

La taxonomía de Bloom y la aplicación del conocimiento: las clases de problemas en la asignatura de Zoología de la Universidad de Valencia

J.F. Aznar, M. Fernández, A. Raduán, J. Baixeras, J.A. Balbuena, R. Capaccioni, J.V. Falcó, J. Lluch, F.E. Montero, P. Navarro, J.A. Raga, J. Selfa, J. Tomás

Departamento de Zoología e Instituto Universitario Cavanilles de Biodiversidad y Biología Evolutiva, Universitat de València
francisco.aznar@uv.es

RESUMEN

De acuerdo con la taxonomía de Bloom, en el contexto de la enseñanza los procesos cognitivos se encuentran jerarquizados en seis niveles de complejidad creciente e inclusiva. Así, una materia puede perseguir que los estudiantes (1) memoricen información, (2) la comprendan, (3) la apliquen para resolver problemas nuevos, (4) la analicen, (5) la evalúen o (6) incluso creen nuevo conocimiento a partir de ella.

Tradicionalmente, en las universidades españolas la asignatura de Zoología ha promovido primordialmente la memorización y la comprensión. Sin embargo, parece hoy recomendable trabajar también procesos cognitivos superiores, haciendo hincapié en la aplicación del conocimiento zoológico. Esto proporciona herramientas a los estudiantes para abordar una gran variedad de preguntas, ayudando a forjar un estilo de pensamiento; permite adaptar los contenidos a una menor presencialidad, generando autonomía en la forma de trabajar, y desplaza el énfasis epistemológico desde una ciencia de sujetos hacia una ciencia de principios.

En este trabajo presentamos un diseño realista de clases de problemas de zoología para grupos numerosos, tal y como se plantea en la Universidad de Valencia. El elemento clave de nuestra iniciativa es una selección muy cuidadosa de los problemas: no se trata de memorizar o comprender debates clásicos o recientes en zoología, ni de meros ejercicios de corroboración. Los problemas de aplicación que planteamos obligan al estudiante a buscar relaciones o consecuencias no inmediatas de los conocimientos que van adquiriendo sobre filogenia, diversidad, planes corporales, morfología funcional y estrategias vitales; intentamos además que incluyan filós que no se tratan en el temario. En

este trabajo ilustramos diversos problemas tipo y describimos qué temporalización, carga docente y metodología pueden resultar más adecuadas dentro de un programa “clásico” de Zoología. El criterio fundamental de evaluación es que las respuestas sean plausibles, aunque no necesariamente correctas.

Palabras clave: Taxonomía de Bloom, enseñanza por problemas, zoología

SUMMARY

Bloom’s taxonomy and the application of knowledge: problem-based learning in the subject ‘Zoology’ at the University of Valencia

According to Bloom’s taxonomy, the cognitive processes that are involved in any learning context can be organized into six inclusive levels of increasing complexity. The aim(s) of any academic subject can be (1) to memorize information, (2) to understand it, (3) to apply it to solve new problems, (4) to analyze it, (5) to evaluate it, and even (6) to create new knowledge based on it. Traditionally, in Spanish universities the subject ‘Zoology’ has primarily addressed memorization and understanding. However, it would seem advisable to also deal with upper cognitive processes, particularly the application of knowledge. This would allow students to tackle a great diversity of zoology questions, help creating a thinking style, and to reduce the number of lectures since students could deal with several contents by themselves. Also, the application of knowledge would shift emphasis from subjects (animals) to principles.

In this presentation we describe a realistic design for problem-based lectures on zoology that are devised for large classes at the University of Valencia. The key element for a successful implementation is a careful selection of problems. Applying knowledge has nothing to do with memorizing / understanding classical or current zoological debates, or with making corroborative exercises. A genuine problem invites students to seek relationships and non-trivial consequences of the knowledge they acquire about phylogeny, diversity, body plans, functional morphology, and life history strategies, particularly when they are applied to animal phyla that are not included in the subject programme. In this presentation we include type problems and describe the schedule, teaching load and methodology that could best fit within a “classical” Zoology programme. The fundamental criterion to evaluate problems is that answers are plausible, though not necessarily correct

Keywords: Bloom’s taxonomy, problem-based learning, zoology

INTRODUCCION

La Taxonomía de Bloom y los objetivos educativos

En la enseñanza superior, la formulación de resultados de aprendizaje es fundamental, no sólo sus ventajas prácticas, sino también porque permite hacer una reflexión explícita sobre los niveles de competencia que deseamos fomentar en nuestros estudiantes. Cuando hablamos de “niveles de competencia”, nos referimos a la taxonomía jerárquica ideada por Benjamin S. Bloom y sus discípulos para clasificar, en niveles de complejidad creciente, las actividades de los estudiantes respecto a tres dominios: cognitivo, psicomotor y afectivo (Anderson y Krathwohl, 2001; Krathwohl, 2002; Forehand, 2005). La aspiración última de Bloom era crear un lenguaje común sobre resultados de aprendizaje que (1) facilitase la comunicación entre los interlocutores implicados; (2) sirviese de base para determinar los objetivos de cursos y currículos a diferentes niveles (locales, regionales, estatales) y (3) ayudase a comparar el grado de consecución de cursos y currículos ya en marcha con los resultados de aprendizaje deseables (Krathwohl, 2002)¹..

