

¿Quién mató al dinosaurio? Sherlock Holmes y los fósiles. Algunos escenarios para educación secundaria

Who killed the dinosaur? Sherlock Holmes and the Fossils. Some scenes for Secondary Teaching

LEANDRO SEQUEIROS

Catedrático de Paleontología. Profesor de Filosofía. Facultad de Teología de Granada. C/le: lsequeiros@probesi.org

Resumen El complejo sistema evolutivo de la vida sobre la Tierra está indisolublemente unido a la evolución geodinámica del planeta. Comprender las interacciones entre geosfera, biosfera y noosfera (ese nivel de complejidad propuesto por Vernadsky en 1926) es fundamental para acceder a una percepción holística de la complejidad de la realidad natural. Desde el punto de vista didáctico, se postula en este trabajo que el estudio científico de los diversos aspectos del registro fósil (incluido el aspecto de la metodología científica) puede ser una herramienta poderosa de construcción mental del nuevo paradigma de la Geología Global.

Palabras clave: Registro fósil, geosfera, biosfera, noosfera, evolución, complejidad, Geología Global, epistemología.

Abstract *The evolutive complex life system on Earth appear hardly united to the geodynamical planet evolution. Undestand the interactions between the geosphere, the biosphere and the noosphere (the level of complexity proposed by Vernadsky in 1926) is shown essential to access for a holistic perception of the complexity on natural reality. From the teaching framework, is proposed in this paper that the scientific study of the diverse aspects of Fossil record (included also the scientific methodology) can be a wonderful tool for the mental construction of the new paradigm of Global Geology.*

Keywords: *Fossil record, geosphere, biosphere, noosphere, evolution, complexity, Global Geology, epistemology.*

INTRODUCCIÓN

Hemos titulado este trabajo como *¿Quién mató al dinosaurio? Sherlock Holmes y los fósiles*. Ha parecido aquí que la metáfora de Sherlock Holmes, el personaje creado en el año 1887 por Sir Arthur Conan Doyle (1859-1930), puede ayudar al profesorado a orientar su tarea con los estudiantes. Holmes es un "detective asesor" del Londres de finales del siglo XIX, que destaca por su inteligencia y por el hábil uso de la observación y el razonamiento deductivo para resolver casos difíciles.

Precisamente, educar en la observación y el razonamiento deductivo es un escalón inicial en el desarrollo de la inteligencia investigativa de los estudiantes. En los relatos forenses de Sherlock Holmes todo empieza con un minucioso examen del cadáver y del escenario del crimen.

“-Ya estamos con las deducciones y las inferencias – dijo Lestrade haciéndome un guiño -. Holmes, yo encuentro ya bastante difícil luchar con los he-

chos, sin tener que correr en persecución de teorías y fantasías. –Tiene usted razón, -dijo Holmes con hipócrita seriedad-. Encuentra usted muchas dificultades en luchar con los hechos”. [*La aventura del misterio del valle de Boscombe*]

Sherlock Holmes es el arquetipo de investigador cerebral por excelencia e influyó en gran medida en la ficción detectivesca posterior a su aparición. El trabajo del geólogo (y en especial del paleontólogo) guarda grandes similitudes con el método de Sherlock Holmes: el geólogo y el paleontólogo parten de un problema que se presenta ante sus ojos (la presencia de un determinado grupo de fósiles en un registro geológico, la inexplicable posición de dos unidades geológicas que no encajan, la aparición de unos datos inesperados en un lugar inadecuado)...

Pero dos siglos antes de Sherlock Holmes vivió un naturalista y geólogo que aplicó muy correctamente el método baconiano y que le llevó a importantes avances en el mundo de la geología.

Fig. 1. La historia de la Tierra está escrita en clave mineral en el registro geológico. Fragmento del flysch de Algeciras en la playa (foto tomada en 1979).



Se trata de Nicolás Steno (1638-1686). En el *Canis Carchariae* (1666) y en el *Prodomo* (1668) establece hipotéticamente los principios elementales que constituyen las bases de la Geología como ciencia y deduce de ahí importantes conceptos que le permitirán presentar el primer trabajo de geología histórica referente a reconstrucción en el tiempo de lo que es la Toscana. Por eso se sugieren a lo largo de este trabajo diversas actividades pensadas, en general, para educación Secundaria que, en cada caso, el profesorado valorará los ajustes que conviene introducir para adecuarlas a las características de su alumnado y/o de su centro.

LOS MUERTOS HABLAN

“Datos, datos, datos... no puedo hacer ladrillos sin arcilla” [Sherlock Holmes, *El misterio de Cooper Beeches*]

Un fósil no es solamente un objeto curioso que ocupa un espacio en la vitrina del coleccionista. Es un elemento material que esconde dentro de él mismo una ingente cantidad de información que debe ser decodificada (Sequeiros, 2001b). Informan sobre su biología a partir de un minucioso trabajo de observación de los hechos actuales.

Por lo general, los estudiantes tienen mucha dificultad (inherente a su inmadurez) para poder acercarse de modo objetivo a lo que hemos llamado la tozudez de los hechos. Saltan con excesiva facilidad de los hechos a la interpretación, con frecuencia irracional. El imaginario del orden preestablecido del universo, les hace caer en interpretaciones no científicas de la realidad.

El primer paso para acompañar a los estudiantes en este proceso de reconstrucción de la vida del pasado a partir de los datos del registro geológico, debe ser adiestrarlos en la competencia de observar la realidad, intentar definirla racionalmente y –dentro de sus posibilidades– facilitarles herramientas de cuantificación (Figura 1).

Sugerencias de actividades

1 – Con ayuda de los TIC’s se puede invitar a los estudiantes a acercarse a algunos datos de actualidad: por ejemplo, en estos días (marzo de 2010) la prensa e internet se han hecho eco de los nuevos

yacimientos de fósiles. Que los alumnos elijan algunos de los artículos y hagan una reflexión escrita: ¿qué es lo que se trata ahí? ¿qué son los fósiles? ¿es fácil encontrar fósiles? ¿cómo crees que han llegado hasta nosotros? Después poner en común los resultados. Y hacer un póster.

2 – Visita a un Museo de Paleontología. Si no hay ningún Museo cerca, se puede girar una visita virtual a un museo de Paleontología: en internet hay 245.000 entradas para “museo de paleontología” y 81.000 para museos de paleontología en España. Los alumnos en grupo eligen alguno de los museos, giran la visita virtual y elaboran un informe de la visita: ¿qué has encontrado que no conocías? ¿qué te dicen esos fósiles?

3 – Una actividad que se ha realizado con fruto en Huelva, ha sido el estudio cuantitativo de la acumulación de conchas actuales en las playas. Acotando un metro cuadrado, los estudiantes deben observar y anotar los tipos diferentes de conchas, su estado de conservación, su tamaño (se pueden medir algunos parámetros para construir los histogramas de frecuencia y comparar los datos de unos y de otros)... Dejo aquí a la creatividad del profesor sacar partido a todas las cosas que se pueden hacer y que, posiblemente, motiven a los estudiantes. Más datos en Mayoral (2008).

4 – “El paleontólogo Eduardo Mayoral (Universidad de Huelva) encontró al norte de la provincia de Sevilla, en los alrededores de Constantina (buscar en internet la ubicación) unas rocas muy antiguas en las que había unas huellas de gran tamaño. Buscarlas en internet ¹. Intentar describirlas. Los expertos las han interpretado como huellas de medusas de hace casi 500 millones de años. ¿Por qué dicen que son medusas? ¿Cómo han podido llegar hasta allí? ¿Qué harías para estudiarlas? (Más datos en Mayoral, Liñán, Gámez-Vintaned y Gozalo, 2008).

¿QUÉ MATÓ A LOS FÓSILES?

“Watson, parece que hemos caído en una mala época” [Sherlock Holmes, *El detective moribundo*]

Sherlock Holmes observa cuidadosamente el cadáver. Un cadáver es un cuerpo muerto. Pero si hay cadáver con un agujero, posiblemente es porque alguien le ha disparado. Hay una relación causa-efecto. ¿Todavía no entramos en las motivaciones del crimen.

