

Análisis de la Formulación de Preguntas

Una de supuestos de la presente investigación fue que la experticia en un dominio está ligada, no sólo a la formulación de soluciones a problemas, sino a la identificación y comprensión de los problemas mismos; es decir, a la formulación de preguntas. Saber es tanto

plantear soluciones, como formular preguntas. En tal sentido, se esperaría que hubiese, en principio, una relación entre el número de preguntas formuladas y los niveles de conocimiento.

Para comprobar dicha hipótesis, se llevó a cabo un análisis de varianza de modelo mixto sobre el número de preguntas, con Grupo como factor entresujetos y Texto como factor repetido intrasujetos. Las medias de preguntas por grupo y texto se grafican en la Figura No. 3.

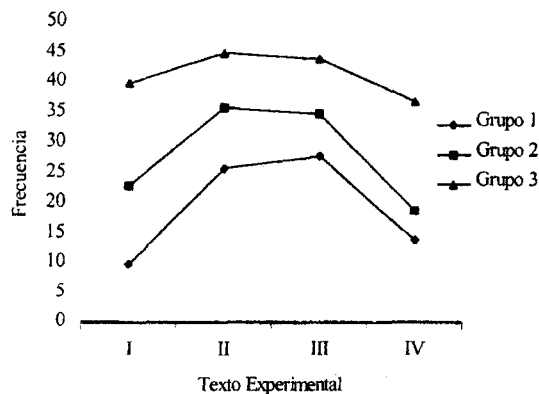


Figura 3. Promedios de la categoría formulación de preguntas por grupo y texto experimental.

Los resultados muestran un efecto estadísticamente significativo para el factor Grupo, $F(2, 56) = 3.242$, $p < 0.05$, con ausencia de significación estadística para el factor Texto y para la interacción Grupo x Texto. La ANOVA es consistente con la inspección visual de las medias, que muestra cómo el grupo de cuasi-expertos formuló consistentemente más preguntas que el grupo de aprendices y este, a su vez, más preguntas que el grupo de legos. Sin embargo, contrastes *post hoc* muestran que la única diferencia significativa entre medias fue la diferencia entre los grupos 3 y 1 (Tukey $p = 0.031$). Puede concluirse, por tanto, que la tendencia a formular preguntas (independientemente de la calidad de su contenido) está asociada al nivel de experticia de los participantes: a mayor nivel de conocimiento, mayor número de preguntas, siempre y cuando las diferencias de conocimiento sean acentuadas (como para el caso del contraste extremo entre legos y cuasi-expertos).

Cabría esperar resultados análogos en el contraste entre grupos de bajo conocimiento y expertos. Sin embargo, debido al reducido tamaño muestral del grupo de expertos ($N = 6$), no se llevaron a cabo análisis estadísticos para estimar la diferencia.

Análisis de las Preguntas Tipo

El análisis de varianza reveló que existen diferencias significativas entre los tres grupos experimentales en términos del promedio de preguntas formuladas en cada uno de los textos experimentales. Sin embargo, dado que los sujetos del grupo de cuasi-expertos tienen una más extensa experiencia en el dominio de la biología evolutiva, se esperaría que la calidad de sus preguntas fuera diferente de la calidad de las preguntas formuladas por los legos y aprendices. Pero, ¿cómo evaluar la calidad de las preguntas?

En principio, las preguntas pueden evaluarse en función de la esfera a la que se refieren. Por ejemplo, si una persona está leyendo el texto sobre las Aves de Glorieta y, en particular, el aparte sobre los objetos que dichas aves utilizan en la construcción de las estructuras nupciales, las preguntas pueden versar sobre la función de los objetos en el cortejo, el lugar en el que las aves consiguen dichos objetos, la manera como los disponen en la estructura, la forma como evolucionó dicho comportamiento, etc.

En biología evolutiva, la esfera de las preguntas ha sido estudiada en detalle por científicos interesados en la epistemología de la evolución. Ernst Mayr (1988), por ejemplo, ha señalado que la biología está compuesta por dos campos diferentes: la biología funcional y la biología evolutiva. La primera aborda problemas del estilo "¿Cómo opera o funciona x?", mientras que la segunda se centra en preguntas del estilo "¿Para qué x?" o "¿Cómo llegó a existir x?". Estos estilos de preguntas sondan esferas diferentes: una próxima y funcional, la otra distal y evolutiva.