Nivel	Descripción	Ejemplo
<i>Recordar</i>	Recuperar de la memoria información factual	Recordar los principales músculos implicados en la masticación, y su disposición en el cráneo
<i>Comprender</i>	Construir significado a partir de mensajes orales, escritos o gráficos, lo que requiere resumir, dar ejemplos, clasificar, inferir, comparar y explicar	Explicar la forma de masticación de un zorro a partir de una descripción ilustrada de su cráneo
<i>Aplicar</i>	Utilizar un procedimiento para resolver un problema nuevo	Interpretar la forma de masticación de un animal desconocido a partir de una descripción ilustrada de su cráneo
<i>Analizar</i>	Separar las partes que constituyen un modelo, detectar cómo se relacionan las partes entre ellas y respecto al modelo completo	Elaborar una interpretación funcional de la masticación de un mamífero fósil a partir de restos fósiles incompletos
<i>Evaluar</i>	Elaborar juicios basándose en criterios y estándares a través de la comprobación y la crítica	Decidir cuál de las hipótesis funcionales competidoras (muy bien argumentadas) respecto a un mamífero fósil es más plausible
<i>Crear</i>	Disponer los elementos de un todo para formar un resultado coherente respecto a un conjunto de criterios	Inventar un modelo de cráneo de mamífero, funcionalmente óptimo, que pudiera procesar algo insospechado (p.e. vidrio)

Tabla 1. Descripción de los niveles de la taxonomía de Bloom, de acuerdo con Krathwohl (2002). Nuestro ejemplo corresponde a una clase práctica sobre morfología funcional del cráneo de mamíferos.

El dominio más conocido de la taxonomía de Bloom y, de hecho, el que fue trabajado con mayor profundidad por este autor, es el cognitivo. En este dominio, la taxonomía de Bloom reconoce 6 niveles o categorías de destreza en el uso del pensamiento y, por tanto, 6 niveles a los que los docentes pueden dirigir su atención, implícita o explícitamente (Tabla 1). Bloom ordenó sus categorías de acuerdo con dos criterios, el grado de complejidad (de simple a

complejo) y el grado de abstracción (de concreto a abstracto). Además, la taxonomía era acumulativa, esto es, el dominio de una categoría era un prerrequisito para dominar otra más compleja (Krathwohl, 2002)¹.

Existe bastante controversia sobre la definición de los 6 niveles de la dimensión cognitiva, sobre todo porque los verbos asociados a cada uno pueden interpretarse de múltiples formas (Valero García y Navarro, 2001). P.e., cuando un profesor dice que quiere que su estudiante “realmente comprenda”, puede estar manejando categorías desde la comprensión a la evaluación (Krathwohl, 2002). Por poner otro ejemplo, el verbo “analizar” se usa frecuentemente en contextos de comprensión o aplicación. En cualquier caso, desde el punto de vista del docente, la aportación fundamental de la taxonomía de Bloom es que invita a reflexionar sobre los niveles de competencia que uno/a desea abordar desde su asignatura (Valero García y Navarro, 2001). En este sentido, uno de los descubrimientos más interesantes es que, sea cual sea su denominación, parece que la mayoría de disciplinas ponen un énfasis excesivo en los niveles de competencia más bajos (recordar, comprender), a pesar de que trabajar las categorías superiores se considera como uno de los objetivos más importantes de la educación (Krathwohl, 2002).

En este trabajo nos preguntamos, en primer lugar, qué niveles de competencia se trabajan en la asignatura de Zoología en las universidades españolas. A partir de este análisis planteamos una propuesta pedagógica (las clases de problemas), tal y como se está diseñando en la Universidad de Valencia (UV), con el fin de ampliar los niveles de competencia en esta asignatura.

La docencia de la zoología en las universidades españolas: ¿qué niveles de competencia manejamos?