La muerte biológica es una realidad que no se puede ocultar. Todo ser vivo tiene una fecha de caducidad. En algunas ocasiones, esa muerte se precipita por una enfermedad o un desajuste a las condiciones cambiantes del medio.

¹ Por ejemplo, http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Patrimonio_Natural._Uso_Y_Gestion/Espacios_Protegidos/publicaciones_renpa/investigacion_cientifica_s_norte/05_medusas.pdf



Por eso, es muy importante estudiar el escenario del posible crimen. Las causas que precipitaron la desaparición de un ser vivo del que, millones de años más tarde, puedo conocer sus trazas de actividad orgánica. Millones de años más tarde podrían saber quién mató al dinosaurio.

En un artículo anterior (Sequeiros, Berjillos y Pedrinaci, 1996) presentamos la actividad “¿Quién mató al dinosaurio?”. A partir del registro de las improntas de dinosaurios sobre las rocas hay que seguir las pistas para descubrir el hecho de la muerte y al autor del crimen.

Algunas sugerencias de actividades

1 – Las trazas de la actividad orgánica de la vida del pasado nos pueden dar datos de gran interés sobre el proceso de muerte de los organismos antiguos. El estudio de las pistas de organismos sobre sedimento blando, permitieron a Fernando Muñoz Guinea (1998), realizar su tesis doctoral en Lepe (Huelva). En una región cercana a la actual costa de Huelva, las playas de La Antilla, aparecen antiguas playas fosilizadas. En este escenario de aguas someras vivía hace unos cinco millones de años una gran cantidad de bivalvos, gasterópodos, crustáceos y otros seres vivos que tejieron complejas redes de madrigueras que han logrado fosilizar. *El famoso Gyrolithes estudiado por Guinea (1998) es un material excelente a partir del cual hacer inferencias científicas (o ayudar a los alumnos a que practiquen esa cosa tan escasa que es la racionalidad). ¿Cómo se pudo formar esa madriguera? ¿Quién la pudo formar? Buscar en internet (youtube) información sobre “cangrejos violinistas”.*

2 – Otro escenario en el que se desarrolla el drama de la vida. En él se han inferido propuestas explicativas sobre el famoso yacimiento de fósiles vertebrados de Las Higuieruelas, en Alcolea de Calatrava (Ciudad Real) (Figura 2). Aquí la actividad volcánica se combinó con cambios climáticos para dar lugar a la muerte de antiguos mastodontes, ciervos, caballos, rinocerontes, etc. En este yacimiento, los paleontólogos excavaron una gran cantidad de restos óseos, desde mastodontes a peces. A partir de los fragmentos óseos dispersos en el

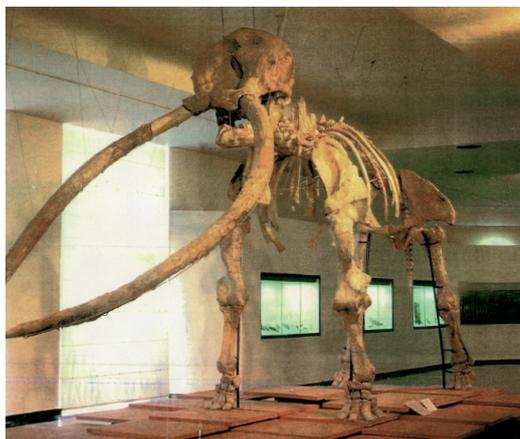


Fig. 2 Izquierda. El registro fósil contiene información muy valiosa sobre los seres vivos y su medio natural. Excavación en Las Higuieruelas (Campo de Calatrava). Una historia de hace tres millones de años.

yacimiento se lograron separar grupos de seres vivos, y con los abundantes fragmentos se pudo reconstruir el esqueleto de un gran mastodonte *Anancus arvernensis*, que es la pieza estrella del Museo provincial de Ciudad Real (Figura 3). A partir de estos restos se ha intentado una reconstrucción ecológica (Figura 4).

LAS HUELLAS DEL CRIMEN

“En este punto penetramos en el terreno de la conjetura, donde hasta la inteligencia más lógica puede fallar” [Sherlock Holmes, *La casa vacía*]

El paleontólogo Sherlock Holmes no sólo infiere que el muerto está bien muerto, sino que pretende buscar más huellas del crimen. En otro escenario diferente, Mayoral (2008) lleva muchos años reconstruyendo ambientes antiguos a través de fósiles corporales y rastros de la actividad orgánica.

Sugerencias de actividades

1 – Eduardo Mayoral ha presentado un modelo que puede trabajarse en clase sobre las huellas de la mortalidad. Ha estudiado, incluso, los vestigios de canibalismo y depredación entre moluscos durante el Terciario y Cuaternario (Figura 5). Otros autores (Liñán, Gámez, Gozalo y otros, 2009) han querido ver en el caso de los artrópodos que la debilidad corporal en épocas de muda, los hace especialmente vulnerables a la depredación. *Buscar en*

Fig. 3 Derecha. Los paleontólogos reconstruyen los seres vivos del pasado a partir de los restos encontrados en el registro geológico. En la figura: reconstrucción de un *Anancus arvernensis*, mastodonte con defensas de tres metros, procedente del yacimiento de Las Higuieruelas. Museo provincial de Ciudad Real.

Figura 4.- Reconstrucción paleoambiental del yacimiento de Las Higuieruelas (Alcolea de Calatrava), a partir del registro geológico.

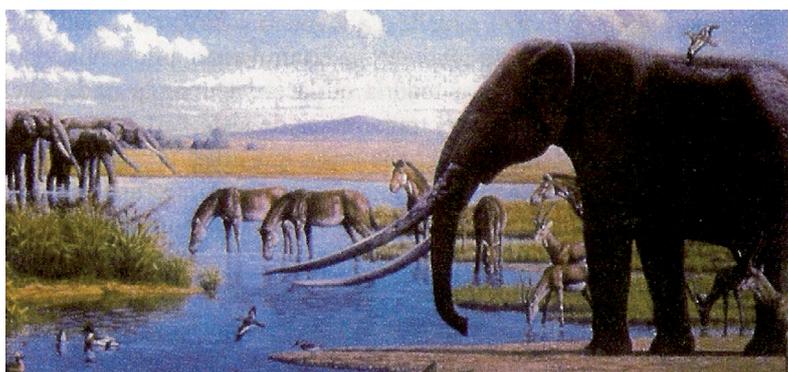


Fig. 5. Diversas estructuras de depredación sobre conchas de moluscos. *Oichnus* (orificio de trompa de gasterópodo) sobre el bivalvo *Dosinia*. Pleistoceno de Isla Coronado, Baja California, México (cortesía de Eduardo Mayoral)



internet² información sobre estas huellas de mortalidad. Comentar en grupo qué ha pasado ahí. ¿Cómo haríais para investigar el caso?

2 –Nuevas técnicas de Tomografía Axial Computarizada aplicada a los fósiles (Zamora y Rahman, 2009) pueden ser utilizadas en clase para investigar las causas de la muerte de seres vivos del pasado. *Buscar en la revista Naturaleza Aragonesa estos fósiles tridimensionales. Buscar en internet³ nuevos datos. ¿qué podemos saber de sus partes blandas? ¿Cómo reconstruir la biología de las partes blandas que se han podrido? ¿Cómo se alimentaban? ¿Cómo respiraban? ¿Cómo se reproducían?*

DE CUERPO PRESENTE

“La verdad es que ya no sé por qué razón no es todo el fondo del mar una masa sólida de ostras, teniendo en cuenta lo prolíficas que son” [Sherlock Holmes, *El detective moribundo*]

Si Sherlock Holmes estudia el cadáver de un desconocido, le interesa conocer cómo fue su vida para poder inferir las causas de su muerte natural o violenta.

Los paleontólogos intentan, a veces sin demasiado éxito, reconstruir e inferir el modo de vida, la biología de seres vivos del pasado que hoy no tienen representantes. Y deben extrapolar datos biomecánicos y de morfología funcional para hacer revivir –aunque sea de forma virtual- la vida de un organismo a partir de sus restos fósiles.

En este capítulo, el profesorado debe ser muy consciente de las limitaciones del trabajo detectivesco de los paleontólogos. Sherlock Holmes trabaja con cuerpos muertos que acaban de morir. En nuestro caso, nuestra pretensión de dar vida traspasa las barreras de millones de años (Sequeiros, 1991).

