

PALEONTOLOGÍA I

Introducción a la Paleontología.

TEMA 1

CONCEPTO DE PALEONTOLOGÍA.

Desde el punto de vista etimológico, se trata de una palabra griega compuesta de tres raíces: palayos (antiguo), ontos (ser) y logos (estudio de). Por tanto, la Paleontología es la ciencia que estudia los seres vivos del pasado.

Los principios de la P. los establece Cuvier en el siglo XIX, de la P. como la conocemos actualmente. El término P. empieza a utilizarse a principios de ese siglo, para la ciencia que estudiaba los fósiles, siendo estos vestigios de organismos que vivieron en el pasado. La P. parece un poco descriptiva. En la actualidad se considera más dinámica, práctica. Trata de estudiar los organismos que vivieron en el pasado, la integración entre ellos, la relación con el medio en el que vivieron, en el que murieron o en que fosilizaron. Para llevar a cabo estos estudios, la P. utiliza como herramientas los fósiles.

FÓSIL: Del latín fósilis y del verbo fodere (cavar o excavar en la tierra). En el siglo I Plinio utiliza este término. No sería hasta el siglo XVI cuando Agrícola retoma el término fósil, en referencia a todos los cuerpos extraños extraídos de la tierra, considerando en esos momentos tanto a los restos de organismos como a los minerales o incluso a las piezas arqueológicas.

A finales del siglo XVIII es cuando se utiliza fósil en referencia exclusiva a los restos de organismos que vivieron en épocas pasadas y que sufrieron un proceso de fosilización mediante el cual se han conservado en las rocas. Actualmente los fósiles más modernos son los que provienen de organismos que vivieron durante la última glaciación cuaternaria (hace 13.000 años). Los restos de organismos más modernos (Neolítico) se consideran como subfósiles. Actualmente el concepto de fósil es más amplio que en su inicio y se entiende por él no sólo cualquier resto material de organismos que vivieron en el pasado, sino también aquellas manifestaciones de actividad de los organismos que ponen de manifiesto su existencia real. También algunas trazas químicas que evidencian su existencia se pueden considerar fósil.

En relación con su sentido más práctico del término y al tamaño de los restos, con frecuencia veréis utilizar el término microfósil (restos analizados con microscopio), nannofósil (analizado con microscopio electrónico) y mega/macrofósil. Actualmente el fósil no puede estudiarse como un ente aislado sino que debe de integrarse en relación con el contexto que lo rodea.

CONCEPTO HISTÓRICO DE LA PALEONTOLOGÍA.

La P. trata de estudiar la vida en el pasado, por tanto el factor tiempo es especialmente importante, que además le da a la P. un carácter histórico. Para algunos autores (Le Renzi, p. e.) la P. sería fundamentalmente Paleobiología (biología de organismos antiguos). La P. aportaría la dimensión histórica a la biología. En este sentido habría que considerarla dentro de las ciencias de la vida. Sin embargo, la P. utiliza los fósiles para su estudio, los cuales están en la litosfera, la cual se estudia por la Geología. En este contexto la P. estaría relacionada con las CC. de la Tierra. Además, para otros autores la P. no es exclusivamente Paleobiología, sino que podemos diferenciar una parte dedicada al estudio del paso de los restos desde la biosfera a la litosfera (Tafonomía), una parte dedicada a la biología de los organismos antiguos (Paleobiología) y una dedicada a la ubicación de los restos fósiles en la escala de tiempo geológico (P. estratigráfica). De estas tres partes destacaremos la Tafonomía como la rama de la P. que trataría de estudiar las transformaciones y

modificaciones del registro fósil y cómo ha pasado de la biosfera a la litosfera. La Tafonomía ocuparía por tanto un espacio entre las CC. de la vida y de la Tierra. Además la P. se acerca a las CC. de la Tierra en el sentido en el que no se pueden hacer experimentaciones directas sobre los objetos analizados, mientras que en las CC. de la vida la investigación se basa en experimentaciones directas. No se puede encerrar a la P. tanto en las CC. de la vida o en las CC. de la Tierra, sino que más bien la P. utiliza los medios y sustenta a la Biología Y Geología. Cualquier paleontólogo actualmente tiene que tener conocimientos amplios tanto de Biología como de Geología.

FUNDAMENTOS EN LOS QUE SE BASA LA PALEONTOLOGÍA.

Como disciplina relacionada con las CC. de la vida, se fundamenta en la Teoría ecológica y la Teoría evolutiva. La primera viene a decir que los organismos deben ser considerados como sistemas que intercambian energía entre sí y con el medio que lo rodea. Estos organismos se reparten en poblaciones de distintas especies relacionadas entre sí y con el medio en el que viven formando un sistema de organización denominado ecosistema. La Tª evolutiva plantea que el mundo orgánico cambia y que los organismos que forman parte del ecosistema evolucionen en relación con ésta.