Actualmente existen 26 universidades en España que incluyen una asignatura de Zoología en el Grado en Biología. La frecuencia de los verbos empleados para describir las competencias específicas de dicha asignatura de acuerdo con las guías docentes del curso 2011/12 es la siguiente²: reconocer / identificar (19 universidades); conocer (18); comprender (11); sintetizar (11); manejar instrumental, información, etc. (10); analizar (8); interpretar (8); buscar información (8); relacionar (3); aplicar (1) y evaluar (1). Más allá de interpretaciones semánticas sobre dichos verbos, parece que la asignatura de Zoología se dirige claramente hacia los niveles cognitivos más bajos (esto es, recordar y comprender). En nuestra opinión, dicha tendencia podría explicarse por una combinación de diversos factores:

1) El propio concepto de la disciplina. De acuerdo con Hickman y col. (2009), los objetivos de la Zoología son (a) registrar y catalogar la diversidad animal; (b) reconstruir su historia, elucidando cómo se genera dicha diversidad y (c) comprender las adaptaciones de los animales. Una visión restrictiva de dichos objetivos convierte a la zoología en una disciplina altamente descriptiva; una visión que muchos profesores podría haber interiorizado.

¹ En su versión revisada actual, la taxonomía de Bloom en el dominio cognitivo incluye una segunda dimensión, la del conocimiento, que incluye 4 categorías (Krathwohl, 2002). No obstante, aquí utilizamos la versión unidimensional porque resulta más sencilla para explicar nuestra propuesta.

3) Las limitaciones de tiempo para desarrollar en el programa incluso los niveles de competencia inferiores.

4) La asunción de que las competencias de nivel superior deben, o solo pueden, trabajarse de forma transversal.

Por tanto, la pregunta que cabe hacerse es si es posible ampliar el nivel de competencias de la Zoología a través de actividades específicas. Estamos de acuerdo con Valero García y Navarro (2001) en que los niveles de competencia superiores (analizar, evaluar y crear) probablemente deberían trabajarse sobre todo con estudiantes de los últimos cursos de grado o de máster y con los de doctorado (particularmente la evaluación y la creación). Sin embargo, creemos que sí es posible fomentar, al menos, el nivel de competencia de aplicación (Tabla 1) mediante clases de problemas programadas en el temario.

Respecto a esta última cuestión, el análisis de las guías docentes de Zoología en las universidades españolas (incluyendo la UV) arroja también resultados interesantes. Sin excepciones, el tipo de actividades programadas en Zoología es una combinación de clases teóricas (lecciones magistrales), prácticas y tutorías/seminarios (teoría y prácticas consumen, en promedio, más del 75% de las actividades presenciales). Algunas universidades mencionan la resolución de problemas dentro de sus programas, pero sólo hemos hallado una descripción más o menos explícita de esta actividad, con carga horaria asignada, en siete de ellas:

1. Vigo (Zoología II): Resolución de problemas o ejercicios relacionados con cada una de las unidades temáticas. Carga horaria: 1 hora presencial (P) y 1 no presencial (NP).

2. Oviedo (Zoología). Ejercicios de nomenclatura y dudas sobre clases de generalidades (1h P, ¿2 NP?)

3. Autónoma de Barcelona (Zoología): Estudio de contenidos y resolución de problemas (50 h NP).

4. Rey Juan Carlos (Zoología): Clases prácticas/de resolución de problemas, casos, etc. (8 h P, 45 NP).

5. Girona (Zoología): Resolución de ejercicios. (3h P, 20 NP).

6. Illes Balears (Zoología I): Realización de ejercicios y trabajos relacionados con el temario (5h NP).

7. Alicante (Zoología I): Resolución de problemas nomenclaturales y de clasificación (4h P, 6 NP).

Respecto a estas actividades, cabe destacar que (1) su carga horaria presencial es generalmente baja; (2) en cuatro casos, la resolución de problemas está combinada con otras actividades (estudio, prácticas, trabajos, dudas) o se maneja el término “ejercicio”, lo cual plantea si la actividad podría estar dirigiéndose al nivel de competencia del recuerdo o el de comprensión, no el de aplicación.

Existen además otras actividades descritas en algunas guías docentes que son susceptibles de incluir la resolución de problemas; p.e., el caso de las prácticas de construcción e interpretación de cladogramas (Universidad de Extremadura)².

²En algunas universidades se describen, además, algunas competencias de alto calado cognitivo (p.e., “Diseñar protocolos de seguimiento de la biodiversidad”, o “Gestionar, conservar y restaurar poblaciones y ecosistemas”), que parecen de difícil consecución en un curso de zoología general de grado.

En todo caso, este tipo de prácticas es anecdótico en el panorama de contenidos de los programas de Zoología a nivel nacional.

En el siguiente apartado desarrollamos la estructura de las clases de problemas sobre cuya implantación estamos trabajando actualmente en la UV. El objetivo es sugerir una actividad que, por su propia naturaleza, pueda aplicarse a cualquier programa de Zoología, sin alterar sustancialmente el diseño “tradicional” de la asignatura, tal y como describimos a continuación.