Así, pues, una estrategia para el análisis de la calidad de las preguntas consiste en establecer la esfera a la cual se dirigen, los descriptores que solicitan y, desde luego, la amplitud asociada con la esfera en cuestión. En la presente investigación, se optó por categorizar las preguntas en función de su esfera de referencia. A continuación se definen las categorías de análisis y se proporcionan ejemplos de cada una de ellas.

Para efectos de la evaluación de la calidad de las preguntas, en términos de su esfera de referencia, se tomaron sólo aquellas verbalizaciones previamente categorizadas como preguntas y luego de un análisis preliminar, se propusieron las siguientes ocho categorías: (a) pregunta textual, (b) pregunta explicativa, (c) entorno del rasgo, (d) mecanismos funcionales, (e) valor adaptativo, (f) sistemática y filogenia, (g) procesos ontogenéticos; y (h) relación. La definiciones de las categorías se presentan en la Tabla No. 2.

Tabla No. 2. Tipos de preguntas identificadas en el análisis de protocolos verbales.

Tipo de Pregunta	Definición
Pregunta textual	Pregunta destinada a clarificar referencias o relaciones de nivel textual superficial.
Pregunta explicativa	Pregunta referida al "por qué" de un comportamiento o rasgo, sin aportar otros elementos que permitan una ulterior cualificación del objeto o aspecto de la pregunta.
Entorno del rasgo	Pregunta destinada a solicitar información puntual sobre aspectos del entorno del rasgo mencionado en la lectura (e.g., características medioambientales del comportamiento, características poblacionales o distribucionales, características fisonómicas adicionales, condiciones situacionales en las que se presenta el rasgo).
Mecanismo funcional	Pregunta destinada a solicitar información sobre mecanismos responsables por la producción del rasgo o de sus efectos en individuos de la misma u otra especie.
Valor adaptativo	Pregunta referida al valor adaptativo del rasgo, en términos de su contribución a la supervivencia o al éxito reproductivo.
Sistemática y filogenia	Pregunta referida a información sobre los procesos evolutivos responsables por la emergencia, en el curso de la filogenia, del rasgo en cuestión; o a información sobre la relación sistemática o taxonómica de (el rasgo de) una especie en particular en relación con (el rasgo de) otra especie.
Proceso ontogenético	Pregunta referida al desarrollo (o aprendizaje) del rasgo en cuestión en el curso de la vida de l organismo.
Pregunta de relación	Pregunta destinada a solicitar información sobre la relación entre dos rasgos de la misma especie o de especies diferentes.

Cada pregunta fue asignada a una sola categoría. La asignación fue llevada a cabo por dos codificadores independientes. Luego del proceso de asignación, se calcularon las frecuencias por categoría en cada grupo experimental. Dado que el análisis de varianza no indicó diferencias estadísticamente significativas entre los textos experimentales para el número de preguntas, el factor Texto no se tomó en consideración en los análisis posteriores. Los porcentajes de cada una de las categorías de preguntas, relativos al total de preguntas en cada uno de los grupos, se presentan en la Figura No. 4.

¿Qué sugieren los datos? En primer lugar, contrariamente a lo que cabría esperar con la lectura de textos científicos de relativa dificultad, aunque consistente con el nivel educativo de los sujetos, el porcentaje de preguntas textuales fue no sólo comparativamente bajo, sino también muy constante en los tres grupos experimentales inferiores (9.1, 10.6 y 9.6 puntos porcentuales respectivamente).

Por otra parte, las dos categorías de preguntas con porcentajes totales más altas son las de preguntas explicativas y entorno del rasgo. Los porcentajes de estos tipos de preguntas muestran, para el caso de las

