

Cómo sacar información. Las pegas en la interpretación del comportamiento a través de los icnofósiles

How obtain information: The problems in the behavior interpretation through trace fossils

EDUARDO MAYORAL ALFARO Y ANA SANTOS

Dpto. de Geodinámica y Paleontología, Universidad de Huelva. Avda. Tres de Marzo s/h.

Dpto. de Geodinámica y Paleontología, Universidad de Huelva. Avda. Tres de Marzo s/h. E-mail: mayoral@uhu.es; asantos@dgyp.uhu.es

Resumen El comportamiento de los organismos del pasado puede interpretarse a través del estudio de los icnofósiles, que aportan información sobre los tipos y pautas de su conducta como reflejo de diferentes condiciones relacionadas consigo mismos y con el medio ambiente en el que se originaron. Esto permite establecer una clasificación etológica que se puede resumir principalmente en la búsqueda de morada o refugio; de alimento, en la superficie o en el interior del sedimento, incluyendo la depredación; de reposo o descanso; de desplazamiento o con una mezcla de varias de ellas. Sin embargo, esta interpretación no siempre es fácil de establecer, ya que un mismo organismo puede producir señales muy diferentes de forma simultánea o sucesiva, que denotan comportamientos diferentes, pero también diferentes organismos pueden producir registros iguales o muy similares. Además, algunas pistas fósiles representan estructuras compuestas, interconectadas o son sistemas aparentemente simples, pero que en detalle son mucho más complejas al haber sido retrabajadas por otras.

Se proponen a su vez, algunos consejos y/o experimentos sencillos para realizar el taller cuando no se disponga del material adecuado

Palabras clave: Icnofósiles, Clasificación etológica, Pistas compuestas, Pistas retrabajadas, Características medioambientales.

Abstract *The behaviour of ancient organisms can be interpreted through the study of trace fossils, which indicate directly the types and patterns of their conduct reflecting the different conditions associated with these organisms and the environment in which they originated. We can thus establish an ethological classification based primarily on the search for shelter and food, on the surface or inside the sediment, including predation; of a resting place; movement; or a mixture of several of them. However, this interpretation is not always easy to establish. The same producer can originate very different traces simultaneously or successively, which show different behaviours, and on the other hand different organisms can produce the same or very similar records. Furthermore, some trace fossils represent composite or interconnected structures, or are apparently simple systems, but in detail are much more complex due to reworking by others. Some advice and /or simple experiments are proposed in order to do the workshop where suitable material is not available.*

Keywords: *Ichnofossils, Ethological classification, Compound traces, Reworked traces, Environmental characteristics.*

INTRODUCCIÓN

Al igual que en las series de ficción un grupo de científicos forenses trabajan investigando los crímenes que suceden en una determinada ciudad proponemos utilizar los icnofósiles para conocer los organismos que produjeron esas huellas. Por ejemplo

estamos familiarizados con la serie pionera *CSI: Crime Scene Investigation*, también conocida como *CSI: Las Vegas* (Fig. 1A). En ella, los criminalistas recorren la escena del crimen, recogen pruebas irrefutables y buscan las piezas perdidas que resolverán el misterio. Del mismo modo, utilizando una metodología de tipo inductivo-deductivo, los paleontólogos son





Fig. 1. A. Portada de la serie televisiva CSI. Las Vegas. B. Símil relativo a los icnofósiles.

capaces de reconocer, reconstruir e interpretar los organismos del pasado y los ambientes en los que vivieron a partir del estudio de los fósiles. Sin embargo, el estudio directo de los fósiles no es suficiente por sí mismo, para deducir aspectos tan esenciales y a la vez tan enigmáticos, como son los tipos de comportamientos desarrollados por esos organismos.

La disciplina que estudia esta parcela específica dentro de la Paleontología es la *Paleoicnología*. Utilizando esta ciencia sabremos *Cómo Sacar Información*, teniendo en cuenta cuáles son *Las Pegas en la interpretación del comportamiento a través de los icnofósiles* (Fig. 1B).

Así, y aprovechando el símil con la serie de ficción, esta *ciencia forense del pasado* nos permitirá, a través de un cuidadoso y minucioso estudio de las pruebas registradas en las rocas sedimentarias, establecer las pautas de dichos comportamientos y las razones más probables que los originaron.

Estas pruebas son las *pistas fósiles o icnofósiles*, que reflejan el comportamiento del organismo u organismos que las produjeron, convirtiéndose así en **estructuras etológicas** (Gámez-Vintaned y Liñán, 1996).

Estas estructuras se conservan siempre en el mismo lugar donde se produjeron, de ahí su alto valor paleoecológico frente a los fósiles tradicionales, que han podido ser transportados desde su lugar de origen. Su conservación está siempre ligada a los estratos y en ellos pueden aparecer de formas muy

Fig. 3. Tipos de spreite o conexiones originados por una madriguera cuando se desplaza hacia abajo (spreite protrusivo) o migra hacia arriba (spreite retrusivo).

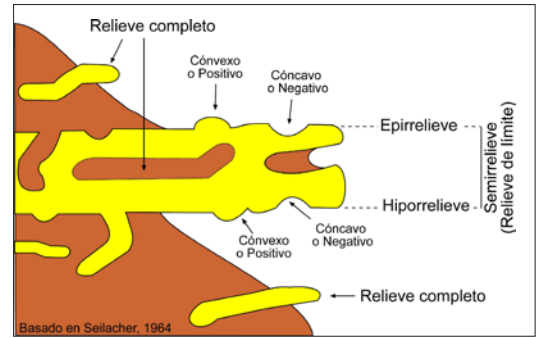
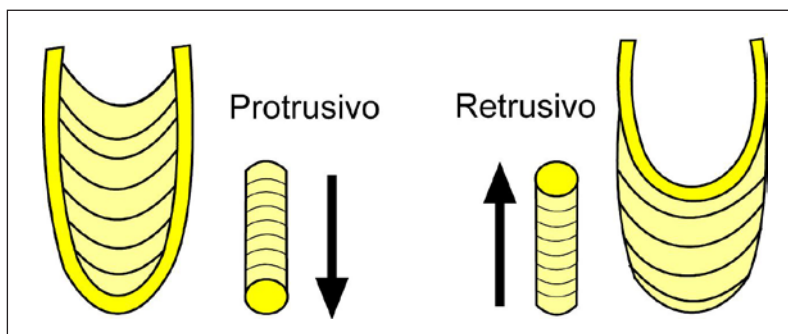


Fig. 2. Terminología estratinómica para referirse a las pistas fósiles según su relación con el estrato.

diversas, adoptando según este criterio, una terminología llamada estratinómica (Fig. 2).

Precisamente, estos diferentes tipos de conservación pueden utilizarse como herramienta en primera instancia, para proceder a su clasificación etológica.

Uno de los principales valores de las pistas fósiles, es el poder deducir además de quién o quienes las produjeron (aspecto éste casi siempre muy difícil de determinar), por qué y en qué condiciones fueron producidas.

LAS ESTRUCTURAS ETOLÓGICAS

Son aquellas que evidencian la actividad de organismos que registran el comportamiento de los mismos, en interacción activa con un sustrato (orgánico o no).