METODOLOGÍA

La propuesta de estructura de una clase de problemas de zoología, tal y como se plantea, es la siguiente:

1. *Tipo de actividad*: Se concibe como una actividad presencial. La presencialidad se justifica por la cita de John Cowan: “La tarea del profesor consiste en crear situaciones de las que el alumno no pueda escapar sin haber aprendido”. Creemos que exponer a los estudiantes a situaciones problema en presencia del profesor les obliga a reflexionar y tratar de encontrar una solución en ese mismo momento. De acuerdo con nuestra experiencia, en una actividad de este tipo donde el grueso de la tarea sea no presencial se corre el riesgo de que muchos estudiantes no hagan la tarea, se limiten a preguntar qué han hecho otros, o incluso a copiar sus respuestas para el documento entregable (véase más abajo). No obstante, pueden plantearse tareas no presenciales asociadas a la actividad principal.

2. *Tamaño de grupo*: Idealmente, debe organizarse como una actividad para grupo pequeño (16 estudiantes en la UV), de forma similar como se hace en las prácticas de laboratorio. No obstante, puede adaptarse a grupos de tamaño intermedio (32 alumnos).

3. *Materiales*: Los problemas pueden no requerir más información que la ya impartida en clases de teoría, o pueden necesitar información adicional que el profesor proporcione. Es muy recomendable que el lugar donde se desarrolla la actividad disponga de ordenadores con conexión a internet, ya que algunos problemas pueden suscitar la búsqueda, en ese momento, de información adicional de calidad (de esta forma se fomentaría también esta destreza fundamental en estudiantes de primero o segundo de grado).

4. *Procedimiento*: Recomendamos que cada sesión dure entre 1 y 2 horas (en nuestro diseño se plantean sesiones de 2 horas). El número de problemas obviamente debe ajustarse al tiempo disponible, pero parece razonable trabajar de 2 a 4 problemas por sesión. Se trabajaría en grupos de 3-4 estudiantes (el tamaño dependería de si se trata de un grupo pequeño o intermedio). La secuencia de tareas para cada problema propuesto es como sigue:

- a) El profesor plantea el problema para que los estudiantes trabajen. Dependiendo del problema considerado, el tiempo de trabajo debe oscilar entre los 10 y los 30 minutos. Si se considera conveniente, se puede permitir a los estudiantes que utilicen los recursos de búsqueda en internet, incluso proporcionando claves en la cadena de búsqueda.

- b) Los grupos de estudiantes discuten la solución al problema y escriben la solución (o soluciones) que hayan consensuado.
- c) El profesor pide a 1 ó 2 grupos que expongan su solución en 3-5 minutos (dependiendo del problema) y se plantea una discusión de las alternativas en la que intervienen los otros grupos y el profesor. Cabe asumir una duración de 5-15 minutos de discusión por problema. Más que ofrecer la respuesta correcta, el profesor incita a la discusión y guía las intervenciones. También aprovecha cada problema para reforzar brevemente los contenidos tratados en teoría o prácticas.

5. *Entregable*: Al final de cada sesión el grupo de estudiantes debe entregar la discusión y respuesta a los problemas. La estructura del documento entregable contempla dos apartados: (1) lo que el grupo ha trabajado individualmente y (2) las aportaciones de otros grupos, y del profesor, tras la discusión. El profesor debe supervisar que esta separación de contenidos entre apartados se cumpla escrupulosamente por parte de cada grupo. Una opción sería la preparación de formularios de respuesta con espacio delimitado para cada apartado.

6. *Tipos de problemas*: La elección de los problemas es, sin duda, el aspecto clave para el éxito de la actividad. Aunque depende de los aspectos concretos que el profesor considere que puedan ser más formativos para los alumnos, sugerimos que los problemas que se formulen cumplan las siguientes características:

- a) Abordar temáticas fundamentales en el programa de Zoología; entre otros, forma y función, planes corporales, filogenia, ciclos vitales, papel de las constricciones físicas, etc.
- b) Entroncar con contenidos (información factual, principios) que se trabajan en clases de teoría o prácticas, pero obligando al estudiante a buscar relaciones y/o consecuencias no inmediatas del conocimiento que han adquirido.
- c) Si se basan en información adicional que proporciona el profesor, o que los estudiantes buscan en internet, dicha información debe ser un requisito necesario, pero no suficiente, para dar una respuesta al problema. En otras palabras, los estudiantes no sólo han de comprender la información que se les proporciona u obtienen a través de internet, sino que han de aplicarla para proporcionar una explicación no inmediata.
- d) En algunos casos, es muy recomendable que los problemas se centren en filos no considerados en teoría o prácticas por falta de tiempo. De este modo se consigue un doble objetivo: que los estudiantes apliquen principios de filos familiares a filos no familiares, y que amplíen conocimientos respecto a filos que no han trabajado.