LA PALEONTOLOGÍA COMO DISCIPLINA DE LAS CC. DE LA TIERRA.

La P. se marca dentro de lo que sería la tectónica de placas, que considera que la corteza terrestre está dividida en una serie de fragmentos o placas que se mueven unos respecto de otros, con creación y desaparición de partes en esta corteza. La P. hay que estudiarla también dentro de un fundamento propio (la Tafonomía) que nos viene a decir que la información que nosotros recibimos de la vida en el pasado no depende sólo de procesos biológicos y geológicos, sino que está también controlada por los procesos de fosilización (transformaciones y modificaciones que se han dado en los restos fósiles).

PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA PALEONTOLOGÍA.

Estos fueron enunciados por Couvier y, aunque parezcan desfasados, son la base de la P. moderna.

- Principio del **Actualismo**: Los procesos que ocurrieron en el pasado sucedieron de la misma manera que suceden en la actualidad. En lo que respecta al Actualismo paleontológico, éste establece que los organismos cuyos restos encontramos fosilizados se regían por las mismas leyes biológicas que los de los seres vivos actuales, es decir, organización equivalente o las mismas necesidades biológicas. Este principio se basa en la continuidad del proceso vital a lo largo de los tiempos geológicos, es decir, desde la aparición a la extinción de un organismo, especie... sin existir ninguna interrupción.

Algunos de los estudios que se realizan en P. tratan de analizar la naturaleza de los fósiles y de llevar a cabo la clasificación de los mismos. Para ello la P. se basa en otros dos principios expuestos por Couvier: Principio de la Anatomía Comparada y Principio de la Correlación Orgánica.

- Principio de la Anatomía Comparada: Cuando un resto que se reconoce en el registro fósil es suficientemente significativo, la comparación de éste con animales y plantas actuales, analizando sus analogías y contrariedades, permiten identificar al organismo original pudiendo llegar a su clasificación.
- Principio de la Correlación Orgánica: Las diferentes estructuras de los órganos e incluso caracteres de los organismos están relacionadas entre sí a modo de piezas de una máquina e integradas como un todo funcional. A partir del análisis de algunas piezas fósiles se podría llegar a componer un organismo entero. Se podrían llegar a reconstruir todas las partes que faltan incluso en formas que fueron exclusivamente fósiles.

Otra de las partes de la P. es aquella que trata de ubicar a los fósiles en el tiempo.

- Correlación Bioestratigráfica o Cronología Relativa: Establece que el orden de superposición de los estratos corresponde al orden cronológico en el que se depositaron los sedimentos, es decir, los estratos más antiguos estarán debajo de los más modernos y, por tanto, los fósiles contenidos en un estrato serán posteriores a los contenidos en estratos subyacentes y anteriores a los contenidos en estratos suprayacentes.

Todos estos principios (siglo XIX) fueron enunciados por Pictet en una serie de leyes anteriores, las cuales perdieron vigencia por ser rebatidas o completadas:

- 1ª ley: La duración de las especies de las épocas geológicas ha sido limitada, es decir, que los organismos, especies, género, familias... aparecieron y se extinguieron. Esta ley va a ser especialmente importante para el Principio de Cronología Relativa porque según esta ley los organismos fósiles se van a limitar a un determinado intervalo de tiempo.
- 2ª ley: Las diferencias existentes entre faunas fósiles y animales actuales son tanto más acusadas cuando más antiguos sean los organismos, excepto fósiles vivientes.
- 3ª ley: Los animales de las faunas más recientes, tienen formas más variadas que la de los animales fósiles. Es mayor la complejidad en general. El número de taxones va a aumentar desde las faunas fósiles a las actuales.
- 4ª ley: Los animales más perfectos y de organización más compleja son relativamente más recientes, es decir, la mayoría de taxones han evolucionado hacia una mejora y una mayor eficacia.
- 5ª ley: Desde el momento de aparición de un grupo biológico hasta su extinción no ha existido ninguna interrupción en su existencia.
- 6ª ley: La distribución geográfica de los grupos biológicos ha sufrido cambios a lo largo del tiempo, es decir, que cualquier grupo biológico actual lo podemos reconocer en diferentes áreas, ya sea por efectos de tipo geológico o bien por migración de los organismos.

OBJETIVO Y LÍMITES DE LA PALEONTOLOGÍA.

Los objetivos fundamentales de la P. son el estudio de los fósiles y el estudio de las manifestaciones de la vida a lo largo del tiempo. Un antiguo objetivo de la P. era describir y clasificar los fósiles. Cuando Smith puso de manifiesto su principio se utilizó para datar los sedimentos. A partir de entonces la P. se ha diversificado mucho más. Así podemos diferenciar entre objetivos directos o inmediatos de la P. Éstos serían interpretar los procesos de fosilización e interpretar los restos desde un punto de vista anatómico y funcional, identificar las afinidades y la posición de los restos, en el conjunto de seres vivos y asignar a los restos un momento dado de la escala temporal.