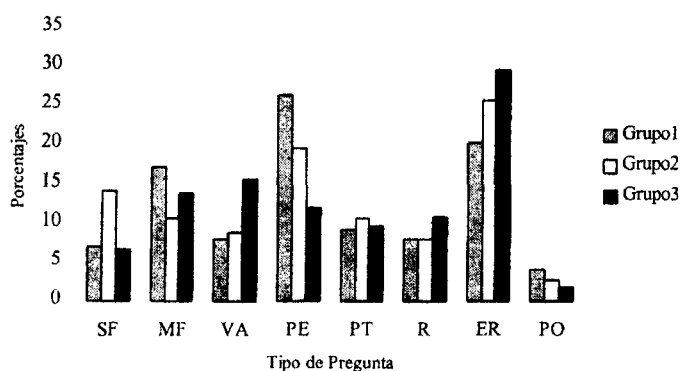


Figura No. 4. Porcentajes de tipos de pregunta por grupo experimental (SF: Sistemática y filogenia; MF: Mecanismos funcionales; VA: Valor adaptativo; PE: Pregunta explicativa; PT: Pregunta textual; R: Relación; ER: Entorno del rasgo; PO: Procesos ontogenéticos).

preguntas explicativas, una tendencia descendente a mayor nivel de experticia; y para el caso de las preguntas sobre entorno del rasgo, una tendencia ascendente. Esta tendencia es observable, también, en el reducido grupo de expertos, quienes formularon una proporción baja de preguntas explicativas y una proporción alta de preguntas de entorno del rasgo, variabilidad y sistemática-filogenia.

Es importante resaltar también la curva ascendente de las preguntas relativas al valor funcional o adaptativo del rasgo. Estas preguntas se orientan hacia el valor adaptativo del rasgo descrito en términos de su contribución a la supervivencia o al éxito reproductivo (un aspecto que es, como se sabe, de singular importancia en la biología evolutiva). De alguna manera, indagar sobre el valor evolutivo del rasgo en cuestión implica tener en cuenta su papel en procesos más

amplios como la selección natural y, por tanto, interrogarse por las condiciones de su surgimiento en la historia natural de la especie considerada.

Se trata de un hallazgo potencialmente significativo, puesto que sugiere que conforme el conocimiento disciplinar aumenta, las preguntas son menos globales; es decir, se orientan menos a solicitar las causas o los por qué de un rasgo, sin otra cualificación adicional; y más a demandar información, sobre el entorno del rasgo, que pueda ser potencialmente útil para construir una red elaborada de asociaciones para la comprensión.

De hecho, las preguntas sobre el entorno del rasgo, en particular en los grupos de cuasi-expertos y expertos, a menudo solicitan información puntual sobre la distribución poblacional del rasgo, su relación con el dimorfismo sexual de la especie, su relación con variables climáticas, la modalidad de interacción entre

especies, el grado de domesticación y la existencia de competencia y predación, entre otras cosas.

En el curso del análisis hemos conjeturado que, subyacentes a este tipo de preguntas, se encuentran lo que podría denominarse “descriptores típicos de dominio”; es decir, variables que presumiblemente hacen parte de las heurísticas explicativas típicas de la disciplina o, si se quiere, de los esquemas o patrones que emplean los biólogos para generar explicaciones de fenómenos. Así, por ejemplo, el descriptor “valor adaptativo” hace parte del esquema de selección natural; y el descriptor de distribución poblacional (o eventualmente de variación clinal) hace parte, entre otras, del esquema de especiación. Los descriptores típicos de dominio darían origen a preguntas típicas que contribuyen al obtener información crucial para la comprensión profunda de la situación. Se trata, dicho de manera analógica, de preguntas diagnósticas.

En este contexto, llama la atención la distribución de porcentajes de las preguntas de “mecanismos funcionales” y de “sistemática y filogenia”. Las primeras se dirigen a especificar los mecanismos responsables por la producción del rasgo o por sus efectos en el entorno (biótico o abiótico). Los mecanismos funcionales están relacionados menos con explicaciones histórico-evolutivas, que con explicaciones proximales. En tal sentido, se refieren, por ejemplo, a la manera cómo las manadas de búfalos “acuerdan” la dirección del desplazamiento, a la forma cómo las hembras de glorieta evalúan la estructura nupcial elaborada por un macho, y a la manera como las polilla *Tegeticula* recorren la flor de *Yucca* para ovopositar y simultáneamente polinizarla. Nótese, sin embargo, que las preguntas no sondan los procesos evolutivos o, si se quiere, filogenéticos responsables por la emergencia de dichos comportamientos. Desde el punto de vista de la producción del comportamiento y de los rasgos biológicos asociados, las preguntas son altamente relevantes, aunque ignoran el aspecto evolutivo.