7. *Temporalización*: Actualmente, en la asignatura de Zoología del grado de biología de la Universidad de Valencia se dedican dos sesiones de tutorías-problema al final de cada cuatrimestre (dedicación global: 4 h). En nuestra propuesta a medio plazo se está estudiando la posibilidad realizar clases de problemas repartidas a lo largo del curso en bloques temáticos, tras la

finalización de los temas de teoría correspondientes, con una duración global de 16 horas presenciales (Tabla 2):

8. *Evaluación*: Es importante señalar que la propia estructura de las sesiones hace que exista ya una evaluación incorporada, ya que los problemas se discuten en clase entre los propios estudiantes y con el profesor. Este procedimiento facilita también en gran medida la tarea de corrección por parte del profesor. Idealmente, éste debería corregir los problemas de cada bloque de sesiones durante las dos semanas siguientes a la entrega y, en todo caso, antes de que comenzase el siguiente bloque. De este modo, los estudiantes irían viendo su progreso a lo largo del curso y adquiriendo una mayor destreza a la hora de resolver los problemas.

UNIDADES TEMÁTICAS	TEMAS	DURACIÓN (h)
1	Concepto de zoología, promorfología, ciclos vitales, filogenia	4,0
2	Invertebrados no artrópodos	4,0
3	Artrópodos	4,0
4	Cordados	4,0

Tabla 2. Propuesta de planificación de sesiones de problemas sobre los temas de teoría de la asignatura de Zoología en la Universidad de Valencia. Cada unidad temática se compone de homogéneos de temas e incluye dos sesiones de dos horas.

Como criterios de evaluación de esta actividad sugerimos los siguientes:

- La asistencia a las clases de problema debe ser obligatoria.
- Para calificar cada problema debe primarse que los estudiantes sean capaces de manejar los contenidos trabajados en teoría y prácticas, así como que elaboren argumentos plausibles. Nuestra experiencia con clases de problemas en otras asignaturas indica que los estudiantes pueden desplegar múltiples formas de razonamiento, algunas de ellas divergentes (es decir, que no conducen al lugar común o esperado). A pesar de que esta divergencia no suele proporcionar la solución correcta, la lógica de algunas respuestas es impecable y, por ello, creemos que se debe otorgar también una buena calificación a respuestas incorrectas pero deductivamente válidas. Este criterio sería coherente con la idea de promover la aplicación del conocimiento en los estudiantes, además de premiar su creatividad. Los estudiantes deben sentir que pueden atreverse a pensar, y no simplemente asumir que deben responder como espera de ellos un profesor “convergente”.
- Todos los integrantes del grupo deben recibir la misma nota, pero debe fomentarse la participación activa de todos ellos durante las sesiones.
- En cada sesión, la valoración de cada problema debe depender del tiempo que se proporciona para resolverlo (en definitiva, de su complejidad).

9. *Ejemplos de problemas*. A continuación planteamos 4 problemas tipo de diferente duración para dar pistas sobre la forma de enfocar la actividad. Ha de

tenerse en cuenta que estos problemas son pertinentes para el tipo de contenidos teóricos que se imparte en la UV. Puede que en otras universidades los problemas que aquí planteamos se presenten como simple información factual durante las clases teóricas; por eso los situamos brevemente en el contexto de la UV:

Ejemplo 1. *¿Pueden existir larvas planctotróficas de esponjas? ¿De qué dependería?*

Tiempo de resolución: 10 minutos.

Contexto: El concepto de planctotrofia y lecitotrofia se plantea de forma general en la asignatura, y se da información factual de que las larvas de esponja son lecitotróficas, pero en clase no se da una explicación sobre por qué.

Información adicional del profesor: No se requiere.

Explicación: Esta pregunta conlleva una pequeña trampa, al incluir la segunda pregunta: “¿De qué dependería?”. Los estudiantes pueden estar tentados de dirigir la discusión hacia las ventajas e inconvenientes de la lecitotrofia frente a la planctotrofia, tal y como se plantean en teoría, para aplicarlas al caso de las esponjas. Sin embargo, si se embarcan en esa discusión perderán de vista un hecho más fundamental que ya conocen: las esponjas, tanto en su fase larvaria como adulta, no poseen epitelios verdaderos (aunque esto está en discusión en los ejemplares adultos de algunos grupos). Por lo tanto, las larvas (blástulas) de esponjas no pueden generar un arquenteron cerrado donde pueda producirse una digestión extracelular. Por definición, todas las larvas de esponja deben ser lecitotróficas.