Los objetivos indirectos son los que se basan en el estudio del organismo que representa el resto: la relación entre los organismos que pertenecen a una misma asociación, la distribución espacial de estos organismos, la distribución vertical de los organismos y la integración de estos organismos en la interpretación de problemas de tipo evolutivo.

La P. como ciencia también tiene sus límites. Pese a la enormidad del registro fósil y los avances tecnológicos del momento, aún hay muchos vacíos y muchas incógnitas en la evolución. Lo que reconocemos en el registro fósil no representa de manera directa el medio en que vivieron, ni el número de individuos es el mismo, ni la forma o el terreno es el mismo, ni en la mayoría de ocasiones la posición es la misma. Por tanto, no se debe tomar el registro fósil como la situación original.

TEMA 2

INTERPRETACIONES HISTÓRICAS DE LOS FÓSILES Y DESARROLLO DE LA PALEONTOLOGÍA

• Época Clásica:

La escuela pitagórica (siglo VI) interpreta de manera correcta la existencia de fósiles marinos en tierra firme. Para él se trataba de invasiones terrestres del mar. Sin embargo, frente a esta teoría aparece la de Empédocles, el cual, estudiando unos huesos fósiles de elefante los atribuye a gigantes marinos, apareciendo así la gigantología. Pero quizá las más erróneas, no por ellas en sí sino por sus enunciadores, son las de la escuela platónico-aristotélica (siglo I), que dice que no tienen origen orgánico. Según esta escuela son producto de una fuerza formadora que da lugar a una semilla que produce los fósiles. Aristóteles cree que son juegos o experimentos fallidos de la naturaleza.

Los romanos tienen a dos exponentes: Estrabón (siglo I), que se cree en su origen orgánico y Plinio el Viejo, que no cree en el origen orgánico, llegando a decir que los dientes de tiburón son piedras lengua que caían en los eclipses de luna.

Pese a lo descabellado de éstas ideas, se mantuvieron hasta el siglo XVIII.

• Época medieval:

Aquí se siguen manteniendo las ideas platónico-aristotélicas. Avicena cree en la existencia de un fango primitivo al que le asigna una fuerza creadora.

Alejandro Magno cree en la existencia de un poder petrificante.

Las únicas ideas que se contraponen a las de la escuela platónico-aristotélica son ideas basadas en la Biblia por los padres de la Iglesia de aquella época, que interpretaban los fósiles como víctimas del diluvio universal.

• Época moderna:

Aunque persisten ideas acerca del carácter inorgánico de los fósiles, en el Renacimiento se imponen las ideas sobre su naturaleza orgánica, interpretándolos como depósitos marinos producto de invasiones del mar sobre la tierra. El máximo impulsor de estas ideas fue Leonardo, seguido por muchos otros.

Éstas fueron las primeras ideas un tanto vanguardistas de la época moderna, pese a la todavía fuerte oposición de la escuela platónico-aristotélica que mantendría su influencia hasta mediados del siglo XVIII.

Desde el siglo XVI hasta el siglo XVIII hay tres grandes corrientes claramente definidas:

- Es la formada por aquellos que todavía creen en el origen inorgánico de los fósiles. Destacamos a Agrícola, que decía que los fósiles eran consecuencia de un fluido compactante del interior de la tierra. También se hablaba de concreciones pétreas, tierra viscosa, vapores merinos, caprichos de la naturaleza, esto dicho por Voltaire...
- Aquí se habla del diluvio universal como origen, defendida por Scheuchzer y sin más relevancia.
- La única acertada y la menos seguida. Defendía el carácter orgánico de los fósiles.

Entre tanta corriente cabe destacar a Gerner, que es el primero en introducir ilustraciones y comentario científicos en sus tratados. También son reseñables Stenser, que a finales del siglo XVII introduce los razonamientos científicos para el estudio de los fósiles, y Hooke, quien a principios del siglo XVIII manifiesta que los fósiles procedían de organismos que no se reconocían en la actualidad. Propone que algunas especies orgánicas debieron ser destruidas o aniquiladas.

Hooke fue el primero en pensar en la extinción. A partir de esto todo el mundo coincide en el carácter orgánico de los fósiles pero surge un nuevo problema, y es el de la controversia entre las nuevas ideas:

transformistas, catastrofistas...

- **Historia contemporánea:**

Destacamos primeramente a Cuvier. Profesor de anatomía, centró sus estudios e investigaciones en los vertebrados. Es, posiblemente, el padre de la P. moderna. A partir del análisis de vertebrados y, colaborando con St. Hilaire, propone los principios de anatomía comparada y correlación orgánica. Será el primer paleontólogo que compare restos actuales con restos fósiles siendo también el primer reconstructor de uno de ellos.

En la época contemporánea destacamos también a Brongniart. Según éste, la posición relativa de los estratos podía ser caracterizada según el contenido fósil.