Según Gámez-Vintaned y Liñán, (op. cit.), los tipos de estructuras etológicas, se pueden agrupar en cuatro categorías: de bioturbación, de bioerosión, de biodepósito y de bioordenación.

Estructuras Etológicas de Bioturbación

Cuando los seres vivos habitan dentro o sobre un sedimento, modifican su estructura y consistencia originales, y en consecuencia, se produce un fenómeno de mezcla del sustrato, cuya característica primordial es que no tiene que estar consolidado (puede ser fluido, blando o firme). Este es el proceso de Bioturbación, que responde normalmente a comportamientos de morada, reposo, desplazamiento, alimentación o a una combinación de los anteriores.

Cuando un organismo se mueve puede desplazar su madriguera cambiando de posición en el sedimento, hacia arriba o hacia abajo, dando lugar a una estructura laminar compuesta por restos yuxtapuestos de paredes de madrigueras sucesivas, que es lo que se conoce como *spreite* o conexiones Gámez-Vintaned y Liñán, (op. cit.) (Fig. 3).

Estructuras Etológicas de Bioerosión

Cuando la destrucción afecta a un sustrato consolidado (independientemente de su natura-

leza orgánica o inerte), el proceso se considera de Bioerosión, y suele estar motivado básicamente por organismos que buscan un lugar donde vivir o un modo de encontrar alimento, en el que se incluye la depredación.

Estructuras Etológicas de Biodepósito

Son aquellas que representan un depósito de sedimento no ordenado en láminas o estratos y están relacionadas con la actividad digestiva o con otras actividades.

Estructuras Etológicas de Bioordenación

Estas estructuras etológicas representan una ordenación del sedimento (preexistente o de nueva formación), generalmente en láminas o estratos. Pueden estar originadas por cualquier ser vivo, y se diferencian dos tipos: las que forman capas o estratos, como los estromatolitos o las películas de algas y las que no los forman como los oncolitos.

Otros grupos de estructuras etológicas

Existen otras estructuras que pueden ser incluidas a la vez dentro de varios de los tipos reseñados anteriormente, dependiendo del productor.

Es el caso de los nidos o de las madrigueras con revestimiento; así, los nidos de reptiles suelen ser estructuras de bioturbación, mientras que los de las aves pueden ser también de biodepósito y de bioordenación, según los casos. En las madrigueras con revestimiento, se da a la vez bioturbación (madriguera s.s.) y biodepósito (revestimiento de la pared).

CÓMO AGRUPAR LOS TIPOS DE COMPORTAMIENTO

Uno de los aspectos que llamaron la atención de los investigadores desde las primeras décadas del siglo XX, fue intentar reconocer y en consecuencia, clasificar, los diferentes tipos de comportamiento de las pistas fósiles.

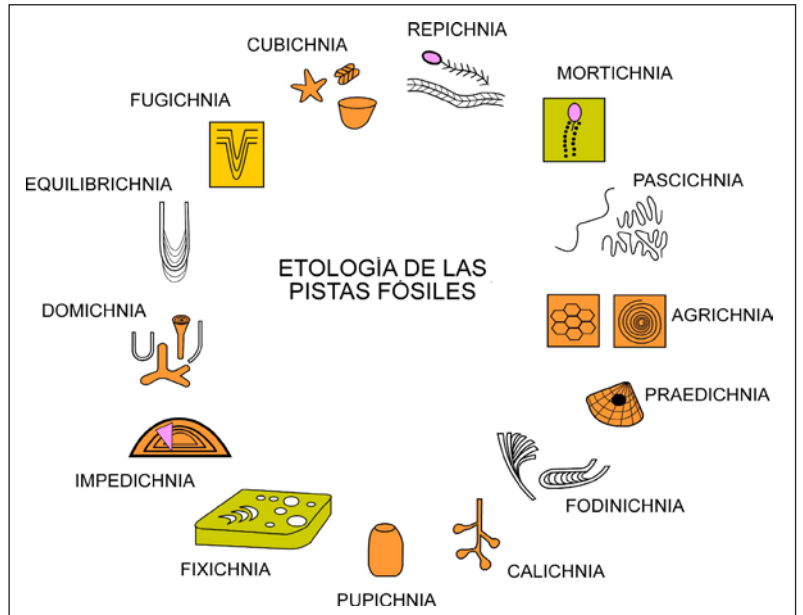
Varios fueron los pioneros en esta materia, destacando entre otros muchos los trabajos de Seilacher (1953, 1964) y Bromley (1990).

Como resultado de estos estudios se han establecido varias categorías, o términos etológicos, que pueden agruparse en función del comportamiento dominante (Fig. 4) en:

Búsqueda de morada o refugio

1. Domichnia (singular: Domichnion) (Fig. 5. La leyenda empleada en las figuras 5 a 7 se expone en la Tabla I):

Grupo de pistas producidas por el comportamiento de construcción de una morada permanente, lo que se deduce por la presencia de algún tipo de refuerzo en las paredes. Suelen ser relieves completos de formas cilíndricas rec-



tas, casi siempre perpendiculares a la estratificación, aunque también pueden ser oblicuas e incluso horizontales. Las madrigueras presentan formas simples, en forma de U o también ramificadas. Frecuentemente están construidas por animales semisésiles suspensívoros y también por carnívoros y sedimentívoros. Por ejemplo, *Arenicolites*, *Skolitos*, *Diplocraterion*, *Ophiomorpha*, *Thalassinoides* y *Palaeophycus*.

Fig.4. Clasificación etológica de las pistas fósiles. (Modificado de Buatois y Mángano, 2011)

Tabla I. Leyenda empleada en las Figuras 5 a 7.

LEYENDA		MORFOLOGÍA	
CONSERVACION		MORFOLOGÍA	
	Relieve completo		Vertical, simple
	Semirrelieve		Curvada o en J
	Estructuras superficiales		En forma de U
	Cavidad en esqueleto		En forma de V
ORIENTACION			En cápsula
	Madriguera vertical dominante		Bilobada, lisa o en chevron
	Madriguera vertical secundaria		Meandriformes
	Madriguera horizontal dominante		Refleja forma productor
	Madriguera horizontal secundaria		Variable, todo o parte del productor
	Madriguera inclinada secundaria		En nido o celda
	Orientación variable		Geométricas o regulares
PRODUCTORES			Espirales
	Epilíticos, sésiles		Variable, rastro o cuerpo del productor
	Bentónicos, micrófagos vágiles y/o sedimentívoros		Spreite o conexiones
	Infaunales, semisésiles o vágiles		Mordiscos, orificios, contornos irregulares
	Insectos		Epilíticos, vágiles
			Carnívoros
			Endosimbiontes