Sugerencia: Esta discusión puede conectarse con aspectos muy interesantes sobre la digestión de presas en esponjas carnívoras.

Ejemplo 2. *El filo Acanthocephala incluye alrededor de 1.000 spp. cuyo estado adulto parasita el intestino (raramente el estómago) de vertebrados. Los acantocéfalos se anclan a la pared del intestino mediante una probóscide espinosa que, estando guardada en un receptáculo, evaginan cuando es necesario. Curiosamente, los acantocéfalos poseen dos esqueletos hidrostáticos, uno en el tronco y otro en el receptáculo-probóscide. Elabora un posible mecanismo de evaginación e invaginación de la probóscide, indicando la disposición muscular que permitiría estos movimientos.*

Tiempo de resolución: 20 minutos.

Contexto: Este filo no se trata en el programa.

Información adicional del profesor: En principio se requiere al menos un esquema anatómico de un acantocéfalo que muestre el cuerpo, la probóscide y el receptáculo, así como al animal anclado en la pared intestinal.

Explicación: Si el receptáculo-probóscide tiene su propio esqueleto hidrostático, esto significa que puede utilizarse con gran independencia del esqueleto hidrostático del tronco (algo que puede deducirse después de haber trabajado la metamerización anelidiana). La probóscide sólo puede evaginarse por contracción del receptáculo (ningún músculo longitudinal podría hacerlo) y, por tanto, el receptáculo ha de tener musculatura circular que ejerza presión sobre el líquido, a modo de manga pastelera. La invaginación sólo es posible mediante un músculo longitudinal que conecte la punta de la probóscide con el extremo distal del receptáculo. Efectivamente, ese músculo existe y se denomina músculo retractor de la probóscide.

Sugerencia: En la discusión puede mencionarse el papel de los lemniscos y del sistema lagunar en la regulación de la cantidad de líquido.

Ejemplo 3. *En las clases de teoría hemos hablado en general de la función de los sacos aéreos en el vuelo de las aves, indicando su papel como estructuras que aumentan la eficacia de la ventilación, refrigeran la musculatura y aligeran el peso del animal. Ahora bien, existen algunos grupos de aves voladoras, como los colimbos (fam. Gaviidae) en los que los sacos aéreos están reducidos y los huesos no están neumatizados, y otras, como los avestruces, que no son voladoras, pero poseen sacos aéreos bien desarrollados. ¿Cómo podrías explicar estas observaciones?*

Tiempo de resolución: 30 minutos.

Contexto: En las clases de teoría se explica el funcionamiento de los sacos aéreos y sus funciones principales en aves voladoras, pero no se discuten las excepciones al patrón general.

Información adicional del profesor: Dependiendo del tiempo asignado al problema (aquí sólo damos una indicación), el profesor puede ofrecer información resumida sobre la evolución de los sacos aéreos. De esta forma, los estudiantes comprobarán que existen sacos aéreos, no sólo en las aves paleognatas, sino también en muchos dinosaurios terópodos. También es aconsejable ofrecer información detallada sobre el tamaño y disposición de los sacos aéreos en avestruces.

Explicación: Los estudiantes deben determinar, en primer lugar, a través de internet o de la información proporcionada por el profesor, si la posesión de sacos aéreos es o no una condición plesiomórfica en las aves actuales. Teniendo esto en cuenta, uno podría asumir, de entrada, que la presencia de sacos aéreos en avestruces es un legado filogenético. Ahora bien, cabe preguntarse si los sacos aéreos son funcionales en esta especie, y uno esperaría que así fuese ya que están bien desarrollados. La respuesta se puede encontrar en la propia presencia de sacos aéreos en dinosaurios netamente terrestres que, sin embargo, aumentaron su eficiencia locomotriz gracias al incremento de ventilación que les suponen la posesión de los sacos. Es decir, ¿los sacos aéreos son una innovación que parece ligada primariamente a la carrera, no al vuelo! Por tanto, un ave corredora como el avestruz conserva un beneficio fisiológico evidente de sus sacos. (Una cuestión que inmediatamente se suscita en este contexto: ¿qué pasa con las ratites poco corredoras, como los kiwis?).

Y ¿cómo se explica la reducción en colimbos? En este caso es importante que los estudiantes indaguen sobre la biología de estas aves para entender si la reducción de los sacos aéreos tiene valor adaptativo. La cuestión clave es que son grandes buceadoras. Una hipótesis plausible es, pues, que la reducción de los sacos aéreos ahorra energía durante el buceo al incrementar la densidad del animal. (Claro que esta pregunta suscita muchas otras: (1) Los sacos aéreos también pueden almacenar oxígeno durante el buceo, ¿no sería esta una buena razón para conservar unos sacos bien desarrollados? La respuesta es fascinante... (2) ¿Se esperan reducciones similares en otras aves buceadoras, p.e., patos – porrones, serretas-, álcidos, etc.?)