Siguiendo estas ideas, Smith propone el principio de correlación relativa, diciendo que los estratos se podían identificar por su contenido en fósiles.

Al margen de todo esto, Cuvier propone la existencia de catástrofes a lo largo de la historia de la Tierra, que dan lugar a la extinción de las especies, proponiendo también la posibilidad de migraciones. Este es el desarrollo de las ideas catastrofistas.

En contrapunto, Lamarck piensa que las extinciones no existen y que lo que ocurre es que los organismos se van transformando constantemente en respuesta a los cambios medioambientales, por lo que son diferentes. En esta idea se basan los transformistas.

Oponiéndose a todos aparece Lyell. No está de acuerdo con ninguna de las ideas y no encuentra ninguna evidencia de progresión en el registro fósil. Dice que el que el registro fósil sea diferente al actual se debe a la pobreza del primero, negando así cualquier cambio y enunciando la teoría gradualista.

Más tarde, Darwin impulsa las evidencias de evolución en relación con cambios medioambientales y con variaciones genéticas. Para él la evolución ha de ser de tipo gradual, iniciándose así la búsqueda de eslabones perdidos, apareciendo el Archeopteryx.

Complementando estas ideas aparecen Huxley y Mendel, con sus teorías de la evolución y genética, respectivamente.

DISCIPLINAS DE LA PALEONTOLOGÍA

- Técnicas instrumentales. Macro y micro P. Muy prácticas, pero poco efectivas.
- Objetivos: Fundamental: Estudio de organismos. Sistemáticos: Evolución. Aplicados: Datación de estratos.
- Temas de trabajo: Estudio de las manifestaciones de la vida a lo largo del tiempo. Hay que realizar divisiones dentro de la P. para que el estudio sea más efectivo. Estas divisiones se hacen en base al tipo de organismos que se pueden estudiar. Se divide en Paleozoología y Paleobiología.

Dentro de los temas de trabajo hay otra serie de divisiones que son más específicas:

Tafonomía: Es la parte que se centra en el origen de los restos fósiles. Empieza a desarrollarse a mediados de siglo XX con unos objetivos bien definidos: estudiando los procesos de fosilización de ha de conocer el origen y modificaciones que ha experimentado el registro fósil.

Es uno de los campos de la P. en los que más se trabaja. Cualquier estudio paleontológico ha de estar respaldado por un buen estudio tafonómico. Así mismo, para profundizar en sus estudios, la tafonomía va a

integrar conocimientos de otras disciplinas: ecología, mineralogía estratigrafía y/o sedimentología.

Paleontología estratigráfica o bioestratigrafía: Se reconoce cierta confusión entre ambos términos. Será Smith a principios del siglo XIX quien ponga de manifiesto la utilidad de los fósiles en la correlación, sentando así los principios de los que será la P. estratigráfica. Sin embargo, Dollo, a principios del siglo XX propone el término bioestratigrafía en sustitución del anterior. Desde entonces hasta ahora se han venido usando casi indistintamente.

La bioestratigrafía es la disciplina de la P. que trata de la división y correlación del registro estratigráfico a partir del contenido fósil. Según la Unión Estratigráfica Internacional, la bioestratigrafía sería una rama de la estratigrafía, aunque sus criterios sean paleontológicos. Pero, precisamente por esto último, debe considerarse como una rama de la P.

La unidad fundamental de la bioestratigrafía es la biozona. Éstas vienen definidas por un determinado taxón, por un conjunto de taxones, por abundancias relativas entre taxones o por cualquier característica relacionada con el contenido y distribución de los fósiles en los estratos.

Paleobiología: Trata de la biología de los organismos antiguos. Se divide en una serie de disciplinas como son:

- **Sistemática y taxonomía:** La primera en P. tiene como objetivo la clasificación agrupación y ordenación del conjunto de organismos fósiles. Las reglas de clasificación utilizadas por la sistemática forman el cuerpo de la taxonomía, es decir, la taxonomía implica la nomenclatura de las distintas unidades taxonómicas, incluyendo los aspectos legales y científicos.

Sería Ligneo a finales del siglo XVIII quien propusiese las reglas y nomenclaturas destinadas a la clasificación de los fósiles y, actualmente, cualquier investigación ha de regirse por los códigos de nomenclatura zoológica y botánica.

Existen diferentes métodos de clasificación, aunque en general se utiliza el propuesto por Cuvier en base a la jerarquía de los caracteres, es decir, los distintos elementos del sistema se agrupan en jerarquías dependiendo de la viabilidad de los caracteres. Así, los caracteres más constantes y menos variables son usados para las jerarquías de mayor rango, y los menos estables y de menor importancia se usan para los de menor rango. Las distintas jerarquías son: reino, phylum, clase, orden, familia, tribu, género, especie y subespecie. A pesar de esta división, todavía se pueden introducir jerarquías intermedias.