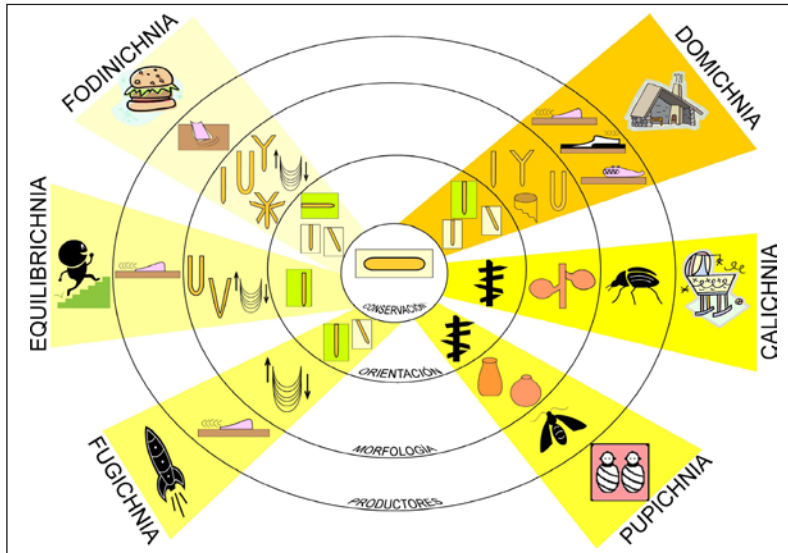
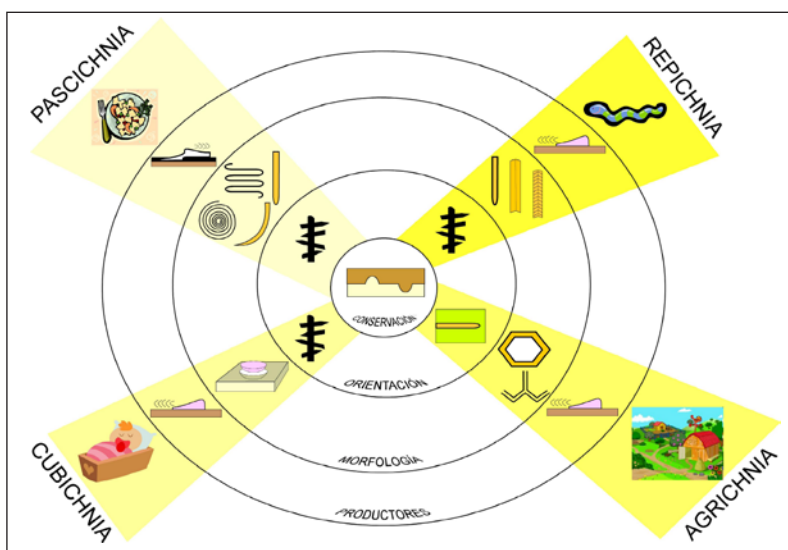


Fig. 5. Clasificación etológica de pistas que inicialmente se presentan conservadas como relieves completos.

2. Calichnia (singular: *Calichnion*) (Fig. 5): Grupo de pistas que engloban nidos construidos o excavados por insectos con fines reproductivos. Las larvas de los insectos se confinan en celdas o cámaras construidas por los adultos. Las morfologías por tanto tienen aspecto bulboso, más o menos alargado. Algunos ejemplos: *Coprinisphaera* y *Celliforma*.
3. Pupichnia (singular: *Pupichnion*) (Fig. 5): Estructuras construidas por insectos que viven libres en suelos o vegetación y que necesitan protección durante la fase de pupa. El insecto que produce la estructura emerge después de ella con un estado de desarrollo diferente. Algunos ejemplos: *Fictovichnus*, *Rebuffoichnus* y *Pallichnus*.
4. Fixichnia (singular: *Fixichnion*) (Fig. 7): Estructuras superficiales producidas en sustratos duros por organismos epilíticos, sésiles, para proporcionar fijación. Se diferencian dos tipos: las producidas por anclaje de un organismo mediante el uso de partes blandas o mediante fijación de su esqueleto. Algunos ejemplos: *Ste-*

Fig. 6. Clasificación etológica de pistas que inicialmente se presentan conservadas como semirrelieves.



llichnus, *Leptichnus*, *Centrichnus*, *Podichnus*, y *Renichnus*.

5. Impedichnia (singular: *Impedichnion*) (Fig. 7): Estructuras que registran dos tipos de comportamiento durante la construcción de una cavidad en el interior de un material esquelético. Se conocen como estructuras de incrustación o bioenclaustramiento. Producidas por la actividad de un endosimbionte que impide el crecimiento esquelético del anfitrión y por el propio anfitrión, que modifica su crecimiento para acomodarse al organismo que lo coloniza. Algunos ejemplos: *Helicosalpinx*, *Tremichnus*, *Hicetes* e *Imbutichnus*.

Búsqueda de alimento

1. Fodinichnia (singular: *Fodinichnion*) (Fig. 5): Grupo de pistas de alimentación producidas por organismos infaunales, semisésiles que buscan, a la vez, comida y habitación dentro del sedimento, mediante una estrategia de "minería subterránea". Este comportamiento produce pistas de relieve completo, casi siempre subparalelas a la estratificación (aunque también pueden ser verticales o inclinadas), de formas muy variadas, que varían desde madrigueras simples a sistemas ramificados, estructuras radiales o tubos en forma de U. Algunos ejemplos: *Phycodes*, *Planolites*, *Asterosoma*, *Teichichnus*, *Dactyloidites* y *Phycodes*.
2. Pascichnia (singular: *Pascichnion*) (Fig. 6): Grupo de pistas de alimentación (*pastoreo*) producidas por organismos micrófagos (comedores de partículas detríticas finas), vágiles (denotan también locomoción), en o cerca de la interfase agua/sedimento. Su modo de conservación es como semirrelieves, cuyos trazados altamente regulares (meandriiformes, espiralados, también simples o curvos) han sido interpretados como patrones de máximo aprovechamiento de un recurso alimenticio limitado o como patrones tendentes a optimizar la relación costo/beneficio en la explotación de un recurso respecto al riesgo de ser depredado. No presentan ramificaciones. Algunos ejemplos: *Helminthoidea*, *Phycosiphon*, *Gordia*, *Mermia*, *Bichordites*, *Nereites* y *Scolicia*.
3. Praedichnia (singular: *Praedichnion*) (Fig. 7): Marcas que denotan actividades depredadoras. Registradas con más frecuencia en sustratos duros (estructuras de bioerosión), como perforaciones (*borings*) en conchas o huesos. Sus morfologías se corresponden con orificios más o menos circulares o con marcas dejadas por mordiscos. En el primer caso, son señales de depredación relacionadas normalmente (aunque no siempre), con gasterópodos natícidicos, lo que hizo que Müller (1962) propusiera el término de *Natichnia*. Para el caso de los mordiscos propu-

so el empleo de *Mordichnia*, si bien hoy en día prácticamente no se consideran y se incluyen bajo el término general de *Praedichnia* sin especificar el posible productor.

Un ejemplo muy frecuente: *Oichnus*.

Búsqueda de reposo o descanso

1. Cubichnia (singular: *Cubichnion*) (Fig. 6):

Producidas por organismos vágiles, que temporalmente excavan formando pequeñas depresiones, buscando protección frente a los depredadores o simplemente buscando reposo. Reproducen en mayor o menor medida el tamaño y la morfología lateroventral de sus productores, por lo que son cortas y suelen contener los elementos de simetría del organismo responsable. En ocasiones están ligadas a objetivos relacionados con la búsqueda de alimento (Ofiuras) o buscando hidratación y/o respiración (ciertos cangrejos).

Algunos ejemplos: *Asteriacites*, *Rusophycus*, *Lockeia* y *Tonganoxichnus*.