La distribución de porcentajes de preguntas sobre mecanismos funcionales es de difícil interpretación: el grupo de legos supera tanto a los aprendices como a los cuasi-expertos, pero este último supera al de aprendices. La distribución luce como una curva en U, lo cual sugeriría que la frecuencia de las preguntas (es decir, el desempeño) puede estar ocultando una transformación cualitativa tanto en el contenido, como en el contexto de las preguntas. Aunque para efectos de la presente

investigación se realizó una comparación detenida del contenido y la estructura de las preguntas de mecanismos funcionales, es posible que un análisis ulterior, más detallado, revele diferencias intergrupales en tal dirección.

Un caso similar es el de las preguntas sobre sistemática y filogenia. Es preciso anotar que no es, de ninguna manera, obvio que una persona indague sobre la filogenia o la sistemática (es decir, sobre las relaciones taxonómicas) como respuesta a las situaciones descritas por los textos experimentales. Sin embargo, los porcentajes observados muestran prácticamente una equivalencia entre los grupos de legos y cuasi-expertos, grupos que, a su vez, son doblados (en porcentajes) por los aprendices. De nuevo, se requieren análisis más detallados, bien para confirmar la tendencia, bien para reinterpretarla en términos de la calidad y el contexto de las preguntas formuladas.

Finalmente, las diferencias entre los porcentajes de los grupos experimentales en las preguntas de relación y procesos ontogenéticos, son demasiado estrechas para justificar conjeturas sólidas. Sin embargo, es interesante advertir que el porcentaje de preguntas sobre la ontogenia (que implica tanto desarrollo como aprendizaje) disminuye sistemáticamente conforme la experticia aumenta.

En resumen, el análisis del tipo de preguntas formuladas muestra tendencias esperables (como es el caso de las distribuciones de preguntas explicativas, preguntas sobre entorno del rasgo y preguntas sobre valor adaptativo); y tendencias de difícil interpretación (e.g., la distribución de preguntas sobre mecanismos funcionales y sistemática-filogenia). Quizás, el hallazgo más importante sea la presencia, cada vez más frecuente, de preguntas relativas al entorno del rasgo, preguntas que están dirigidas a la identificación de descriptores típicos del dominio que contribuyen a la comprensión de la situación con base en las denominadas heurísticas explicativas de la biología evolutiva.

Estrategias de comprensión

Adicionalmente al análisis de las preguntas, se llevó a cabo un análisis de las estrategias de comprensión. Aunque las verbalizaciones y, en general, las formas de abordaje de los textos presentan una variabilidad considerable, en el transcurso del análisis de los protocolos verbales, se hizo evidente la existencia de

diversas estrategias globales de comprensión, que coexisten con las operaciones ya mencionadas y analizadas de formulación de preguntas, ejemplificación, formulación de hipótesis, establecimiento de analogías y metacomentarios. Dichas estrategias pueden identificarse a partir de la incidencia de ciertos tipos de verbalizaciones durante la lectura.

En particular, se observaron tres tipos de estrategias globales: (a) comprensión por paráfrasis; (b) comprensión por ejemplificación de conceptos; y (c) comprensión por analogía. Estas estrategias de abordaje de los textos se presentaron, en mayor o menor medida, en todos los grupos experimentales. Sin embargo, es interesante mencionarlas puesto que constituyen formas de procesamiento de la información presentada en los textos científicos.

Es difícil estimar en qué medida dichas estrategias están ligadas, de manera unívoca o incluso preferencial, a diferentes niveles de experticia; es, así mismo, difícil saber, con base en los datos recolectados, si se trata de una variabilidad atribuible a estilos de aprendizaje, a estilos de lectura (y comprensión) o, en su defecto, a "estilos cognitivos" generales.

Comprensión por paráfrasis

La paráfrasis, como forma de verbalización durante la lectura, se refiere a verbalizaciones en las que el lector expresa en palabras similares o de alguna manera más elaborada, información proporcionada en el texto, sin alterar el significado del mismo y sin realizar inferencias elaborativas de consideración. Se trata de verbalizaciones que mantienen a un nivel mínimo la distancia, en términos de contenido, entre lo que dice el sujeto en respuesta al texto y el texto mismo.