Morfología: Trata del estudio de la forma y estructura de los organismos. Los primeros trabajos de morfología son los de anatomía comparada de Cuvier. Desde esos primeros trabajos a la actualidad, se ha reconocido un gran avance, especialmente por la utilización de métodos estadísticos que formarían el cuerpo de la biometría y de los métodos cuantitativos, dentro éstos de la morfometría.

El análisis de la forma en P. tiene mucho interés, no sólo por conocer el organismo antiguo, sino que a partir de la forma se van a caracterizar aspectos como el modo y el medio de vida.

En general, existen distintos tipos de aproximaciones al estudio de la forma, como los estudios de tipo construccional, basados en el análisis de todos los factores influyentes en la forma; o de tipo teórico, que se basan en el estudio de todas las formas teóricas posibles.

Paleoecología: Su objetivo es el estudio de los organismos que vivieron en el pasado, sus interacciones entre sí y con el medio en el que vivieron. En este sentido se diferencian dos grandes campos: el que se dedica al estudio de las interacciones entre los organismos y su medio, y el que estudia las interacciones entre ellos y su integración en la comunidad.

Los estudios paleoecológicos, pese a ser de gran importancia, poseen dos grandes problemas: uno de tipo tafonómico, ya que los procesos de fosilización van a actuar en contra de la caracterización de lo que sería la biota original, y otro que consiste en la dificultad de conocer las características del medio (temperatura, luminosidad, etc.).

Paleobiogeografía: Tiene como objetivo estudiar la distribución espacial de los organismos, incluyendo el análisis de los factores ecológicos e históricos que han determinado esa distribución.

Dependiendo de sus objetivos diferenciamos una paleobiogeografía aplicada, cuyo objetivo es utilizar la distribución de los organismos para resolver problemas de tipo paleoclimático, tectónico, etc.; y otra en un sentido más estricto con el objetivo de conocer el cómo y el porqué de la distribución de esos organismos.

Así se diferencian dos grandes escuelas dentro de los estudios de la paleobiogeografía: la para la que la distribución de los organismos viene determinada por las interacciones entre sí y con el medio en el que vivieron, y la escuela histórica, que piensa que la distribución de los organismos viene determinada por los procesos históricos, dependiendo de situaciones anteriores.

PALEONTOLOGÍA EVOLUTIVA.

El registro fósil va a ser de gran utilidad en estudios evolutivos al proporcionar un marco histórico a la evolución, marco que no se obtiene a través de estudios estrictamente biológicos. Los cambios evolutivos se pueden llevar a cabo a escalas de tiempo muy diferentes, lo que permite distinguir entre microevolución y macroevolución. La microevolución es la evolución que tiene lugar en rangos de tiempo muy cortos (tiempo ecológico) y afecta fundamentalmente en el ámbito de poblaciones o, como mucho, a nivel de especies. La macroevolución se refiere a los cambios evolutivos de rango temporal amplio (tiempo geológico) y afecta fundamentalmente a la formación de especies o de grupos taxonómicos mayores. En lo que se refiere al registro fósil, la paleontología evolutiva se refiere fundamentalmente a la macroevolución, ya que los procesos microevolutivos son de un rango temporal tan corto que son difíciles de apreciar en el registro fósil. Existen diversos modelos para explicar los cambios evolutivos. Así, la teoría sintética propone que la evolución es un proceso uniforme y que los cambios micro y macroevolutivos son de la misma naturaleza y simplemente los macroevolutivos se formarían por acumulación de cambios microevolutivos. Otras teorías, sin embargo, proponen la existencia de una jerarquización de manera que los cambios evolutivos serían distintos dependiendo de la jerarquía. En cualquier caso, todos los modelos evolutivos normalizan la intensidad, el ritmo, la naturaleza y la direccionalidad del cambio. Por ejemplo, la teoría sintética propone que los cambios son graduales, continuos, lentos y siempre en la misma dirección. Otras teorías, sin embargo, proponen que los cambios van a ser bruscos, rápidos y en diferentes direcciones. Entre ambos extremos van a existir teorías intermedias.

METODOLOGÍA DE TRABAJO EN PALEONTOLOGÍA

La paleontología, como una ciencia natural, se basa en la observación del registro fósil y en la descripción e interpretación del mismo. Como cualquier ciencia va a seguir una serie de pautas en el marco de lo que sería el método científico. Sin embargo, la metodología que se utilice variará de la disciplina paleontológica, de los objetivos que se pretendan alcanzar y del tipo de material estudiado. Se pueden diferenciar cuatro partes dentro del estudio paleontológico:

- Observación del yacimiento y muestreo o recolecta de los fósiles: Una vez que se selecciona el yacimiento, y de manera simultánea a la extracción de las muestras, se lleva a cabo el análisis tafonómico, y ese tipo de datos deben de tomarse lo más objetivos posibles (plantillas, cuestionarios etc.). Junto con el análisis tafonómico van a ser importantes todas las observaciones de tipo estratigráfico y sedimentológico.
- Muestreo: El muestreo va a estar condicionado por los objetivos que se planteen, por la resolución

que se quiera obtener y por el tipo de facies o de fósiles. El muestreo siempre debe de cumplir dos condiciones: que sea tan detallado como sea posible y que se realice con un tamaño de muestra estándar.