Locomoción o movimiento

1. Repichnia (singular: *Repichnion*) (Fig. 6):

Grupo de pistas con comportamiento de locomoción, producidas por organismos bentónicos. Son estructuras de semirrelieve (epi, negativas o hipo, positivas), que constituyen un sólo elemento acintado cuando son producto de reptar.

Cuando se generan por el paso o la carrera de un animal dan lugar a grupos de huellas alineados, formados por invertebrados (artrópodos) o vertebrados (bípedos o tetrápodos). En este último caso constituyen un subtipo que algunos autores han denominado como *Ambulichnia* (comportamiento debido a la impronta dejada por los autópodos –patas- de los vertebrados al andar).

Algunos ejemplos: *Cruziana*, *Diplichnites*, *Octopodichnus*, *Gyrochorte*, *Bothriodontipus*, *Creodontipus*, *Carnotipus* y *Avipeda*.

2. Equilibrichnia (singular: *Equilibrichnion*) (Fig. 5):

Estructuras producidas al migrar gradualmente su productor en dirección vertical a la estratificación para ajustar su posición y mantener, así, una profundidad constante en el sustrato, en respuesta a una gradación o erosión paulatinas de éste. Se conservan como relieves completos.

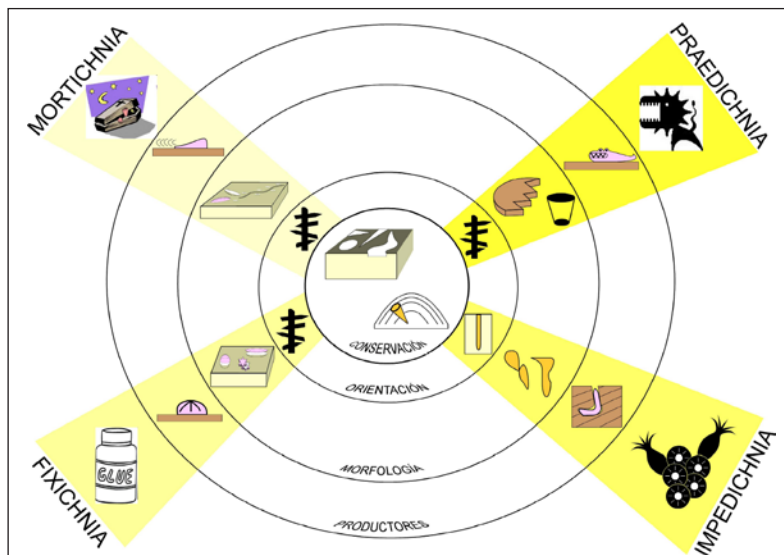
Su morfología típica suele ser la de una U o una V, que refleja un movimiento hacia arriba (spreite retrusivo) o hacia abajo (spreite protrusivo)

En un sentido amplio es un tipo especial de fugichnia, y su interpretación no siempre resulta inequívoca (Buck y Goldring, 2003).

Algunos ejemplos: *Diplocraterion* y *Scalichnus*.

3. Fugichnia (singular: *Fugichnion*) (Fig. 5):

Estructuras (con varios tipos de comportamiento inicial: morada, reposo, etc.) producidas al



migrar bruscamente su productor en dirección vertical u oblicua a la estratificación mientras intenta escapar de la posibilidad de enterramiento por sedimentación, de desenterramiento por erosión o de la amenaza de un depredador. Las paredes no presentan refuerzos y están mal definidas, lo que refleja un retrabajamiento rápido del sedimento.

Algunos ejemplos: las estructuras de escape formadas por bivalvos o anémonas. Al ser morfológicas simples (e irregulares) no se les suele dar un tratamiento icnotaxonómico.

4. Mortichnia (singular: *Mortichnion*) (Fig. 7):

Grupo de pistas que reflejan los últimos movimientos del productor antes de morir, incluso sus convulsiones *post-mortem*. Suelen aparecer con el productor fosilizado en sus proximidades y normalmente responde a marcas dejadas por artrópodos (limúlidos, crustáceos) o en menor medida por bivalvos y gasterópodos conservados al final de sus pistas. Ejemplo: *Telsonichnus*.

Comportamientos mixtos

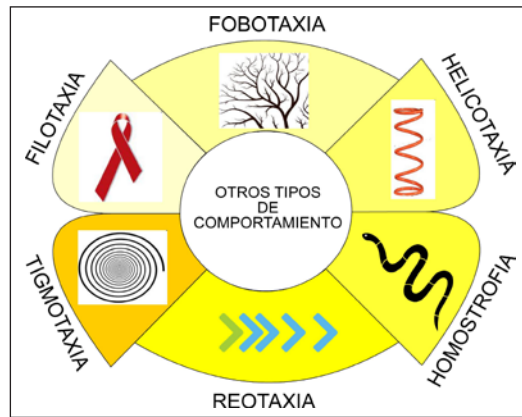
1. Agrichnia (singular: *Agrichnion*) (Fig. 6):

Grupo de pistas que representan un comportamiento de construcción de madrigueras, generalmente cilíndricas, extremadamente regulares y complejas (en ocasiones en forma de red). Son paralelas a la estratificación, que suelen conservarse como semirrelieves (por colapso o por erosión y relleno de las madrigueras) a los que se denomina grafogliptos (aunque no todos estos pertenecen a la categoría agrichnia). Sirven a la vez de morada y de granja (cultivo de bacterias) o trampa (captura de meiofauna o microorganismos), por las que se desplazan sus productores recolectando alimento. Algunos ejemplos: *Paleodictyon*, *Spirorhapse*, *Belorhapse*, *Megagraption*, *Helicolithus* y *Urohelminthoidea*.

Fig. 7. Clasificación etológica de pistas que inicialmente se presentan conservadas como estructuras superficiales o como cavidades en esqueletos.



Fig. 8. Clasificación etológica de pistas que responden a otros tipos de comportamiento.



OTROS TIPOS DE COMPORTAMIENTO

Suelen relacionarse con casos particulares del tipo Pascichnia, aunque no exclusivamente. Son los siguientes (Fig. 8):

Filotaxia

Modelo de comportamiento en el que se sigue un patrón de lazos más o menos regulares, al volver el organismo repetidamente sobre la trayectoria anterior. Algunos ejemplos: *Cruziana* y *Psammichnites*.

Fobotaxia

Modelo de comportamiento en el que el organismo, en su desplazamiento, evita intersectar su trayectoria anterior o la de otros productores, sin dar lugar a un patrón morfológico regular. Algunos ejemplos: *Helminthopsis* y *Chondrites*.

Helicotaxia

Modelo de comportamiento en el que se sigue un patrón de desplazamiento espiral. Algunos ejemplos: *Gyrolithes* y *Spirocosmorhappe*.

Homostrofia

Modelo de comportamiento en el que se produce una desviación de hasta 180°, en la dirección de movimiento, de la parte anterior del cuerpo del organismo respecto a la parte posterior del mismo, dando lugar a un patrón meandriforme. Algunos ejemplos: *Helminthoidea* y *Cochlichnus*.

Reotaxia

Modelo de comportamiento en el que el organismo se orienta respecto al sentido de la corriente predominante. Ejemplo: *Dimorphichnus*.

Tigmatotaxia

Modelo de comportamiento en el que el organismo se guía en su desplazamiento por el camino anteriormente recorrido, al cual se adapta guardando una distancia regular. Algunos ejemplos: *Nereites* y *Spirorhappe*.