² Por ejemplo, <http://www.mundo-geo.es/viajes-y-expediciones/expediciones/hallan-el-yacimiento-con-los-mayores-trilobites-del-mundo>

³ Por ejemplo, <http://www.elmundo.es/elmundo/2009/05/29/ciencia/1243598072.html>

Los paleontólogos profesionales dan hoy mucha importancia a una rama emergente de las ciencias geobiológicas que es la Tafonomía: el estudio de los procesos físicos, químicos y biológicos que afectan a un cadáver desde su muerte hasta que hoy lo podemos observar y estudiar dentro del registro geológico. Y tal vez los profesores no tengan que insistir mucho en esto. Pero deben tener muy en cuenta que el camino que lleva del fósil actual al vivo pretérito es tortuoso. Muy diversos procesos físicos, químicos y biológicos pueden haber modificado, encubierto, distorsionado y amplificado la información que puede inferirse de una simple ojeada al objeto fósil.

ENTERRADO Y BIEN ENTERRADO

“¡Vamos, Watson, vamos! Ya está alzada la pieza de caza” [Sherlock Holmes, *La aventura de la granja Abbey*]

Cada año fallecen muchos millones de seres vivos. Unas mil especies desaparecen cada año y sólo unas 200 especies aparecen nuevas. La crisis de biodiversidad está servida.

Sugerencias de actividades

1 – El año 2010 es el año mundial de la biodiversidad. Se intenta sensibilizar a la opinión pública del riesgo que supone para el equilibrio global biológico del planeta la pérdida de diversidad. *¿Sabéis lo que es la biodiversidad? ¿de dónde viene esa palabra? Buscar en Internet⁴ información. Hacer un trabajo sobre las actividades organizadas en el mundo. ¿Qué podemos hacer nosotros para preservar la biodiversidad? ¿Conoces alguna especie amenazada? ¿Capturas reptiles, mariposas...? ¿Qué sabes del lince ibérico?*

2 – De las especies que han existido a lo largo de millones de años, sólo una mínima parte logra fosilizar. El 99.9 % de los seres vivos no deja rastro alguno en el registro geológico. El archivo de la Tierra es enormemente incompleto, como ya Darwin mostró. Por ello, la información que nos ha llegado saltando millones de años es fragmentaria, sesgada y distorsionada. Los paleontólogos dan mucha importancia a los procesos taxonómicos en el intento de “dar vida” a sistemas biológicos pretéritos. *Un escenario en el que los alumnos pueden estudiar algunos de estos complejos procesos es la Mesa de los Escalones, a pocos kilómetros de la ciudad de Córdoba. Los materiales pizarrosos y arcillosos del Carbonífero plegado y posteriormente erosionado contienen vestigios de épocas lacustres y marinas. Bivalvos, trilobites, grandes braquiópodos anclados al fondo fangoso y otros seres vivos permiten estudiar los*

⁴ Por ejemplo, <http://www.monografias.com/trabajos11/bioltrece/bioltrece.shtml>

procesos físicos (acarreo post mortem de los organismos), biológicos (carroñeo, parasitismo, comensalismo...) y químicos (corrosión, mineralización...) sufridos. Incluso puede observarse una superficie de estratificación de varios metros cuadrados en la que han quedado "archivadas" rizaduras. ¡Restos de oleaje de hace 300 millones de años! Tenerlos en cuenta es fundamental para no dar un salto imprudente desde el estudio actual del cadáver (o de sus restos) y su súbita reconstrucción.

MOVERSE DESPUÉS DE MUERTO

"Una vez eliminadas todas las demás posibilidades, la única que queda tiene que ser la verdadera" [Sherlock Holmes, *El signo de los cuatro*]

Determinados detalles del cadáver permiten a Sherlock Holmes inferir si el cuerpo ha sido movido a otro lugar después de la muerte. A veces son pequeños detalles (manchas de sangre, roces, pelusas adheridas, cabellos...). Son las pistas para inferir si el cadáver fue movido de su lugar tras la muerte.

Actividades sugeridas

1 – No siempre la presencia de un fósil en una formación geológica demuestra las características del medio en que se encuentra. Un caso muy clásico es el de los ammonites, cefalópodos con concha espiral externa. Estos moluscos tenían (como los actuales calamares y el *Nautilus* del Capitán Nemo de Julio Verne) una gran capacidad de desplazamiento por los mares (podían recorrer cada año miles de kilómetros para aparearse y reproducirse). Pero además, una vez muertos, sus conchas vacías (o llenas de los gases de putrefacción) flotaban con facilidad y las corrientes marinas podían desplazarlos a miles de kilómetros de donde murieron (Sequeiros y Cariou, 1984). *¿Qué sabes de la vida de los Nautilus? En youtube hay películas sobre la vida de los Nautilus. ¿Cómo nadan? ¿En qué se diferencian de los moluscos gasterópodos? ¿Cuál es la estrategia vital de los caracoles y la de los Nautilus? ¿Cuáles son más eficaces?*

2 – Los paleontólogos expertos han creado una compleja terminología para sistematizar estos fenómenos y los agrupan bajo una nueva disciplina: la bioestratinomía. Incluso los más expertos han creado el concepto de *tafón* (paralelo al de *taxón*) para incluir al conjunto de fósiles que han sido acumulados bajo las mismas condiciones físicas. Esto es necesario que lo sepa el profesorado. *Pero no hace falta cargar en exceso al alumnado con estas cuestiones. Es suficiente con que diferencien entre fósiles "en posición de vida", como sucede con los arrecifes de coral o algunos moluscos de infauna (como las *Pholadomya* del Jurásico de España, que taladran fondos duros y quedan fosilizadas "in situ"). La figura 6 muestra una reconstrucción de*

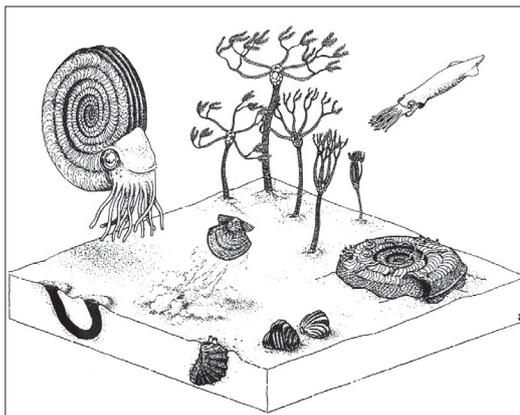
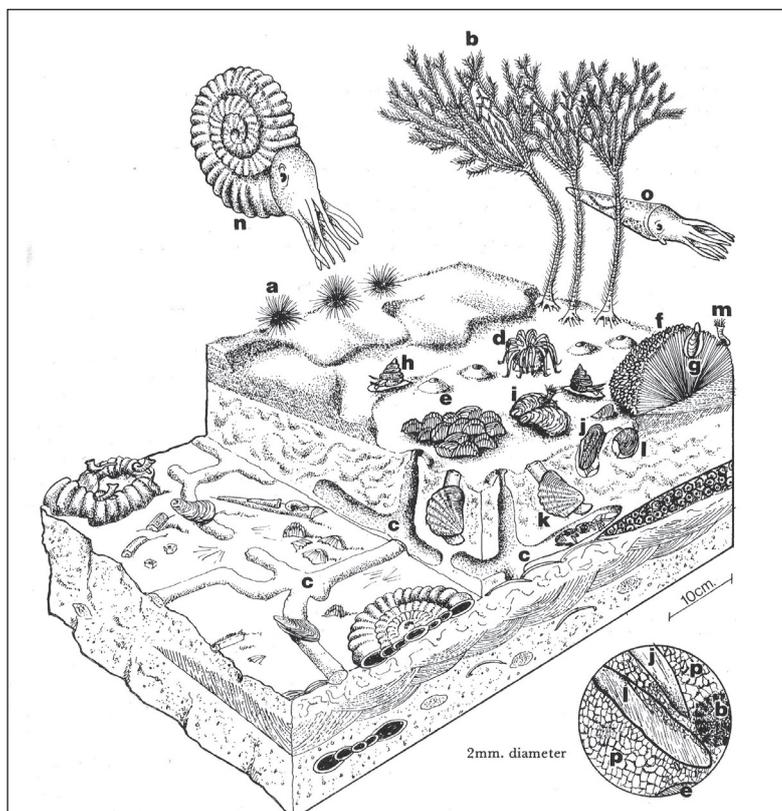