- Curvas de rarefacción: Relacionen el número de ejemplares extraídos con el número de taxones. La curva determina un tamaño representativo.
- Extracción de la muestra: Cuando se trabaja en macropaleontología, las muestras se extraen directamente en el campo. En micropaleontología, las muestras se extraen del material en el laboratorio.
- Preparación del material: La preparación va a depender del tipo de muestra y del material encajante. Cuando tenemos rocas compactas se utilizan métodos físico-mecánicos y para la limpieza se pueden utilizar métodos químicos (ácidos, consolidantes etc.). En estos materiales se suelen realizar láminas delgadas o cortes pulidos que permiten estudiar la estructura interna. Si se trata de materiales sueltos (margas, por ejemplo), se disgrega la muestra, se lava mediante una técnica denominada levigado y se utilizan ácidos para separar los restos. Una vez separados, las muestras se siglan, sigla que representará el lugar de extracción, el sitio de la columna y el número de orden del fósil.
- Estudio de los fósiles en el laboratorio: Es la parte que más ha avanzado en los últimos años, sobre todo en el tratamiento de los datos y por el uso de ordenadores. Son muchas las técnicas que se usan en el estudio de los fósiles: técnicas de computación, microscopio óptico, SEM, TEM, radiografías, scanner, rayos X, microsondas, análisis de isótopos...
- Comunicación de los resultados: Los métodos más frecuentes son los congresos, reuniones y la publicación de los resultados en libros y revistas especializadas. Un gran avance en esta cuestión ha sido la posibilidad de estar en bibliotecas universitarias a través de internet. También ofrece un aspecto esencial: la posibilidad de comparar fósiles de distintos lugares del mundo.

TEMA 3

TAFONOMÍA: INTRODUCCIÓN Y NATURALEZA DEL REGISTRO FÓSIL

La tafonomía es una disciplina de la P. que aparece en 1940 con Efremov como principal impulsor. Su objetivo es analizar cómo se ha originado y qué modificaciones ha experimentado el registro fósil, así como los procesos de fosilización a partir de los mismos fósiles. El registro fósil va a ser una entidad capaz de mantener, transmitir y generar información

Hay dos principales confusiones en tafonomía, de las cuales salen dos especies de corrientes, no en el sentido estricto de la palabra.

- Consideración del registro fósil como registro orgánico: Para muchos autores, el registro fósil es un objeto biológico, como si se tratase de materia orgánica, e incluso en algunos trabajos sobre tafonomía podemos ver cómo se utilizan términos como comunidad, organismo, etc. y se habla del registro fósil como flora y fauna. Aunque procede de materia orgánica, no forma parte de ella.
- Consideración del registro fósil como registro estratigráfico: Para estos autores, los fósiles forman parte de los sedimentos. Pero la tafonomía tiene una entidad propia y si bien es verdad que utiliza datos geoquímicos, biológicos, etc., debe considerarse independiente de lo que serían estudios estrictamente geológicos o biológicos.

Además de estas dos corrientes, surgen otras dos concepciones de la tafonomía:

- Clásica: No se tiene en cuenta todos los sucesos y se pierde información paleobiológica.
- Dinamicista: A lo largo del proceso tafonómico, se genera otro tipo de información, que va a ir aumentando a lo largo del proceso tafonómico.

EL PROCESO DE FOSILIZACIÓN Y DISTINTOS TIPOS DE FÓSILES

La fosilización comienza con la producción del resto o de las señales de actividad de los organismos. Frecuentemente se ha dicho que la fosilización comenzaba con la muerte del organismo que producía los restos (procesos post-mortem). Sin embargo, la muerte de los organismos va a ser sólo uno de los procesos que van a dar lugar a la producción de restos o señales.

Hay cuatro tipos de fósiles (aunque en el primero englobamos dos):

Fósiles corporales: Por regla general, sólo fosilizan las partes esqueléticas de los organismos y suelen perderse los tejidos y las partes blandas. Numerosos organismos actuales y la mayoría de los fósiles se reconocen porque poseen algunas partes mineralizadas que van a quedar en el registro fósil. Estas partes suelen servir de soporte a los organismos y en general mantienen la forma después de la destrucción de las partes blandas. De ahí que en el conjunto las llamaremos esqueletos.

Éstos son desde el punto de vista paleontológico los más abundantes: escamas, conchas, etc., aunque también se pueden reconocer algunos esqueletos de cartílago o córneas. Normalmente, durante la fosilización, estos esqueletos mineralizados suelen sufrir cambios mineralógicos. En los casos más favorables, se producen cambios molécula a molécula sin que se altere la estructura interna. Es lo que se denomina epigénesis. Con frecuencia, lo que se reconoce en el registro fósil son moldes y réplicas, tanto de la estructura interna como de la externa. Los fósiles de sedimento pueden conservar ambas, y los de medio líquido, recristalizaciones o rellenos geopetales.