LAS PEGAS EN LA INTERPRETACIÓN

Como se ha puesto de manifiesto en la clasificación anterior no siempre es fácil determinar cuál es el comportamiento dominante de un organismo,

entre otras cosas porque, siguiendo uno de los principios básicos de la Icnología, un organismo puede producir señales muy diferentes a lo largo de una actividad concreta e incluso a lo largo de las diferentes etapas de su vida. Si además se tiene en cuenta que diferentes organismos pueden producir registros iguales o muy similares, la complicación en la interpretación aumenta.

Otra de las dificultades se encuentra en que algunas pistas fósiles representan estructuras compuestas. De esta forma, pueden reflejar comportamientos diferentes y simultáneos. Es el caso, por ejemplo, de *Hillichnus*, una pista producida por un bivalvo que usa al mismo tiempo el pie para excavar en la arena y los sifones para capturar el alimento en suspensión.

Pero también pueden reflejar comportamientos sucesivos. Es el caso de las pistas dejadas por los erizos de mar excavadores, que en muchas ocasiones marcan la transición entre un comportamiento de búsqueda de alimento por pastoreo (*Scolicia*) y de descanso (*Cardioichnus*). Algo similar ocurre con las pistas de locomoción dejadas por los artrópodos (*Cruziana*) y su homóloga de descanso (*Rusophycus*) cuando éstas aparecen en conexión. En ocasiones se pueden encontrar pistas que aparentemente constituyen sistemas simples, pero que en detalle se aprecia que corresponden a estructuras complejas. Esta complejidad se debe a que son el resultado de la interpenetración de uno o incluso varios icnotaxones discretos. Algunas pistas que reflejan comportamientos de búsqueda de alimento o domicilio, por ejemplo, *Thalassinoides*, pueden ser retrabajadas por otras más discretas, como *Chondrites* o *Planolites*, que pueden indicar algún otro tipo de comportamiento superpuesto (Agrichnia en el caso de *Chondrites*).

Otra de las dificultades se plantea cuando las pistas fósiles constituyen sistemas complejos, formando redes o entramados que están conectados entre sí. Esto implica que dentro de una misma categoría etológica, por ejemplo, de búsqueda de morada, se puedan producir intergradaciones (que pueden ser simultáneas o sucesivas) que resulten en cambios del comportamiento dominante, pasando a ser de otro tipo, tales como búsqueda de alimento. El ejemplo más característico es el que presentan determinados cangrejos excavadores, formadores de sistemas del tipo *Thalassinoides-Ophiomorpha-Gyrolithes*.

Por último, otros de los factores a tener en cuenta y que condicionan el comportamiento de un organismo son su tamaño, su forma y su hábito alimenticio (factores intrínsecos), junto con todos aquellos que están relacionados con las características propias del medio (factores extrínsecos), como son la tasa de sedimentación-energía, la batimetría, la salinidad, etc. (Muñiz, 1998) (Fig. 9).

CÓMO REALIZAR EL TALLER

La forma práctica de llevar a cabo este taller consiste en desarrollar una serie de observaciones directas sobre el material icnológico (los icnofósiles o pistas fósiles), atendiendo a un conjunto de características presentes en dicho material.

Para ello es preciso contar obviamente, con una colección de este tipo. A simple vista pudiera parecer que esto es muy difícil, ya que aparentemente es algo más complicado que el tener o recolectar una serie de fósiles típicos. Sin embargo, las pistas fósiles son mucho más frecuentes de lo que se piensa y suelen aparecer registradas en las rocas sedimentarias en porcentajes considerables. Inclusive podemos encontrar muchas análogas actuales dando un paseo por la playa, o por la orilla de un río u observando la superficie de un lecho arcilloso después de la lluvia o de una inundación. Solo hace falta saber reconocerlas, para luego interpretar la información oculta que contienen, del mismo modo que hacen los peritos forenses e investigadores de la serie de ficción a la que aludíamos al principio de este manuscrito.

El número de pistas fósiles conocidas (los llamados icnotaxones: término que se emplea para sustituir a las entidades sistemáticas ordinarias o taxones, sin la significación biológica de éstos) es muy elevado. Son varios centenares de icnogéneros y otras tantas de icnoespecies, las que constituyen

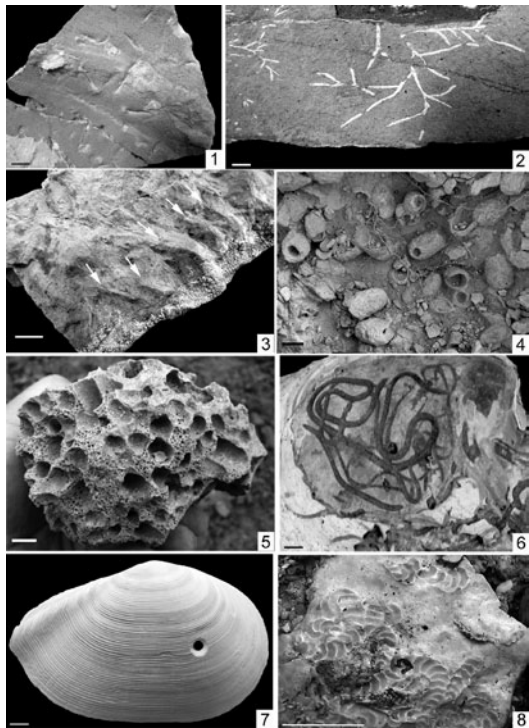


Fig. 10. Icnotaxones objeto de estudio e interpretación en el presente Taller. 1: Skolitos. 2: Ophiomorpha. 3: Thalassinoides. 4: Gyrolithes. 5: Diplocraterion. 6: Phycodes. 7: Dactyloidites. 8: Bichordites. 9: Palaeodyction. 10: Spirorhapha. 11: Cruziana. 12: Rusophycus. Escala de las barras: 1 cm, menos en 9: 10 cm.



Fig. 9. Factores intrínsecos (recuadro en verde) y extrínsecos que afectan al comportamiento de un organismo y su relación con el sustrato. Basado en Muñiz (1998).

el total de los icnotaxones conocidos. Sin embargo, a pesar de esta gran variedad de registros diferentes, los comportamientos esenciales pueden reducirse a cuatro tipos básicos: búsqueda de morada o refugio, búsqueda de alimento, desplazamiento, o una mezcla de algunos de ellos. Estos comportamientos a su vez otros subtipos o modalidades, que como mucho llegan a alcanzar las catorce categorías que se resumen en el gráfico de la figura 4.

En el taller solo se van a reconocer e interpretar algunas de las pistas fósiles más significativas (y también las más frecuentes y fáciles de encontrar), tal y como se exponen en las figuras 10 y 11.