Al parecer, en algunos participantes, la paráfrasis fue empleada preferencialmente como un recurso para optimizar la comprensión de segmentos del texto, como si el lector estuviese re-entrando (a la manera del *rehearsing*) la información obtenida del texto en cada ciclo de procesamiento. Veamos un ejemplo (texto experimental en mayúsculas y verbalizaciones en cursivas):

[Lectura del texto experimental completo] *Entonces aquí lo que intentan ... la información que intentan dar es sobre la relación que existe entre la.. la dirección en que las hembras se miran cuando la manada esta en*

reposo o la dirección en que la hembra mira en el momento en que la manda esta en reposo se levantan y miran, cual es la dirección en que luego empieza a andar.. puede estar relacionado o esta relacionado... este es más complicado, este es más complicado es como de comportamiento. que se mueve la manada, la diferencia es de unos tres grados. cuando las direcciones en que las hembras han mirado difieren mucho, la manada se separa en grupos durante la noche. no se han encontrado evidencias de liderazgo individual... es decir una hembra se para, mira hacia un lado, otra hembra luego al rato se para, mira hacia otro lado, otra hembra se para y mira hacia otro lado, si se promedian las distancias... entonces al final la manada se para y toda va hacia allá... La manada se separa en grupos durante la noche, es decir cuando la manada... una hembra se levanta y mira para acá, otra hembra se levanta y mira para acá, otra hembra se levanta y mira para acá, entonces ahí se forman los grupos... al principio comienza a andar... a las seis de las tarde ah, ya!, entonces sí claro, ya van por la noche... [Grupo 3, Sujeto 16, Texto 2]

En la primera parte de este protocolo, el participante, luego de leer de manera continua todo el texto experimental, intenta resumir el contenido e identifica una de las ideas principales; a saber, que la dirección que toma la manada está relacionada con la dirección de la mirada de las hembras. Acto seguido, el lector retoma la lectura y comienza a parafrasear información provista anteriormente en el texto, aunque desarrollando con mayor detalle algunas de las descripciones. Nótese que el lector no articula aún explicaciones "marcadas", es decir, explicaciones que sobresalgan. Su verbalización se encuentra, por el contrario, estrechamente ceñida al texto. Se trata, pues, de una estrategia de comprensión que presumiblemente responde a la meta de establecer qué dice el texto y que, por lo tanto, puede ulteriormente ponerse al servicio de elaboraciones explicativas más sofisticadas.

Comprensión por ejemplificación

Una estrategia más elaborada, aunque de ninguna manera excluyente de la anterior, consiste en evocar conceptos que den cuenta de la información provista en el texto. Se trata, pues, de la activación de conceptos o esquemas abstractos que reducen la situación descrita a una instancia. Aunque esta operación fue codificada para efectos del análisis de categorías de procesamiento,

la persistencia en el uso de este tipo de verbalizaciones autoriza a considerarla, en algunos casos, como una estrategia general de abordamiento textual. Veamos un ejemplo representativo de esta estrategia:

Las Las polillas *tegeticula* tienen tentáculos en la cabeza que usan para recolectar y cargar el polen de las flores de *yucca* que visitan. En cada flor, *Véamos acá, entonces esto es lo que se conoce en genética de poblaciones como una relación de reproducción de fenotipos... fenotipos negativos, donde al parecer hay un flujo reproductivo no directo, ósea no que la polilla copule con la flor pero si ayuda a que la flor pueda tener reproducción, entonces son genotipos totalmente y... genotipos totalmente diferentes pero se da en reproducción de a flor, no es totalmente una reproducción de genotipos negativos pero si se puede tomar como un caso.* [Grupo 3, Sujeto 11, Texto 1]

Como puede verse, el efecto de la ejemplificación es relacionar el texto procesado con conocimiento conceptual previo y reducir la particularidad de la situación descrita. La disponibilidad de un amplio repertorio de conceptos y esquemas abstractos permite, en el curso de procesos inferenciales, minimizar el número de premisas empleadas y maximizar el número de conclusiones obtenidas (Kitcher, 1989).