Fig. 6. Reconstrucción paleoecológica de una comunidad del Jurásico inferior margoso de Ricla (Zaragoza). Organismos depredadores: los cefalópodos (bien de concha externa, como los Hildoceras, bien de concha interna, como los belemnites). Organismos sésiles de epifauna filtradora: crinoideos (*Pentacrinus*) y braquiópodos. Organismos libres de epifauna (bivalvos). Organismos de infauna: bivalvo perforante y rastro de artrópodos o de gusanos. Obsérvese la concha de ammonites en el fondo que está siendo colonizado por epizoos (serpúlidos, gusanos tubícolas). (McKerrow, 1978).

un fondo marino. *¿Cómo sobreviven las formas? Se sugiere a los estudiantes compararla con la figura 7. Los alumnos pueden intentar explicar cómo unas almejas taladran los fondos endurecidos del mar. ¿Cómo podían vivir? ¿Cómo se alimentaban? ¿De dónde obtienen el oxígeno para respirar?*

3 – En la región de Almonacid de la Cuba (Zaragoza, cerca de Belchite) hemos estudiado otro escenario singular (Sequeiros, L., Cólera, I., Valenzuela, R. y Sánchez, I., 1978). La secuencia estratigráfica es muy potente para el Jurásico inferior. En algunos niveles litológicos, constituidos por calizas areniscas muy bioturbadas, son frecuentes los bivalvos cementados al antiguo sustrato, los que tenían gran tamaño y vivían sobre el fondo y los perforantes de infauna. *¿Conoces algún organismo de epifauna? ¿y de infauna? ¿qué diferentes estrategias de supervivencia tienen los de epifauna? Construye un bloque diagrama o diseña una maqueta.*

Fig. 7. Reconstrucción de una comunidad del Jurásico de fondo formado por calcarenitas.



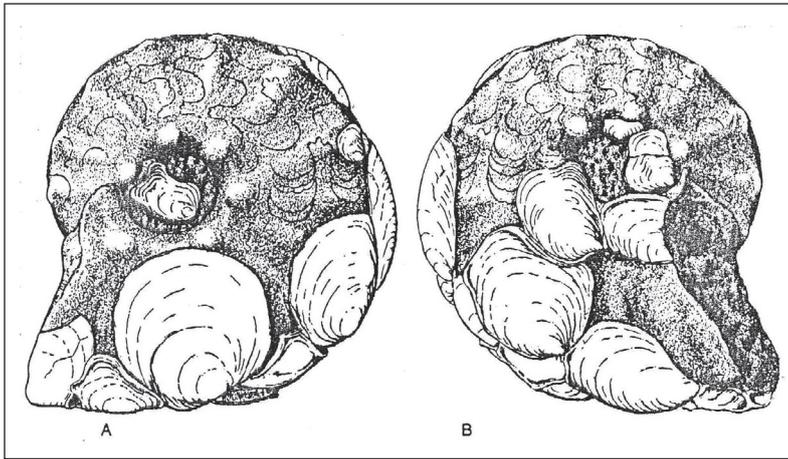


Fig. 8. Concha de ammonoideo con ostras adheridas. Se puede inferir si las ostras se adherieron antes o después de la muerte del huésped. Si se encuentran cerca de la apertura, es que aprovechaban los flujos de corriente de los sifones para alimentarse. Si las ostras se sitúan sólo sobre una cara, se infiere que el huésped ya estaba muerto y descansaba de costado en el fondo marino.

4 – En el escenario de Belchite (Zaragoza) y dentro del Jurásico inferior (Sequeiros y Mayoral, 1999) los grandes bivalvos *Plagiostoma* están densamente colonizados por briozoos, serpúlidos, larvas de bivalvos y braquiópodos, equinodermos... En algunas ocasiones, la colonización se observa en el interior de la valva. Pero por lo general, es el exterior de ambas valvas juntas lo que presenta tal colonización (Figura 8). En ocasiones, los epibiontes (epizoos y epifitos) se sitúan preferencialmente cerca de la comisura de las valvas. Se infiere que, al menos en parte, la colonización fue en vida de estos bivalvos, que vivían sobre el fondo (al menos en parte) y cuyos epibiontes se alimentaban aprovechando las corrientes de agua de los sifones. Buscar en el diccionario o en Internet ⁵ estos conceptos. ¿Conoces casos concretos de seres vivos? La figura 9 presenta unas conchas fósiles de cefalópodos con unos bivalvos adheridos. ¿Cómo interpretarlo? ¿Crees que se adherieron en vida del cefalópodo o después de muerto?

LA VIDA PRIVADA DEL DIFUNTO

“Una o dos veces, en el transcurso de mi carrera, he experimentado la sensación de que, descubriendo al criminal, he causado un daño más auténtico que el causado por él con su crimen” [Sherlock Holmes, *La aventura de la granja Abbey*]

Los paleontólogos encuentran restos dispersos. A partir de ellos, se presenta la dificultad de reconstruir su vida, sus estrategias de supervivencia, de satisfacer sus necesidades de alimentación, de reproducción y de no ser depredados por otros. Este es un reto muy interesante para el Sherlock Holmes paleontólogo.

Actividades sugeridas

1 – En 1979, quien esto escribe encontró en unos niveles rojos margosos en Moneva (Zaragoza) un numeroso grupo de cefalones (esqueleto de la cabe-

⁵ Por ejemplo, <http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/revvetmex/a2006/fvmv37n4/fvm37403.pdf>

za de los artrópodos) de un tamaño inferior a un centímetro. Estos cefalones tenían una particularidad: observándolos con atención semejaban el rostro de un ser humano. O más exactamente, las máscaras de los actores de los teatros griegos. Por eso, los paleontólogos los denominan “cangrejos máscara”. Del hecho de que nunca se han encontrado fragmentos del tórax, del abdomen, ni de las extremidades, se infiere que sólo tenían cutícula en el cefalón. Esto ha llevado a la conclusión de que posiblemente se trate de cangrejos ermitaños que ocupaban alguna concha de ammonites que había muerto. Este dato ha sido estudiado junto al mejor experto en la materia (Vía y Sequeiros, 1989, 1993).

Actividad: el profesor puede mostrar las fotografías de los fósiles a los alumnos.

-¿Sabéis qué es esto? –Profe, parece un fósil.

-¿A qué se parecen estos fósiles?

-¿Había máscaras humanas hace 150 millones de años?

-Esto se encontró en un yacimiento junto con fósiles marinos ¿qué quiere decir?

-¿A qué grupo de seres vivos pudo pertenecer?

¿Animal o planta? ¿Vertebrado o invertebrado? ¿Molusco, coral, gusano, insecto, crustáceo?

-Si es el cefalón de un crustáceo, ¿dónde está el resto del cuerpo?

-Conoces algún crustáceo del que se conserva el cefalón y el resto del cuerpo?

Se les puede mostrar una foto de un trilobites (o que lo busquen en Internet) ⁶. Si no está el resto del cuerpo (como parece que sucede aquí), ¿qué es lo que ha podido pasar? Los alumnos elaboran hipótesis: “habrá que buscar más”, “no tenían esqueleto duro en el cuerpo”, “no ha fosilizado el cuerpo duro”...

-¿Conoces algún crustáceo de cefalón duro y cuerpo sin esqueleto? Buscar en internet los cangrejos ermitaños... (Figura 9)

-¿Crees que puede ser resto de un cangrejo ermitaño?

-¿Dónde crees que podrían vivir?