Las características propias de cada uno de estos icnotaxones se pueden resumir utilizando una serie

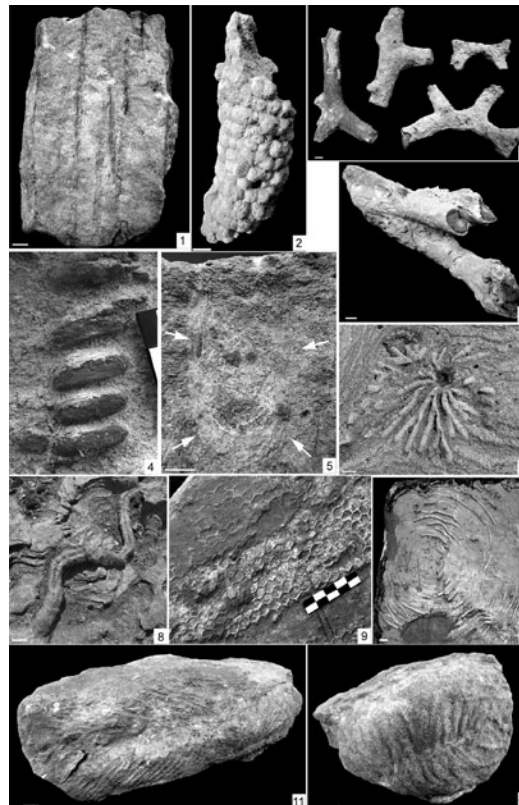


Fig. 11. Icnotaxones objeto de estudio e interpretación en el presente Taller. 1: Avipeda. 2: Chondrites. 3: Monomorphichnus. 4: Rebuffoichnus. 5: Gastrochaenolites y Entobia. 6: Maeandropolydora. 7: Oichnus. 8: Renichnus. Escala de las barras: 1 cm, menos en 8: 5 mm.



CONSERVACIÓN		ESTRUCTURA DE BIOTURBACIÓN <input type="checkbox"/>	
Relieve completo <input type="checkbox"/>	Estructuras superficiales <input type="checkbox"/>	ESTRUCTURA DE BIOEROSIÓN <input type="checkbox"/>	
Semirrelieve <input type="checkbox"/>	Bioenclaustramiento <input type="checkbox"/>		
Positivo <input type="checkbox"/>			
Negativo <input type="checkbox"/>			
ORIENTACIÓN		Clasificación Etológica	
Vertical <input type="checkbox"/>	Horizontal <input type="checkbox"/>	Inclinada <input type="checkbox"/>	Variable <input type="checkbox"/>
MORFOLOGÍA		Domichnia <input type="checkbox"/>	
Tubo cilíndrico, simple <input type="checkbox"/>	En forma de U <input type="checkbox"/>	o en V <input type="checkbox"/>	Calichnia <input type="checkbox"/>
Pista bilobada <input type="checkbox"/>	En forma de J <input type="checkbox"/>	o en Y <input type="checkbox"/>	Pupichnia <input type="checkbox"/>
Simple <input type="checkbox"/>			Fixichnia <input type="checkbox"/>
Con estrías <input type="checkbox"/>			Impedichnia <input type="checkbox"/>
En forma de cámara, bolsa, saco o celda <input type="checkbox"/>	Conexiones (Spreite)		Fodinichnia <input type="checkbox"/>
Refleja forma del productor <input type="checkbox"/>	Protusivo ↓ <input type="checkbox"/>		Pascichnia <input type="checkbox"/>
Forma regular o geométrica <input type="checkbox"/>	Retrusivo ↑ <input type="checkbox"/>		Praedichnia <input type="checkbox"/>
Ramificación <input type="checkbox"/>	Trayectoria		Cubichnia <input type="checkbox"/>
simple <input type="checkbox"/>	Rectilínea <input type="checkbox"/>		Repichnia <input type="checkbox"/>
compleja <input type="checkbox"/>	Continua <input type="checkbox"/>		Equilibrichnia <input type="checkbox"/>
Pared reforzada <input type="checkbox"/>	Irregular <input type="checkbox"/>		Fugichnia <input type="checkbox"/>
Orificios <input type="checkbox"/>	Meandriforme <input type="checkbox"/>		Mortichnia <input type="checkbox"/>
Roturas o cicatrices <input type="checkbox"/>	En forma de lazo <input type="checkbox"/>		Agrichnia <input type="checkbox"/>
Raspaduras <input type="checkbox"/>	Planiespiralada <input type="checkbox"/>		Filotaxia <input type="checkbox"/>
	Helicoidal <input type="checkbox"/>		Fobotaxia <input type="checkbox"/>
			Helicotaxia <input type="checkbox"/>
			Homostrofia <input type="checkbox"/>
			Reotaxia <input type="checkbox"/>
			Tigmotaxia <input type="checkbox"/>

Fig.12. Ficha simplificada para determinar el tipo de comportamiento en función de los criterios de Conservación, Orientación y Morfología de las pistas.

de fichas como la expresada en la figura 12. En ella se reflejan los criterios esenciales de clasificación, como son el tipo de conservación, la orientación y la morfología de cada una de estas pistas.

La combinación de todos estos caracteres permitirá establecer con mayor o menor precisión, el tipo de comportamiento que se puede deducir para la pista en cuestión.

En algunos casos esta precisión no será muy alta debido a los problemas o inconvenientes que se han descrito en el apartado: **Las Pegas en la interpretación** y que aparecen esencialmente cuando hay que analizar estructuras compuestas que indican comportamientos diferentes, sucesivos o simultáneos; o cuando aparecen pistas complejas que han sido reutilizadas por otras.

¿Y SI NO SE DISPONE DE UNA COLECCIÓN DE PISTAS FÓSILES?

En el caso de que no se disponga de una colección de pistas fósiles, la única solución es fabricar

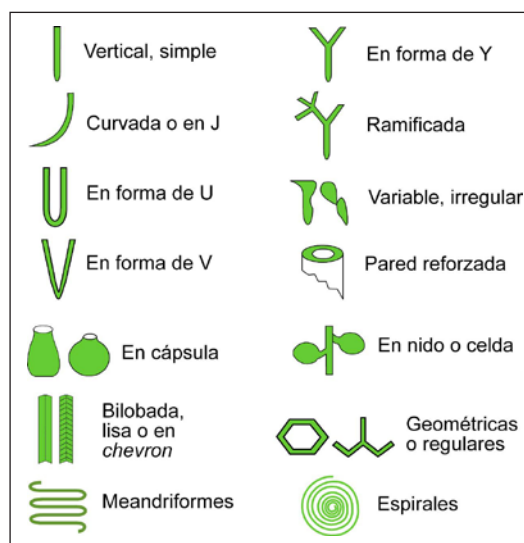


Fig.13. Morfologías que se pueden reproducir en plastilina para reconstruir los relieves completos más frecuentes en las pistas fósiles.

nosotros mismos alguna de las tipologías más características y sobre ellas, plantear en la medida de lo posible, las mismas cuestiones que si fueran piezas originales.

En primera opción, lo ideal sería poder hacer réplicas de pistas verdaderas, siguiendo las técnicas habituales (siliconas, resinas químicas, etc.) que se utilizan por ejemplo, para el caso de la obtención de copias de fósiles.

Si esto no es posible, habrá que construir algunas de las piezas básicas que nos puedan servir para simular la experiencia.

Dado que se ha establecido como principal criterio para la clasificación, las condiciones de conservación, se intentarán reproducir pistas que simulen un relieve completo, un semirrelieve, una estructura superficial o una cavidad en un esqueleto.