Comprensión por analogía

Es sabido que la analogía constituye uno de los más poderosos mecanismos para la comprensión de situaciones novedosas o poco familiares (Holyoak & Thagard, 1995). A diferencia de la ejemplificación, la analogía establece una correspondencia relacional de tipo horizontal entre dominios diferentes. Al igual que en el caso de la ejemplificación, sin embargo, la analogía puede convertirse en una estrategia global cuando su empleo es prevalente en el contexto de las verbalizaciones. En el ejemplo siguiente, el participante, luego de leer la descripción sobre las manadas de búfalos, ataca el texto de forma preferencialmente analógica:

Esta sí está buena...Estas...bueno si necesariamente deben tener un enemigo natural, ¿no?, un carnívoro bien grande, ¿no?... porque en unas... bueno fue un estudio de esos extraordinarios que se hacen en cierta institución de investigación que se descubrió que en los Llanos Orientales, eh, las vacas comienzan a parir después de las seis y media de la tarde, ósea como si ellas estuvieran programadas para parir a determinada

hora, suponiendo ellos que se debía a que...en algún período remoto en la evolución ellos tenían algún enemigo que era diurno y por eso aprovechaban las horas de oscuridad para empezar a parir ¿no?, pero esto no parece estar relacionado con ningún enemigo natural sino con la búsqueda de mejores oportunidades [Grupo 3, Sujeto 15, Texto 2]

Como puede verse, no obstante su conocimiento disciplinar, el sujeto no acude a conceptos, sino a situaciones análogas (i.e., las vacas pariendo en la noche en los Llanos Orientales y las cardúmenes de peces). El uso de analogías le permite estructurar la situación y establecer explicaciones hipotéticas (i.e., "*pero esto no parece estar relacionado con ningún enemigo natural sino con la búsqueda de mejores oportunidades.*")

Estas tres estrategias de comprensión (i.e., por paráfrasis, por ejemplificación y por analogía) son formas individuales de abordamiento del texto, cuya prevalencia, muy seguramente, está relacionada con la familiaridad que tiene el lector con la disciplina (o, en su defecto, con la temática descrita). De hecho, investigaciones previas (ver Larreamendy-Joerns, 1996) sugieren que la paráfrasis es frecuente en el caso de textos de difícil lectura y la ejemplificación, por su parte, habitual cuando el lector dispone de un conocimiento disciplinario considerable. En cualquier caso, resta aún por investigar la relación entre estas formas privilegiadas de procesamiento textual y los denominados estilos cognitivos.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES EDUCATIVAS

Esta investigación se propuso caracterizar los procesos de comprensión de situaciones problema y formulación de preguntas en biología evolutiva en función del nivel de experticia conceptual de individuos en dicho dominio científico. ¿Qué hemos aprendido a partir del análisis de datos?

A diferencia de muchos casos reportados en la literatura sobre pensamiento en voz alta durante la lectura (ver, Pressley & Afflerbach, 1995, para referencias), las verbalizaciones de los participantes de este estudio frente a los textos experimentales, fueron no sólo abundantes, sino también enormemente complejas. Los textos empleados cumplieron, pues, su cometido, en el sentido de generar una densa secuencia de asociaciones y de motivar a los participantes.

Las verbalizaciones revelaron el esfuerzo de los lectores por relacionar el texto procesado con conocimiento previo. Las relaciones, como cabría esperar, fueron, tanto en su contenido como en su fluidez, función del conocimiento de los sujetos. Algunos sujetos llevaron a cabo complejos procesos inferenciales y elaborativos (lo cual dio lugar a verbalizaciones más extensas). Otros, reconocieron en los textos, con un cierto beneficio de inmediatez, conceptos y situaciones típicas.

Por otra parte, puede concluirse que existen diferencias significativas entre grupos de diferente experticia en biología evolutiva en lo relativo al número y al contenido (o tipo) de preguntas formuladas ante una situación problema. Haciendo las provisiones del caso (i.e., tomando en consideración que no siempre existieron diferencias consistentes entre los dos grupos de mayor experticia), puede afirmarse que los participantes de mayor conocimiento en biología no sólo formularon un mayor número de preguntas sobre las situaciones descritas en los textos experimentales, sino también se orientaron en sus preguntas hacia aspectos diferentes de la situación; aspectos que, desde una perspectiva disciplinaria, resultan más relevantes, precisos y elaborados. La precisión de las preguntas (reflejada en la preferencia de algunos sujetos por preguntas explicativas o, en su defecto, por preguntas sobre entorno del rasgo) tiene, a nuestro parecer, interesantes consecuencias en lo que respecta a la función de las preguntas como guías de comprensión y aprendizaje a partir de textos (Ram, 1994).