Sugerencia: Como puede verse, este problema es muy flexible en cuanto a la cantidad de información que puede proporcionarse, y las derivaciones que pueden plantearse. Además, invita a aplicar el concepto de exaptación en oposición al de adaptación.

Ejemplo 4. *Los gusanos flecha (filo quetognatos) son depredadores activos exclusivamente marinos, fundamentalmente planctónicos, de tamaño moderado, entre 0,5*

y 10 cm de longitud. Como los nematodos, los quetognatos poseen musculatura longitudinal, pero no circular. ¿Cómo se las arreglan para nadar en el plancton y cazar?

Tiempo de resolución: 30 minutos.

Contexto: Este filo no se trata en el programa.

Información adicional del profesor: En principio se requieren diversos esquemas y fotografías de quetognatos para familiarizar al estudiante con este grupo. Los estudiantes también necesitan acceso a internet o que el profesor proporcione información adicional.

Explicación: Cuando se trabaja en teoría el tema de nematodos, se explica con detalle que el plan estructural de este filo está basado en un sistema presurizado en el que el antagonismo se da entre la musculatura longitudinal y la flexibilidad de la cutícula. Posteriormente, en una práctica de disección de *Ascaris* se corrobora este diseño. Es interesante constatar una consecuencia clara: los nematodos de tamaño macroscópico no pueden nadar fácilmente, puesto que les cuesta independizar coordinadamente la ondulación del cuerpo contraponiéndola a la resistencia del agua. ¿Cómo se las arreglan los quetognatos? Para contestar a esta pregunta, los estudiantes deben, en primer lugar, hacer predicciones iniciales sobre cómo debería ser la musculatura, el esqueleto hidrostático y las propiedades elásticas del tegumento de los quetognatos. Después deben buscar información sobre estos rasgos a través de internet (el profesor puede ofrecer pistas sobre cadenas de búsqueda en castellano e inglés). Una vez obtenida la información, se darán cuenta de que los quetognatos (1) presentan tres espacios celomáticos; (2) no están hiperpresurizados; (3) pueden hacer ondulaciones rápidas y eficaces del cuerpo. ¿Cómo lo hacen? ¡Un buen problema para especular constructivamente!

Sugerencia: Hasta la fecha no está claro si la ondulación corporal se produce mediante contracción local de los músculos (de hecho, la musculatura se divide, de forma bastante inusual, en cuadrantes), por algún tipo de “onda de deformación”, o algún tipo de fibra antagonista (similar a la de los nematodos) asociada al esqueleto hidrostático. Por tanto, ¡*sapere aude!*

DISCUSIÓN

Es muy probable que durante el desarrollo habitual de las clases en la asignatura de Zoología surjan espontáneamente cuestiones y problemas que incitan al estudiante a aplicar el conocimiento que va aprendiendo, comprendiendo y asimilando. Por ello, el tipo de problemas que se ha propuesto como ejemplo puede resultar familiar para algunos (o quizá muchos) docentes de la materia. Es necesario insistir, no obstante, en que cualquier pregunta se convierte en un genuino problema de aplicación de conocimiento sólo si el estudiante se enfrenta a información nueva y es capaz de establecer por sí mismo vínculos causales plausibles. En este sentido, muchas de las preguntas que formulamos rutinariamente durante el desarrollo de las clases magistrales participativas son problemas de comprensión más que de aplicación.

En cualquier caso, el principal obstáculo de una vía “espontánea” para fomentar la aplicación del conocimiento es que la deja al albur de la pericia y la buena voluntad del docente. Creemos pues que la originalidad de la propuesta que describimos aquí es que organiza y sistematiza esta estrategia. En otras palabras, (1) plantear una actividad presencial *ad hoc* sobre problemas garantiza que este nivel de competencia lo trabajen todos los estudiantes, de forma

autónoma, y con un tiempo mínimo de reflexión; (2) la elaboración de los problemas por parte del docente se hace de forma reflexiva, buscando coherencia y complementariedad con las clases de teoría y prácticas; (3) idealmente, la preparación de la actividad fomenta el diálogo y el consenso entre todos los profesores implicados en la docencia de la asignatura para proponer y elaborar los problemas conjuntamente.