2 – Hasta el momento, Sherlock Holmes ha observado un solo cadáver. El paleontólogo ha observado en el campo una forma familiar que interpreta como un resto mineralizado de seres vivos pretéritos. Pero ¿y si hay varios cadáveres juntos? En este caso, el método de observación e inferencia debe adaptarse a las nuevas situaciones. Con los restos fósiles sucede algo similar. Los paleontólogos no pueden inferir demasiadas cosas de un solo individuo. Por lo general, la ciencia de los fósiles necesita estudiar un grupo lo más amplio posible de individuos que se encuentran en el mismo estrato. Ello

⁶ Pueden encontrarse en http://www.google.es/images?hl=es&q=trilobites+fósiles&rlz=1W1GFRE_es&um=1&ie=UTF-8&source=univ&ei=5YP7S7jxDcet4QbChcmmAg&sa=X&oi=image_result_group&ct=title&resnum=4&ved=0CD8QsAQwAw



Fig. 9. Cangrejo ermitaño (pagúrido) habitando una concha vacía. Los ermitaños sólo tienen esqueleto calcificado en la parte externa (cefalón y apéndices). El resto del cuerpo está mal protegido por esqueleto, por lo que no suele fosilizar. Se puede comparar con un trilobites, en el que todo el cuerpo está cubierto de esqueleto. Fuente: Wikipedia.

no quiere decir que tengamos así una “familia” de organismos que vivía simultáneamente (Figura 10). Un estrato puede contener información que corresponde a miles o millones de años.

Volviendo al escenario de Belchite y de Almonacid de la Cuba, en Zaragoza (Sequeiros, L., Cólera, I., Valenzuela, R. y Sánchez, I., 1978), encontramos un nivel bien diferenciado en el que hay una enorme acumulación de bivalvos de pequeño tamaño. Por anatomía comparada, se infiere que estas *Plicatula spinosa* era una especie epiplanctónica (vivían adheridas a masas de algas) que al morir caían masivamente a un fondo blando donde quedaban enterradas.

Conocer la vida privada del difunto exige conocer su parentela, sus ascendientes y sus descendientes para reconstruir por inferencia los patrones comunes de comportamiento, su posición social, etc.

3 – En el escenario de Ricla (Zaragoza) se ha podido estudiar una extensa sucesión (tanto en número de estratos, unos 200, como de continuidad temporal de varios millones de años). Esta secuencia sedimentaria tiene suficiente continuidad (dentro de la habitual falta de sedimentos que aparece en toda serie estratigráfica) y por ello, hemos podido recoger información relativa a sucesiones de poblaciones monoespecíficas. En este caso, nos situamos en el período Calloviense, hace unos 150 millones de años. Uno de los taxones más característicos, más abundantes y que más aprisa evolucionan son los *Macrocephalites*. Precisamente señalan bioestratigráficamente el inicio del Calloviense. El paleontólogo Sherlock Holmes, recogerá datos de gran interés: tamaño de los individuos, presencia de dimorfos, abundancia de mortalidad infantil, transporte post mortem de las conchas, procesos de mineralización, influencia de los tapices de bacterias en la conservación de las conchas, etc. Las inferencias deducidas de todos estos datos son importantes



Fig. 10. Vista general del Jurásico marino de Los Costados en Ricla (Zaragoza). Contiene millones de años de información sobre la vida en el pasado, su diversidad, su ecología y su evolución. Obsérvese la continuidad lateral de los estratos.

para una reconstrucción biológica de la composición de la comunidad, purificada de otras informaciones (las tafonómicas) que deforman y desvirtúan la realidad pasada.

4 – Un estudio muy interesante ha podido ser realizado en el escenario de la Sierra Norte de Sevilla (Mayoral, Liñán y otros 2008). La acumulación de rastros de antiguas esponjas del Cámbrico aporta luz –purificada de los datos tafonómicos– sobre la biología de estos celentéreos de hace 500 millones de años.

5 – En la Cordillera Bética, en Andalucía (Figura 11) la abundancia de fósiles y la buena secuencia estratigráfica permiten con frecuencia estudios de gran precisión. Una adecuada metodología permite reconstruir la vida privada de los fósiles para poder llegar a nuestro objetivo: la reconstrucción de los antiguos escenarios biológicos inferida de los datos que el paleontólogo Sherlock Holmes puede obtener.

UN MUERTO BIEN VIVO

Los individuos mueren, pero las poblaciones sobreviven y cambian con el tiempo.

“Watson, todos aprendemos con la experiencia, y la lección que usted debe sacar es que nunca hay que perder de vista la alternativa” [Sherlock Holmes, *El negro Peter*]

Los seres vivos sólo se entienden dentro de una entidad más amplia, una comunidad de genes compartida que se perpetúa en la descendencia. Aunque con frecuencia hay errores de duplicación. Un hijo no es la fotocopia de los padres. Pero hay un “aire



Fig 11. Secuencia estratificada del Jurásico marino del sur de Córdoba. Cada estrato contiene información correspondiente a unos 300.000 años... El conjunto puede tener varios millones.

de familia” que atraviesa el tiempo, “este niño se parece al abuelo”.

En la naturaleza el parecido morfológico (que con frecuencia coincide con un patrimonio genético similar) puede perpetuarse millones de años. Es un “linaje” genético. Una rama común de semejanzas morfológicas y genéticas. Pero el Sherlock paleontólogo sólo encuentra cadáveres sin genes. Las únicas “pruebas” son de tipo morfológico. Tiene que comparar entre sí los caracteres externos para inferir si pertenecía al mismo grupo o población.

Sugerencias de actividades

1 – Vamos a acercarnos a un escenario que al autor de este trabajo le es familiar: el escenario de los materiales del Jurásico de la Cordillera Ibérica, en la provincia de Zaragoza. El riguroso clima aragonés es un tormento para los agricultores, pero una bendición para los paleontólogos. En los alrededores de Ricla (Zaragoza, cerca de La Almunia de Doña Godina), en Belchite, en Aguilón y en Moneva, la escasa vegetación, la ausencia de una tectónica vigorosa y la acción intermitente de arroyadas ha dado lugar a un paisaje singular. El frío ha triturado la caliza y el agua de lluvia lava y disuelve las superficies. Gracias a esta acción físico-química, el paleontólogo puede observar cientos de metros sucesivos de estratos rocosos perfectamente identificables en el campo. Más de una vez nos han tildado de locos por dedicarnos a numerar con pintura resistente amarilla la larga secuencia de estratos. Cientos de páginas pétreas depositadas en un fondo marino de plataforma durante varios millones de años.

El profesorado debe realizar con los estudiantes, si es posible, una recogida estrato a estrato de fósiles. O visitar un yacimiento arqueológico, en el que la atenta recogida de información capa a capa es esencial.

LOS MUERTOS GOZAN DE BUENA SALUD

“Es muy posible que el hecho de poseer, como yo poseo, ciertos conocimientos especiales y ciertas facultades especiales, le empuje a uno a buscar explicaciones complicadas teniendo a mano una explicación sencilla” [Sherlock Holmes, *La aventura de la granja Abbey*]

Los teóricos de la paleobiología suelen diferenciar entre paleoautoecología y paleosinecología. Claramente, los trabajos de McKerrow ya citados (1978) se refieren a esto último. Pero desde el punto de vista de una correcta y rigurosa metodología científica conviene iniciar la reconstrucción de los escenarios ecológicos por el paso primero: la paleoautoecología.

Algunas actividades sugeridas

1 – En este apartado hemos citado algunos términos científicos que, al menos, deben sonar a los estudiantes. En un diccionario de familias etimológi-

cas⁷ buscar el significado inferido de la etimología de los conceptos de paleobiología, paleoautoecología, paleosinecología, biotopo, monoespecíficos, braquiópodos, sésiles, crinoides, oportunista, epiplanctónicos, improntas, Arqueociatos, mamíferos, dinosaurios, rudistas.

2 – Algunos de los escenarios con los que los profesores pueden trabajar son los siguientes: En La Rioja, visita (real o virtualmente) los yacimientos de pisadas de dinosaurios. En las estribaciones de la Sierra de Córdoba (en las cercanías de Las Ermitas o a lo largo del Arroyo Pedroche en la carretera Córdoba-Badajoz) reconocimiento de poblaciones monoespecíficas de Arqueociatos del Cámbrico inferior estudiados desde hace más de 30 años por el profesor Antonio Perejón (CSIC, Departamento de Paleontología de la Universidad Complutense). En la provincia de Soria, en Torralba y Ambrona: estudio in situ de excavaciones de mamíferos del Pleistoceno. En Aragón, en el Jurásico de Ricla, Belchite, Aguilón, Moneva, etc. Determinados niveles del registro geológico están constituidos por lo que los geólogos llaman una *lumaquela*: acúmulos del braquiópodo posiblemente epiplanctónico *Gibbirrhynchia* en Josa (Teruel), praderas de crinoides en el Jurásico de Belchite (Zaragoza), etc.