Los grupos de mayor conocimiento parecieron formular muchas de sus preguntas sobre la base de "descriptores típicos del dominio"; es decir, aspectos del rasgo que presumiblemente cumplen un papel en la lógica de explicaciones típicas de la biología evolutiva contemporánea. Los descriptores de dominio pueden, por tanto, ser considerados como "coordenadas" que permiten ubicar un fenómeno en el concierto de las explicaciones de la disciplina.

Los participantes de mayor conocimiento también formularon un mayor número de hipótesis y conjeturas, evocaron más conceptos disciplinarios y realizaron más metacomentarios en relación bien con la situación descrita en los textos, o con la forma como los textos daban cuenta de la situación misma. En relación con el establecimiento de analogías, no se presentaron diferencias entre los grupos experimentales.

Igualmente se detectaron tres estrategias individuales de afrontamiento de los textos científicos: comprensión por paráfrasis, comprensión por ejemplificación y comprensión por analogía. Estas estrategias caracterizan formas privilegiadas de verbalización puestas al servicio de la comprensión. Como se señaló más arriba, las estrategias pueden tener relación con los niveles de experticia y, eventualmente, con estilos cognitivos individuales. Sin embargo, es necesaria investigación adicional para establecer dichas relaciones.

En conjunto es claro, pues, que el conocimiento que de una disciplina dispone una persona, está relacionado con su capacidad para hacer preguntas que, de manera indirecta, faciliten la comprensión de un fenómeno no familiar. En tal sentido, puede afirmarse que el no saber no es un estado indiferenciado, sino, por el contrario, una condición altamente determinada por el conocimiento.

Por otra parte, como es el caso de cualquier estudio en el área de cognición, las implicaciones educativas de la presente investigación no son inmediatas, aunque, a nuestro parecer, sí promisorias. En primer lugar, habría que señalar que el mismo procedimiento experimental podría emplearse como una actividad pedagógica que potencie el aprendizaje de las ciencias, en general, y de la biología, en particular.

Al respecto, es importante recordar que la instrucción de presentar una situación (eminentemente descriptiva) y pedir a los participantes que formulen preguntas sobre la misma, es un procedimiento muy semejante a la estrategia "Questioning the Author", propuesta por Beck y colaboradores (1996), y que ha demostrado promover de manera significativa la comprensión de textos narrativos en niños de edad escolar. Los textos son, con infortunada frecuencia, "consumidos" sin que se los interrogue, bien porque la "situación de interrogación" no es propiciada por los maestros, bien porque la relación entre la coherencia textual y el conocimiento del lector es tan estrecha que los textos mismos no generan preguntas interesantes.

Sería llamativo adelantar estudios en el aula de clases en los que se diera a los estudiantes la oportunidad de enfrentar textos científicos que, al igual que los textos experimentales empleados, abundaran en descripciones, con relativa ausencia de discurso explicativo. No se trata, como podría pensarse, de reemplazar las observaciones reales por artefactos textuales, sino de promover nuevas formas de relación con el discurso de la ciencia.

Igualmente, hay que subrayar la necesidad de que los maestros comprendan la centralidad de la formulación de preguntas en el concierto de las actividades científicas. La empresa científica comienza, siempre, por una pregunta. Cuando ella está bien formulada, cuando incorpora los "descriptores típicos del dominio", la pregunta allana el camino para su posterior elucidación a través de métodos empíricos. Sería un despropósito que la enseñanza de la ciencia y, en particular, de la biología desconociera el papel fecundante de las preguntas y convirtiera el discurso de la ciencia en un repertorio de respuestas sin problema. Los educadores deben comprender que las preguntas no son sólo una forma de hacerse a un saber, sino también una manera muy peculiar y altamente sensitiva de hacer manifiesto lo que se sabe.