Huellas o impresiones: Son los tejidos o partes blandas de los organismos que, antes de destruirse rápidamente, dejan su impronta en el sedimento.

Estructuras biogénicas o etológicas: Se denomina como tal a toda evidencia tangible de la actividad de un organismo fósil o actual distinta de la producción de partes corporales. Son evidencias o expresiones indirectas del comportamiento.

Recientemente, este término se ha sustituido por etología para algunos autores: Son evidencias tangibles de la actividad de uno o varios individuos, tanto fósiles como actuales, que registran en mayor o menor grado el comportamiento del productor/es mediante la interacción activa con el substrato o mediante la producción del sedimento. Todas ellas son estudiadas por la paleoicnología.

Quimiofósiles o fósiles químicos: Son aquellas sustancias de origen orgánico que están contenidas en las rocas y que permitan poner de manifiesto la presencia de organismos vivos. Estas pistas de índole químico se asocian a una actividad orgánica y no se registran o lo hacen en pequeñas cantidades en el medio inorgánico: composición isotópica del C: la proporción de C12 y C13 es distinta en materiales orgánicos. Esta actividad orgánica ha sido utilizada en materiales de unas 3.800 m a.

Actualmente, los más utilizados son las moléculas orgánicas, que se conservan tanto en materiales antiguos como en cuerpos extraterrestres. Existen algunas muy resistentes que mantienen su estructura a lo largo del tiempo, como algunas proteínas con 300.000 años de antigüedad, algunos restos proteicos y aminoácidos con 3.000 m a. reconocidos en materiales del mesozoico e incluso en meteoritos.

COMPOSICIÓN DE LOS MATERIALES BIOLÓGICOS Y DE LOS FÓSILES

La conservación de un resto tal y como se produjo es bastante difícil. Son pocas las situaciones en las que la estructura y composición del resto se mantienen sin cambio. Este tipo de conservación se reconoce en materiales modernos, pero conforme avanzamos en la escala del tiempo estas conservaciones son difíciles de reconocer. Cuando se produce el resto las partes orgánicas se destruyen. Para que esto no ocurriera deberían

enterrarse rápidamente, para aislarlos de la actividad biológica o la propia atmósfera. Pero, en general, lo que se conservan son los restos esqueléticos. El grado de preservación de estos restos va a depender de: la estructura y composición del caparazón; de la naturaleza y tamaño de grano del sedimento; de las condiciones químicas del medio y de los procesos diagenéticos posteriores. En lo que respecta a la composición del caparazón, en general, el grado de conservación se relaciona con la mineralogía, la estructura interna y la cantidad de materia orgánica que posea la concha. En los materiales biológicos, las conchas son fundamentalmente carbonatadas y, respecto a éstas, la calcita es más estable que el aragonito, es decir, las conchas tienden a conservarse peor cuanto más cantidad de Mg posean.

A lo largo del proceso de fosilización se van a producir una serie de transformaciones químicas. Cualquier sustancia que sea soluble a unas determinadas condiciones (temperatura o pH) puede actuar como material fosilizante. Sin embargo, los más frecuentes son los siguientes:

- CaCO_3 : En forma de calcita es el mineral con mayor disfunción y movilidad en las rocas sedimentarias, por tanto es el agente fosilizante más frecuente. La mayoría de las rocas están formadas total o parcialmente por CaCO_3 y, en algunas ocasiones, tenemos concreciones de carbonato cálcico que envuelve al resto y que permite su conservación
- SiO_2 : Cuando las condiciones geoquímicas del medio son favorables, especialmente en pH, se producen soluciones que actúan como agentes de fosilización. La sílice, por ejemplo, en algunas ocasiones sustituye al CaCO_3 en algunas conchas, rellena poros en las maderas o en la turba y también forma nódulos en el interior, en las cuales se conservan los restos. Ha sido especialmente importante para la preservación de células de algas y de filamentos en rocas del precámbrico. Normalmente la encontramos como calcedonia y en muchas ocasiones la silicificación permite una conservación especialmente buena de algunas estructuras. También organismos de composición silíceas, como los radiolarios, se conservan con esta composición en el registro fósil. Los radiolarios, junto con las erupciones volcánicas, son los que aportan la sílice al agua.
- FeS : Se puede presentar en forma de pirita, pero casi siempre lo hace como marcasita. Al producirse la descomposición de la materia orgánica se desprende HS y, este ácido, que suele reaccionar con sales de Fe que se encuentran en el medio, forma el FeS . Posteriormente, la pirita o marcasita se oxidan y dan lugar a limonita, su forma más reconocible. Se dan en condiciones de poco oxígeno.
- C: Es el proceso de fosilización más frecuente en los restos vegetales formados por celulosa, e incluso de algunos restos esqueléticos de ciertos organismos. A lo largo de este proceso, produce el progresivo enriquecimiento con carbono, formándose incluso una fina capa de grafito que actúa como material fosilizante. Este proceso fue muy común en el carbonífero.
- $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$: Aparece en los fósiles de vertebrados, ya que forma la mayor parte de sus esqueletos. A lo largo del proceso de fosilización los poros que quedan en esos restos se van rellenando de carbonato cálcico, e incluso el mismo fosfato cálcico se sustituye por el CaCO_3 . Fuera de estos restos, en invertebrados, existen algunos ejemplos, como los braquiópodos. El P necesario para esta composición proviene fundamentalmente de materia orgánica existente en el sedimento.
- CaSO_4 : Se da fundamentalmente en yeso. En éste aparece como material fosilizante en algunos niveles en los que han circulado aguas ricas en este tipo de sales. Proviene de facies lagunares. Sin embargo, la conservación de fósiles en yeso es muy difícil, ya que es un mineral muy inestable y que en la diagénesis rápidamente se disuelve, de manera que lo que nos queda es el hueco.