3 – *Elige alguna de las poblaciones de fósiles citadas. ¿Cómo debió ser la estructura de la población para sobrevivir? ¿Hay selección natural? ¿Qué es la selección natural?*

LA BUENA VIDA DEL BIEN MUERTO

“Un cliente es una unidad, un factor más del problema” [Sherlock Holmes, *El signo de los cuatro*]

Un paso más en el complejo estudio de la reconstrucción de escenarios ecológicos antiguos es lo que los expertos denominan estudios sinecológicos: se trata de establecer modelos ecológicos inferidos a partir del registro fósil. En estos estudios (muy complejos para los ecólogos profesionales por el artificio matemático necesario) se expresa algorítmicamente el flujo energético entre los componentes de sistemas ecológicos complejos, así como las relaciones de dependencia entre los individuos y poblaciones que intervienen dinámicamente en el ecosistema.

En nuestro caso, el trabajo detectivesco va a estar más simplificado.

Algunas actividades sugeridas

1 – Tal vez un escenario que puede tener interés didáctico es el que se refiere a los yacimientos paleontológicos de Orce (Granada), y sobre el que hay abundante información en internet⁸. Sobre esto ha

⁷ http://www.ugr.es/~didlen/publicaciones/Educ_literaria_contents.pdf

⁸ Por ejemplo, <http://blogs.publico.es/ciencias/general/677/orce-30-anos-despues/>

presentado estudios el profesor Paul Palmquist de la Universidad de Málaga. *¿Cómo era la zona de Orce hace dos millones de años? ¿Qué animales vivían aquí? ¿Cómo se ha podido reconstruir el escenario ecológico de esa época?*

2 – Otro ejemplo más elaborado teóricamente es el establecido por Calvo y Gil Bazán (1997). Sistematizan los elementos que intervienen en el ecosistema complejo. Sugerimos dos tipos de actividades productivas y formativas para los estudiantes: a) *Estudio cuantitativo de los componentes de un ecosistema del pasado a partir de los restos encontrados: En el Jurásico inferior de Ricla hemos encontrado 650 braquiópodos, 36 crinoideos, 28 ammonites, 120 belemnites, 45 bivalvos nadadores (pectinidos y chlamys), 12 bivalvos de infauna, 12 bivalvos cementados al fondo (ostreidos). Establecer las interacciones entre depredadores y filtradores.* b) *Construir un bloque diagrama paleoecológico inferido de estos datos.*

El profesor McKerrow elaboró en 1978 unos didácticos bloques diagrama ⁹ para el Jurásico que pueden ser completados y compuestos por los alumnos a partir de sus propios datos.

LA VIDA PRIVADA DEL FÓSIL

“El mundo está lleno de cosas evidentes en las que nadie se fija ni por casualidad” [Sherlock Holmes, *El sabueso de los Backerville*]

Otro campo de inferencia ecológica a partir de los datos del registro fósil se refieren a los aspectos biológicos de la ontogenia y la filogenia: las relaciones entre el crecimiento animal y la evolución. Citemos los trabajos de Liñán, Gámez y otros (2009) referentes a las “mudas” de los trilobites y la percepción del dimorfismo sexual.

Pero estas consideraciones tal vez nos lleven demasiado lejos en nuestro estudio con los alumnos de Secundaria.

LA COFRADÍA DE LA MALA MUERTE

“Como regla general, cuanto más extravagante es una cosa, menos misteriosa suele resultar” [Sherlock Holmes, *La liga de los pelirrojos*]

El estudio minucioso del registro fósil nos ha llevado a la reconstrucción biológica de los seres vivos del pasado, a su modo y medio de vida, a la inferencia sobre la composición de las poblaciones, las relaciones e interacciones entre poblaciones, la dinámica temporal de las poblaciones, la estructura ecológica de los ecosistemas.

⁹ <http://www.scotese.com/history%20ofatlas.htm>

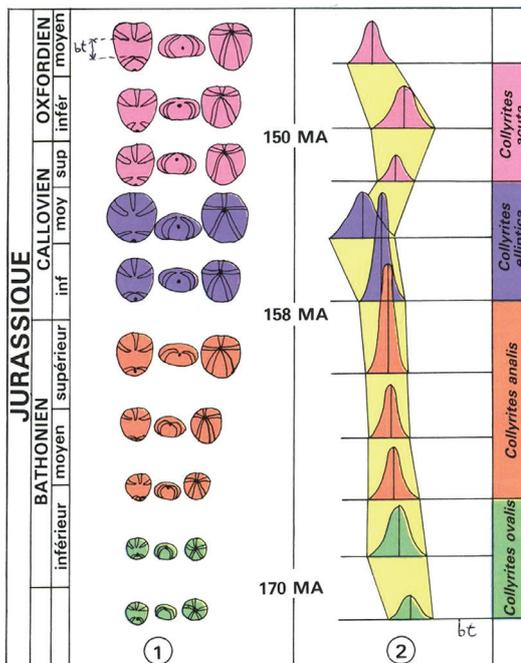


Fig. 12. Diversificación y especiación del equínido *Collirites* durante una parte del Jurásico en Francia. A lo largo del registro geológico se han estudiado poblaciones sucesivas de *Collirites*. La diversidad de algunas magnitudes mensurables se expresa en la campana de Gauss (la frecuencia de la relación anchura-longitud del cuerpo). Los paleontólogos, en función de diversas variables, consideran que la evolución gradual de algunas poblaciones de una misma especie da lugar a especies diferentes (señaladas con diversos colores). Se puede decir que la frontera entre especies paleontológicas es – como pensaba Darwin – subjetiva y obedece a criterios muy diferentes.

Sugerencias de actividades

1 – La figura 12 se puede entregar a los alumnos para que hagan una interpretación personal sobre lo que se ha querido representar. Supone la movilización de muchos conceptos previos y puede ser una actividad de síntesis.

2 – La figura 13 es también interesante. Los alumnos pueden intentar interpretar lo que significa desde el punto de vista biológico.

En este aspecto, el profesorado debería ser muy consciente de los límites del registro geológico para inferir datos fiables sobre la evolución biológica. Aún así, hay una amplia batería de actividades que pueden ser movilizadoras adaptadas a los alumnos de Secundaria (Yus y Sequeiros, 1995).

EL BUENO, EL FEO Y EL MALO

“Nunca hago excepciones. La excepción rebate la norma” [Sherlock Holmes, *El signo de los cuatro*]

Otro aspecto que no pueden obviar los profesores es el referente al registro de las extinciones de fauna y flora a lo largo de los tiempos. ¿Qué se puede decir sobre ellas? Este asunto es particularmente delicado, por cuanto –como ya apuntó