REFERENCIAS

- Anzai, Y. (1991). Learning and use of representations for physics expertise. En Ericsson, K. A., & Smith, J. (Eds.). *Toward a general theory of expertise: Prospects and limits*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Beck, I. L., McKeown, M. G., Worthy, J., Sandora, C. A., & Kucan, L. (1996). Questioning the author: A year-long classroom implementation to engage students with text. *The Elementary School Journal*, 96(4), 387-416.
- Bruer, J. T. (1993). *Schools for thought: A science of learning in the classroom*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Carey, S. (1992). The origin and evolution of everyday concepts. En R. N. Giere (Ed.), *Cognitive models of science* (pp. 89-128). Minneapolis, MN: University of Minnesota Press.
- Chi, M. T. H., Glaser, R., & Farr, M. J. (1988). The nature of expertise. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Chi, M. T. H., Hutchinson, J. E., & Robin, A. F. (1989). How inferences about novel domain-related concepts can be constrained by structured knowledge. *Merill-Palmer Quarterly*, 34, 27-62.
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory physics. *American Journal of Physics*, 50, 66-71.
- Dunbar, K. (1994). How scientists really reason: Scientific reasoning in real-world laboratories. In R. J. Sternberg & J. Davidson (Eds.), *The nature of insight* (pp. 365-395). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1989). *Protocol analysis: Verbal reports as data*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Forman, E., & Larreamendy-Joerns, J. (1998). Making explicit the implicit: Conversational implicatures and classroom explanations. *Mind, Culture and Activity*, 5 (2), 105-113.
- Giere, R. N. (1992). Cognitive models of science. En R. N. Giere (Ed.), *Cognitive models of science* (pp. xv-xxvii). Minneapolis, MN: University of Minnesota Press.
- Holyoak, K. J., & Thagard, P. (1995). *Mental Leaps*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Kintsch, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension: A construction-integration model. *Psychological Review*, 95, 163-182.
- Kintsch, W. (1992). A cognitive architecture for comprehension. En H. Pick, P. van den Broek, & D. C. Knill (Eds.), *Cognition: Conceptual and methodological issues* (pp. 143-164). Washington, DC: American Psychological Association.
- Kitcher, P. (1989). Explanatory unification and the causal structure of the world. En P. Kitcher & W. C. Salmon (Eds.), *Scientific explanation*, Minnesota studies in the philosophy of science, Vol. XIII (pp. 410-506). Minneapolis, MN: University of Minnesota Press.
- Kitcher, P. (1993). *The advancement of science: Science without legend, objectivity without illusions*. New York: Oxford University Press.
- Klahr, D., & Simon, H. A. (1999). Studies of scientific discovery: Complementary approaches and convergent findings. *Psychological Bulletin*, 125, (5), 524-543.
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1-48.
- Larreamendy-Joerns, J. (1996). *Learning science from text: Effects of theory and examples on college students' ability to construct explanations in evolutionary biology*. Disertación doctoral no publicada. University of Pittsburgh.

- Larreamendy-Joerns, J., & Chi, M. T. H. (1994). Japanese perspectives on conceptual change: Commentary. *Human Development*, 37, 246-256.
- Larreamendy-Joerns, J., & Ohlsson, S. (1995). Evidence for explanatory patterns in evolutionary biology. In J. D. Moore & J. F. Lehman (Eds.), *Proceedings of the 17th Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 637-643). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Mayr, E. (1988). *Toward a new philosophy of biology: Observations of an evolutionist*. Cambridge, MA: The Belknap Press of Harvard University Press.
- McCloskey, M., Caramazza, A., & Green, B. (1980). Curvilinear motion in the absence of external forces: Naive beliefs about the motion of objects. *Science*, 210, 1139-1141.
- Nersessian, N. J. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In R. N. Giere (Ed.), *Cognitive models of science*. Minnesota studies in the philosophy of science. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Ohlsson, S. (1991). *Young adults' understanding of evolutionary explanations: Preliminary observations*. Technical Report. Learning Research and Development Center, University of Pittsburgh.
- Okada, T., & Simon, H. A. (1995). *Collaborative discovery in a scientific domain*. Working paper No. 525. Department of Psychology. Carnegie Mellon University.
- Patel, V. L., & Groen, G. J. (1991). The general and specific nature of medical expertise. En Ericsson, K. A., & Smith, J. (Eds.), *Toward a general theory of expertise: Prospects and limits*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Pressley, M., & Afflerbach, P. (1995). *Verbal protocols of reading: The nature of constructively responsive reading*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