Crear un Relieve Completo

Tal y como se expresó en el gráfico de la figura 2, las pistas de relieve completo son cuerpos tridimensionales de contornos netos y sección transversal cerrada, generalmente situadas dentro de un estrato. De tal forma, el modo más sencillo y económico de construir un cuerpo tridimensional, es utilizar plastilina. Solo queda entonces, definir qué formas son las más comunes y que nos puedan servir para simular los casos más frecuentes. Son las recogidas en la figura 13.

También se pueden utilizar cables de cobre de diferente grosor o alambres de estaño como los que se utilizan para soldadura en el bricolaje, ya que ambos tipos son fácilmente flexibles y moldeables (Fig. 14).

Un manual muy interesante donde consultar las principales morfologías de las pistas fósiles y su reconstrucción espacial es Seilacher (2007).

El resultado de algunos de estos experimentos puede observarse en la figura 15.

Crear pistas en Semirrelieve y reproducir estructuras superficiales

Estos aspectos se pueden abordar fácilmente construyendo un estrato cuya superficie tenga diferentes características texturales, tanto en tamaño de grano como en consistencia (mayor o menor gra-

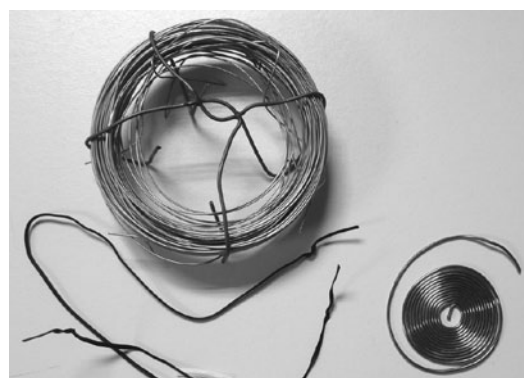


Fig.14. Cableado y/o alambres que pueden servir para simular el modelo de algunas pistas fósiles

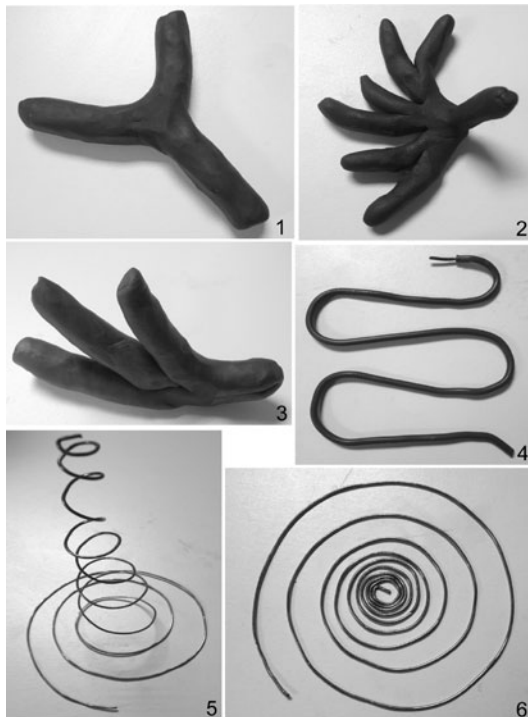


Fig.15. Algunos ejemplos de construcción de pistas fósiles con plastilina y alambre. 1: Thalassinoides. 2: Dactyloidites. 3: Phycodes. 4: Cosmorhaphe. 5: Reconstrucción de Spirorhaphe. 6: Spirorhaphe en planta.

do de endurecimiento). Para ello se pueden tomar tres bandejas poco profundas (5 cm de profundidad son suficientes) y rellenarlas sucesivamente con arena gruesa (de playa o de río) seca, arena fina lige-

ramente humedecida y mezclada con arcilla y arcilla muy húmeda (Fig. 16).

Una vez constituidas las tres superficies, se traza sobre ellas con la ayuda de un palo de madera (o cualquier otro objeto, incluso un fósil), diferentes recorridos (rectilíneos, curvos, meandri-formes, espirales, etc.), o se deja apoyar sobre ellas objetos diversos de tamaños y formas diferentes. La finalidad es reproducir los patrones relacionados con los tipos pascichnia, repichnia, agrichnia, cubichnia, fixichnia y mortichnia y comprobar, cómo en función de las características del sustrato, su registro y morfología son muy diferentes (trazos y rasgos menos marcados en la superficie de arenas gruesas y más netos, estrechos y mejor definidos en la arcilla húmeda) (Fig. 17).

Simular una cavidad en un esqueleto

Se trata de reproducir un comportamiento de Impedichnia, en el que un endosimbionte impide el crecimiento esquelético del anfitrión, que modifica su crecimiento para acomodarse al organismo que lo coloniza.

Para ello se puede disponer sobre una superficie plana un globo desinflado y sobre él un objeto pesado (una bola de acero o similar), que simularía al organismo endosimbionte. Conforme el globo se infla (el organismo anfitrión va creciendo), irá elevándose alrededor de la bola de acero, la cual tenderá a permanecer en el fondo, impidiendo y deformando el crecimiento normal del globo (Fig. 18).

Otro experimento que se puede realizar es intentar simular cómo se producen las estructuras rela-

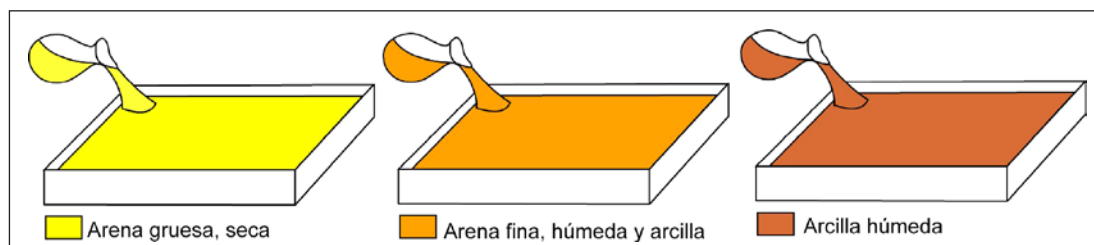


Fig.16. Preparación de tres superficies de diferentes características texturales para reproducir la simulación de pistas de semirrelieve y estructuras superficiales.

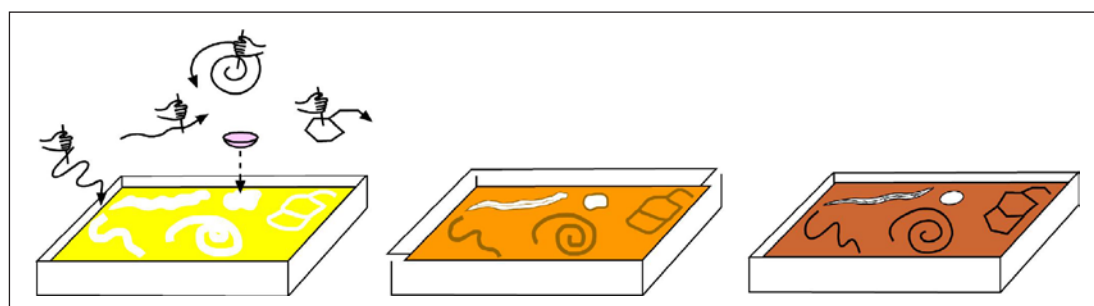


Fig.17. Trazos con diferentes recorridos para reproducir los modelos de los patrones relacionados con los comportamientos de pascichnia, repichnia, agrichnia, cubichnia, fixichnia y mortichnia.