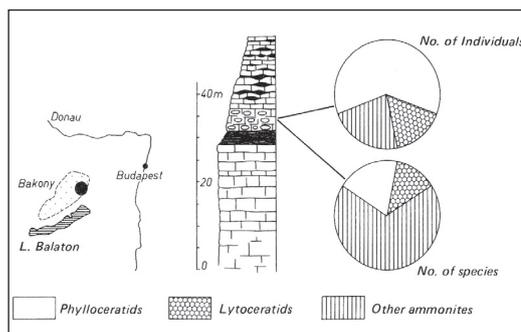
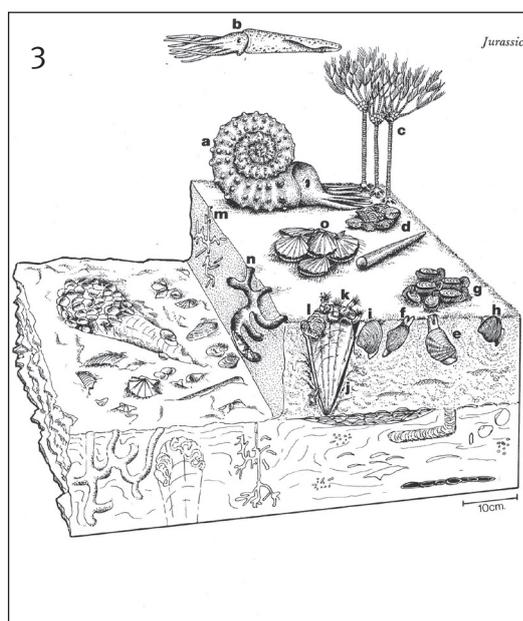
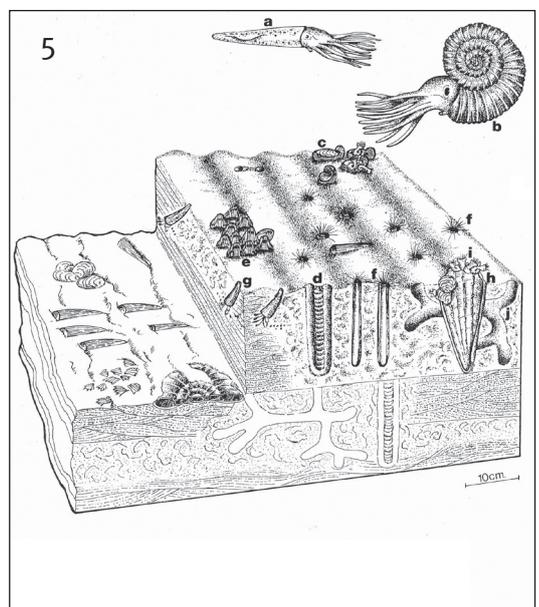
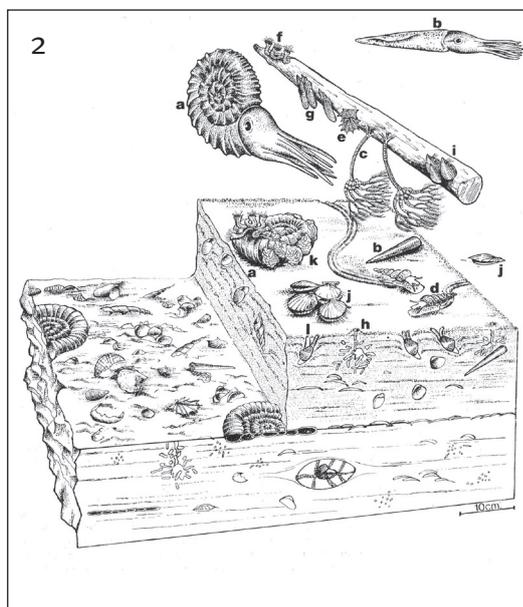
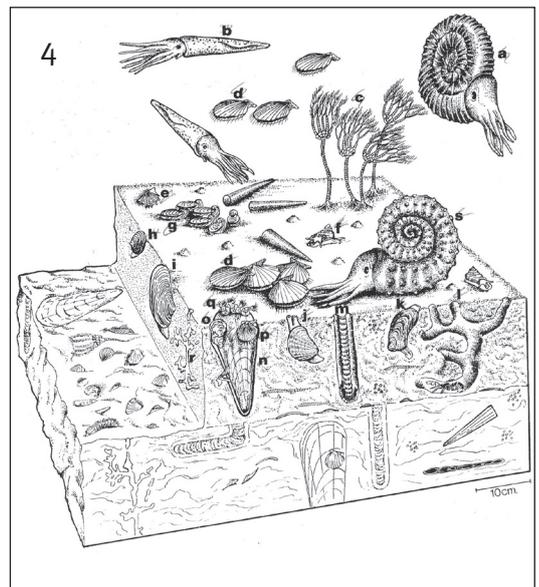
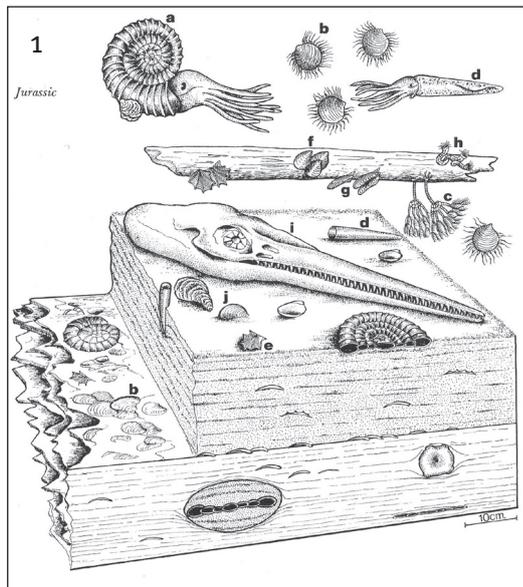


Fig. 13. Comparación entre el número de individuos y el número de especies en unos niveles del Jurásico de Hungría. Se infiere de estos datos que hay un desacoplamiento entre ambos porcentajes. Los *Phylloceratids*, son *ammonoideos* de un grupo muy conservador: son muy abundantes pero hay muy poca diversidad específica. Son embargo, los que aquí llamamos “otros ammonites” constituyen un grupo muy dinámico desde el punto de vista evolutivo. Sólo son el 20% del total de los ejemplares recogidos, pero representan en 70% del total de las especies. ¿Qué hipótesis se pueden proponer como respuesta a estos datos?

Fig. 14. McKerrow (1978) reconstruyó diversos escenarios ecológicos del Jurásico a partir del registro geológico. 1. Reconstrucción de una comunidad del Jurásico de fangos bituminosos. Interpretar los datos que se ofrecen. 2. Reconstrucción de una comunidad del Jurásico de fondo con arcillas en un ambiente restringido (una bahía, por ejemplo). 3. Reconstrucción de una comunidad del Jurásico de fondo formado por arcillas y arenas. ¿Cuál es la pirámide trófica? 4. Reconstrucción de una comunidad del Jurásico de fondo formado por arenas arcillosas ¿En qué se diferencia de la anterior? 5. Reconstrucción de una comunidad del Jurásico de fondo formado por areniscas. ¿Qué características físicas del medio ambiente se infieren? ¿Cuál es la pirámide trófica?



Darwin – no es sencillo diferenciar científicamente entre una verdadera extinción y una falta de registro geológico.

El profesorado que tiene una mínima experiencia del estudio del registro geológico conoce su imperfección (Sequeiros, 1991), los “gaps” (lagunas de información) y su diferencia con un verdadero “evento de extinción”.

Sugerencia de actividades

La figura 14 presenta cinco bloques diagrama de otras tantas reconstrucciones paleoecológicas deducidas del registro geológico del Jurásico europeo. Los alumnos:

Deberán hacer una interpretación de cada una de ellas.

Deberán relacionar una con otra, de dos en dos, para inferir significados paleobiológicos.

EVOLUCIÓN, FÓSILES Y PLACAS

“Con esta clase de gente, lo más importante es no darles nunca a entender que la información que te dan tiene la menor importancia para ti. Si piensan que te interesa, se cerrarán al instante como una ostra. En cambio, si haces como si los escuchas porque no tienes más remedio, lo más probable es que te digan todo lo que quieres saber” [Sherlock Holmes, *El signo de los cuatro*]

El final de nuestro recorrido detectivesco no es de fácil acceso para los estudiantes de secundaria. El registro geológico contiene una enorme cantidad de información codificada en clave mineral que hay que descifrar. Así, muchos de los trabajos de los paleontólogos, al interaccionar miles de datos estratigráficos, sedimentológicos, paleontológicos y biológicos pueden llegar a inferir datos de tipo paleobiogeográfico (el estudio de la dinámica de la geografía del pasado y de la ocupación biológica de territorios a lo largo de millones de años).

Sugerencias de actividades

Presentemos algunos escenarios:

1 – Uno de ellos es el de la dinámica marina hace 150 millones de años, una época especialmente compleja para la evolución del Tethys. En la región sur de España, lo que se llama Cordillera Bética, se han podido inferir conclusiones sobre dinámicas biológicas, cambios de nivel del mar, alteraciones climáticas, procesos tafonómicos, ecológicos y evolutivos.