Otro aspecto que creemos interesante de la propuesta es que respeta el diseño tradicional que comparten prácticamente todas las asignaturas de Zoología de las universidades españolas, donde predomina la combinación de las clases magistrales de teoría y las prácticas. En definitiva, lo que sugerimos es que estas actividades tradicionales se complementen con una dedicación razonable (alrededor de 16 horas de actividad presencial) de una actividad que exige movilizar recursos cognitivos de más calado. No es que creamos que éste necesariamente sea el diseño idóneo de una asignatura de Zoología; lo que sí compartimos es el deseo de que la propuesta sea realista y pueda adecuarse, sin propósitos rupturistas, a las diversas sensibilidades que existen a la hora de concebir la docencia de esta asignatura.

Además, creemos que los beneficios de las clases de problemas en la asignatura de Zoología son evidentes. Más arriba se ha insistido en que el propósito ideal de la educación es abordar los niveles de competencias superiores. La razón es sencilla: cualquier conocimiento tiene una fecha de caducidad muchísimo más limitada que un estilo de pensamiento. Cuando a un estudiante se le incita a resolver problemas nuevos (p.e., respecto a animales de un filo que no conoce), es decir, que aplique lo que sabe, se le está pidiendo que organice sus recursos cognitivos de forma más plástica y adaptable que cuando se le pide que comprenda algo que ya conoce, y más aún que cuando simplemente se le pide que recuerde un contenido (aunque sea de forma relacional). Dicha plasticidad es fundamental para conseguir un aprendizaje autónomo para toda la vida (*long life learning*), uno de los objetivos pedagógicos fundamentales que subyacen en el Proceso de Bolonia. Una elaborada preparación de las clases de problemas puede ayudar a reducir la presencialidad que exige el cubrir programas de clases teóricas llenos de descripción de filos, que a veces pueden resultar extenuantes (en otras palabras, “*enseñar a pescar, no dar el pez*”).

Finalmente, y precisamente en relación con este último comentario, no queríamos dejar de reivindicar la Zoología como una ciencia capaz de ir más allá de la descripción. En ciertos ámbitos de la biología, las ciencias de “sujetos” (como la zoología, la botánica, la protistología o la microbiología) tienden a ser consideradas como meros catálogos descriptivos de organismos, lo cual se ha utilizado a veces para justificar drásticas disminuciones en los créditos asignados a la docencia de estas asignaturas en los nuevos planes de estudios. Ciertamente, la Zoología es una ciencia de sujetos, pero utiliza e integra principios de muy diversas disciplinas para acometer su programa de investigación. Creemos que los docentes deben reivindicar la solidez científica de la Zoología desplazando el énfasis epistemológico desde una ciencia de sujetos hacia una ciencia de principios que se aplican a dichos sujetos (véase, p.e., Gaston and May, 1992; Koehl, 1996; Jenner, 2004; Seilacher, 1991; Wainwright, 1996).

REFERENCIAS

- Anderson, L.W., and Krathwohl, D.R. (Eds.). (2001). *A taxonomy for learning, teaching and assessing: A revision of Bloom's Taxonomy of educational objectives*. Longman, New York.
- Forehand, M. (2005). Bloom's taxonomy: Original and revised. In *Emerging perspectives on learning, teaching, and technology*. M. Orey (Ed.) <http://projects.coe.uga.edu/epltt/>
- Gaston, K.J. and May, R.M. (1992). Taxonomy of taxonomists. *Nature* 356: 281-282.
- Hickman, C.P., Roberts, L.S., Keen, S.L., Larson, A., L'Anson, H. y Eisenhour, D.J. (2009). *Principios Integrales de Zoología*. Ed. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.AU. 14/E. Madrid.
- Koehl, M.A.R. (1996). When does morphology matter? *Annual Reviews on Ecology and Systematics* 27: 501-542.
- Krathwohl, D. (2002). A revision of Bloom's taxonomy: An overview. *Theory into Practice*, 41: 212-218.
- Jenner, R.A. (2004). Accepting partnership by submission? Morphological phylogenetics in a molecular millennium. *Systematic Biology* 53: 333-342.
- Valero-García, M. y Navarro, J.J. (2001). Niveles de competencia de los objetivos formativos en las ingenierías. *VII Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática JENUI*, Palma de Mallorca, Julio 2001.
- Sánchez, J. (Coordinador). 2004. *Libro Blanco del Título de Grado en Biología*. ANECA. 110 pp.
- Seilacher, A. (1991). Self-organizing mechanisms in morphogenesis and evolution. In: *Constructional morphology and evolution*. N. Schmidt-Kittler and K. Vogel (Eds.). Springer-Verlag, Berlin, p. 251-271.
- Wainwright, P.C. (1996). Ecological explanation through functional morphology: the feeding biology of sunfishes. *Ecology* 77: 1336-1343.