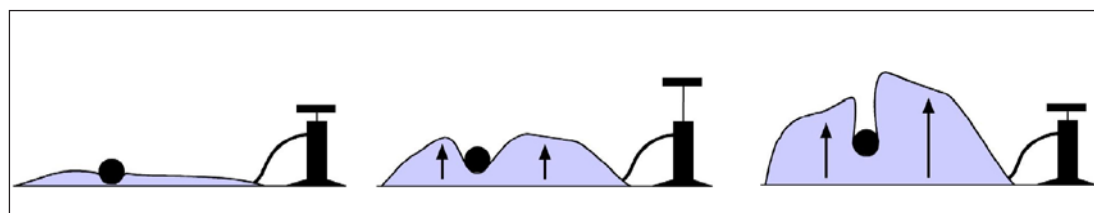
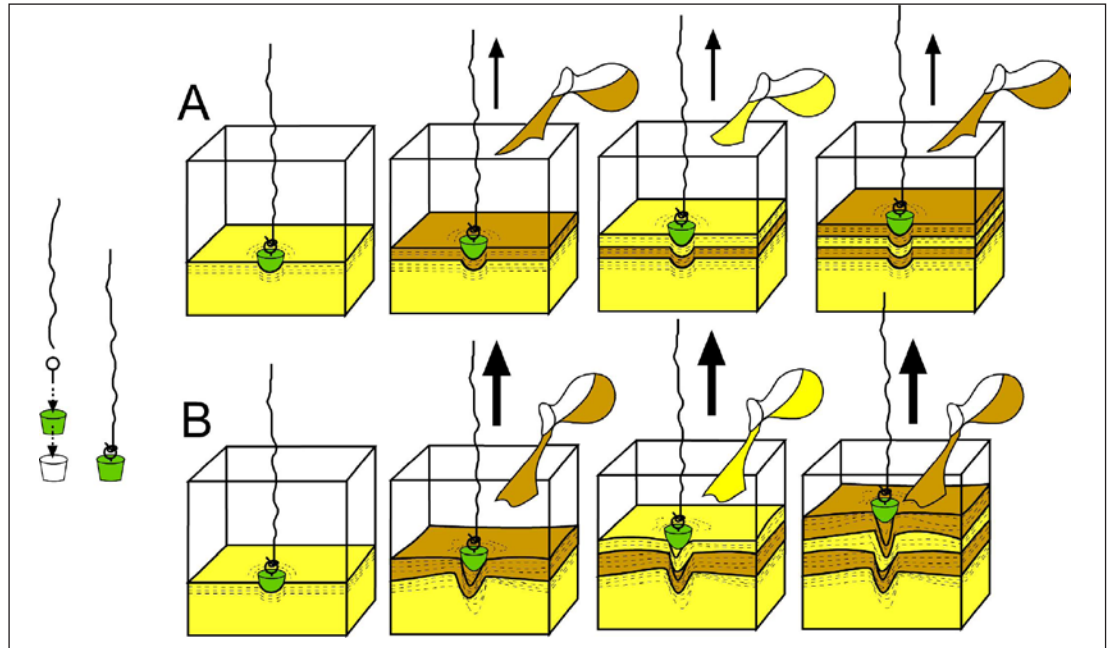


Fig.18. Experimento para recrear cómo se origina una cavidad producida por un organismo endosimbionte en el interior de un anfitrión, deformando e impidiendo su crecimiento. Estructura de Impedichnia.



Fig.19. Experimento para reproducir la formación de las estructuras relacionadas con un comportamiento de *Equilibrichnia* (A) y *Fugichnia* (B). A la izquierda se muestra una posibilidad de cómo construir el objeto utilizado para realizar la experiencia.



cionadas con los comportamientos de *Equilibrichnia* o *Fugichnia*. Para ello, se toma un recipiente transparente de metacrilato o cristal, que puede ser perfectamente una pequeña pecera o un jarrón (si es alargado y estrecho, mejor). Este recipiente se cubre primeramente con arena o tierra de un color y sobre él se inserta el objeto que representará el organismo que va a sufrir el proceso de enterramiento.

Este objeto se puede fabricar con una pequeña vela de las que van en un vaso o bien tomando un pequeño vaso y rellenarlo con plastilina. Sobre esa superficie se inserta una anilla conectada a una cuerda. En el caso de la vela, la cuerda se puede atar directamente a la mecha (Fig. 19). Si se utiliza una plomada de albañil, el proceso se simplifica.

Una vez instalado este objeto, semienterrado en la arena, se procede a cubrirlo paulatinamente con otra capa de arena (o tierra) de diferente color. Cuando el objeto está a punto de quedar totalmente enterrado se tira de la cuerda hacia arriba para recuperar la posición semienterrada que tenía al principio, pero lógicamente, en un nivel superior. Este proceso se puede ir repitiendo tres o cuatro veces (cada vez se entierra con una capa de color diferente) hasta que se obtiene la típica sucesión de *Equilibrichnia* (Fig. 19 A). Para obtener las estructuras de *Fugichnia*, el proceso es el mismo, solo que los enterramientos tienen que producirse de forma rápida (y tirar con la misma rapidez de la cuerda en cada proceso para evitar el enterramiento del objeto) (Fig. 19 B).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se integra dentro de la línea del Proyecto de Innovación Docente PID 11010 Creación del Museo Virtual de Paleontología de la Universidad de Huelva.

BIBLIOGRAFÍA

- Bromley, R. G. (1990). *Trace Fossils, Biology and Taphonomy*. Special Topics in Paleontology, Unwin Hyman, London, 280 p.
- Buatois, L. A. y Mángano, M. G. (2011). *Ichnology: Organisms-substrate interactions in space and time*. Cambridge University Press, 358 p.
- Buck, S. G. y Goldring, R. (2003). Conical Sedimentary Structures, Trace Fossils or Not? Observations, Experiments, and Review. *Journal of Sedimentary Research*, 73-3, 338-353.
- Gámez-Vintaned, J. A. y Liñán, E. (1996). Revisión de la terminología icnológica en español. *Revista Española de Paleontología*, 11.2, 155-176.
- Ekdale, A. A. (1985). Paleoecology of the marine endobenthos. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 50, 63-81.
- Frey, R. W. y Pemberton, S. G. (1985). Biogenic structures in outcrops and cores. I. Approaches to ichnology. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 33, 72-115.
- Muñiz, F. (1998). *Paleoicnología del Neógeno Superior en el sector suroccidental de la Cuenca del Guadalquivir, área de Lepe-Ayamonte (Huelva)*. Tesis Doctoral (inédita). Universidad de Huelva, 272 p.
- Müller, A. H. (1962). Zur ichnologie, Taxiologie und Ökologie fossiler Tiere. *Freiberger Forschungsh., C.*, 151, 5-49.
- Seilacher, A. (1953). Die fossilen Ruhespuren (Cubichnia). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 98.1, 87-124.
- Seilacher, A. (1964). Sedimentological classification and nomenclature of trace fossils. *Sedimentology*, 3, 253-256.
- Seilacher, A. (2007). *Trace Fossil Analysis*. Springer, 226 p. ■

Fecha de recepción del original: 10/04/2012
Fecha de aceptación definitiva: 08/05/2012