2 – En otro escenario distinto, como es el Cretácico inferior en la región de Plou- Josa en Teruel, donde las condiciones ambientales y geodinámicas fueron muy diferentes, se han podido inferir conclusiones paleoecológicas a partir del registro geológico (Mayoral y Sequeiros 1983, publ. 1984).

3 – Diversos autores han presentado modelos basados en datos empíricos multidisciplinares de los registros geológicos. Estos modelos conducen a relacionar los fenómenos biológicos y paleobiológicos con la dinámica de las placas litosféricas (Sequeiros, 1994 y 1995). Tal vez en estos momentos sea complejo para los alumnos de secundaria profundizar en estas cuestiones pero deben estar presentes en el horizonte epistemológico del profesorado: ¿cómo pueden relacionarse la evolución de las especies biológicas con los grandes cambios climáticos y geográficos de los continentes?¹⁰

CONCLUSIONES

Este número de *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* es monográfico. Su título es “Tierra y Vida”, ya

¹⁰ Puede verse la información ya publicada por AEPECT en: http://www.aepect.org/astenosfera/astenosfera/documentos/DOC_5.htm

que éste es uno de los temas seleccionados con ocasión del Año Internacional del Planeta Tierra. ¿Qué información fiable puede suministrar el registro fósil para inferir conclusiones sólidas sobre diversos aspectos de la biología del pasado? ¿Qué debe saber y saber hacer el profesorado? ¿Qué aspectos son más fecundos para la construcción mental del paradigma de la complejidad sistémica del planeta Tierra? ¿Hasta dónde se puede llegar en la Geología Global?

Al final de este recorrido, postulamos que dentro de la educación secundaria hay dos objetivos a cubrir: el primero, lograr que los estudiantes sean capaces de hacer funcionar la creatividad científica y la racionalidad cumpliendo la función de pequeños Sherlock Holmes que observan, razonan, elaboran hipótesis e infieren conclusiones.

El segundo objetivo es que los estudiantes, a partir de diversos datos biológicos del pasado, sean capaces de construir algunos escenarios sencillos y locales. En éstos se materializan gráficamente las interacciones y relaciones entre aspectos físicos, químicos y biológicos de un entorno determinado.

De todas formas, este trabajo no va dirigido tanto a los estudiantes como a la formación del profesorado de Ciencias de la Tierra, de modo que sea el primero en observar, experimentar, buscar fuentes y hacer efectiva la creatividad científica encaminada a hacer inferencias.

BIBLIOGRAFÍA

Calvo Hernández, J. M. y Gil Bazán, E. (1997). Consideraciones sobre la didáctica de las reconstrucciones paleoecológicas y su problemática en Educación Secundaria. *Geogaceta*, 21, 47-49.

Liñán, E., Gámez, J. A., Gozalo, R., y otros (2009). Las especies de “paradoxides” del yacimiento Cámbrico de Murero y el hallazgo de dimorfismo sexual en los trilobites. *Naturaleza Aragonesa*, 23, 4-11.

Mayoral, E. y Sequeiros, L. (1983, public. 1984). Reconstrucción paleogeográfica del Cretáceo inferior en la región de Plou-Cortes de Aragón-Josa (Teruel). *Bol. Real Soc. Española de Hist. Nat. (Geol.)*, vol. 81, 1/2, pp.111-123.

Mayoral, E., (2008). Las Primeras Playas de Huelva en el Registro Geológico Reciente: la Formación Arenas de Bonares. *Geología de Huelva. Lugares de Interés Geológico*. Huelva, España. Universidad de Huelva, Servicio de Publicaciones. Vol. 1. 2008. Pag. 138-139.

Mayoral, E., Liñán, E., Gámez-Vintaned, J. A., Gozalo, R. (2008). *Medusas del Cámbrico Inferior de Constantina (Provincia de Sevilla)*. Investigación Científica y Conservación en el Parque Natural Sierra Norte de Sevilla. Sevilla. Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente. 2008. Pag. 3-15.

McKerrow, W. S. (editor) (1978). *The ecology of fossils. An illustrated guide*. Duckworth, London.

Muñiz Guinea, Fernando (1998). Paleocnología del Neógeno superior en el sector suroccidental de la Cuenca del Guadalquivir, área de Lepe-Ayamonte (Huelva). *Tesis Doctoral Universidad de Huelva*.

Sequeiros, L., Cólera, I., Valenzuela, R. y Sánchez, I. (1978). Bioestratigrafía del Jurásico (Lías y Dogger) en el Sector Belchite-Almonacid de la Cuba (Zaragoza). *Estudios Geológicos*, Madrid, vol. 34, 293-298, 2 fig.

Sequeiros, L. y Cariou, E. (1984). Síntesis bioestratigráfica del Calloviense de Ricla (Zaragoza, Cordillera Ibérica). *Estudios Geológicos*, Madrid, vol.40, p.411-419.

Sequeiros, L. (1991). Los límites del Registro Fósil como fuente de conocimiento paleobiológico. Algunos ejemplos del Jurásico de España. *Comunicación VII Jornadas de Paleontología*, Oviedo,

Sequeiros, L. (1994). La Evolución y el Medio Ambiente: la visión de un paleontólogo. En: Domínguez, E., González Barrio, A. J. y Navarro, F. *Medio Ambiente: un ensayo integrado desde distintos puntos de vista*. Enresa/Universidad de Córdoba, pp.297-316, y 333-334.

Sequeiros, L. (1995). Tectónica de Placas y Evolución Biológica. Construcción de un paradigma e implicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 3(1), 14-22.

Sequeiros, L., Berjillos, P. y Pedrinaci, E., (1996). La Tafonomía como herramienta metodológica en la enseñanza del Tiempo Geológico en la ESO. Introducción a la Tafonomía escolar. *II Reunión sobre Tafonomía y Fosilización*. Zaragoza, Junio, pp. 363-370.

Sequeiros, L. y Mayoral, E. (1999). Estructuras bioerosivas y epibiontes del Jurásico inferior de Belchite (Zaragoza). *Naturaleza Aragonesa*, Zaragoza, n1 4 (junio), 10-20.

Sequeiros, L. (2001a). ¿Qué puede aportar la Historia de la Paleontología al profesorado de Ciencias de la Tierra? *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, Girona, 9 (2), 100-109.

Sequeiros, L. (2001b) Los fósiles "hablan": ¿qué aporta la paleontología al conocimiento del planeta tierra? En: J.A.Gámez-Vintaned y E. Liñán, (edit.) *La Era Paleozoica. Jornadas de Paleontología de Ricla, Noviembre 2001*. Institución Fernando el Católico, 27-59.

Sequeiros, L. (2003). Las raíces de la Geología. Nicolás Steno, los estratos y el Diluvio Universal. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 10(3) (2002), 217-244.

Sequeiros, L. (2005). ¿Qué podemos saber del pasado geológico de Ricla? Nicolás Steno y los principios metodológicos de la geología. En: Gámez-Vintaned (edit.) *La Cooperación Internacional en la Paleontología española. VIII Jornadas Aragonesas de Paleontología de Ricla 2003*. Universidad de Zaragoza- Institución Fernando el Católico, publicación 2507, pág. 227-242.

Vía, L., y Sequeiros, L., (1989, publ.1993) Cangrejos máscara (Prosopidae) del Oxfordiense de Moneva (Zaragoza). *Batalleria*, Barcelona, núm. 3, pp.5-16.

Yus, R. y Sequeiros, L. (1995). Los cambios en los sistemas biológicos. En Hierrezuelo, J. coord. *Educación Secundaria. Ciencias de la Naturaleza*. Editorial Edelvives, Zaragoza, tomo 4, pp. 331-565.

Zamora, S. y Rahman, I. A. (2009). Fósiles "virtuales" cámbricos del Parque Natural del Moncayo. *Naturaleza Aragonesa*, 23, 12-20 (con imágenes en 3D)

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Guillermo Meléndez Hevia (Universidad de Zaragoza) por haberme suministrado los bloques diagrama paleocológicos de este trabajo y al Dr. Eduardo Mayoral por sus sugerencias y cesión de imágenes de Oichnus. ■

Este artículo fue solicitado desde E.C.T. el día 12 de enero de 2010 y aceptado definitivamente para su publicación el 29 de mayo de 2010.