TEMA 4

FASES DEL PROCESO TAFONÓMICO Y ENTIDADES RELACIONADAS

Tradicionalmente dentro de lo que sería el proceso tafonómico, se ha diferenciado tres acontecimientos fundamentales: la muerte, enterramiento y descubrimiento de restos. Pero la muerte no es el único acontecimiento que da lugar a la fosilización, sino la producción. Se entiende por producción a todos aquellos procesos de carácter paleoecológico y tafonómico a través de los cuales las entidades o asociaciones

producidas. En este sentido se entiende por entidad paleobiológica a los organismos vivos individuales especies y poblaciones que pueden dar lugar a restos o señales susceptibles de ser fosilizados.

BIOCENOSIS: Es un concepto similar a entidad paleobiológica. Dentro del proceso de fosilización se diferencian dos partes principales separadas por el enterramiento de los restos: fase bioestratinómica y fase fosildiagenética.

- Fase bioestratinómica: Tiene lugar desde la producción del resto hasta el enterramiento y, por tanto, incluye todos aquellos procesos de producción y alteración tafonómica que tienen lugar en interacción con la biosfera hidrosfera o atmósfera.

Una vez que las entidades han sido producidas, se van modificando por procesos bioestratinómicos dando lugar a entidades o asociaciones conservadas que han surgido ya, por tanto, procesos de alteración tafonómica.

Un proceso que cabe destacar es el de tanatocenosis, que es un conjunto de restos de organismos que murieron juntos.

Durante el proceso bioestratinómico las entidades conservadas pueden mantenerse en el mismo sitio original en el que se conservarán durante un tiempo o sufrir desplazamientos. En este sentido muchos autores halar de posición natural cuando las entidades no han sufrido desplazamiento lateral, y otros utilizan la palabra posición de vida: Los restos no han sufrido desplazamiento e incluso están en la misma posición que los organismo en vida. Así pues podemos distinguir entre:

- Fósiles alóctonos: Cuando han surgido un desplazamiento lateral.
- Fósiles autóctonos: cuando no haya sufrido un desplazamiento lateral, aunque sí en la vertical.
- Fase fosildiagenética: Tiene lugar después del enterramiento de los restos y por tanto incluye aquellas transformaciones que tienen lugar en el interior de la litosfera. En esta fase las entidades o asociaciones conservadas se van transformando hasta que son descubiertas, dando lugar a entidades o asociaciones registradas.

Otros términos que cabe destacar son tafocenosis que es un conjunto de organismos que fueron enterrados juntos, y el de entidad registrada y orictocenosis que es un conjunto de fósiles que se encuentran juntos en el yacimiento.

FACTORES O AGENTES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO TAFONÓMICO

Desde la producción del resto hasta su descubrimiento éstos se encuentran afectados por una serie de agentes que tienen lugar en contacto con la biosfera, hidrosfera, atmósfera o biosfera.

Los agentes que afectan a los restos van a ser biológicos, físicos o mecánicos, y químicos. El grado de conservación de los restos depende de su resistencia o tolerancia a los distintos agentes y esta resistencia o tolerancia dependerá de la naturaleza de resto, como la forma posición... y del tipo e intensidad del agente.

Agentes o factores biológicos:

Este tipo de agentes se encuentra en casi todos los ambientes, predadores y carroñeros están en todas partes. Así, los tejidos blandos van a ser una rica fuente de nutrientes y por esta razón los tejidos blandos no mineralizados son comparativamente raros del registro fósil. En lo que respecta a los restos no orgánicos, esqueletos, los agentes biológicos producen multitud de transformaciones.

Asimismo, no hay que pensar en grandes organismos cuando hablamos de predadores o carroñero. También

no porque el resto sea enterrado no se aísla de los agentes biológicos, ya que justo debajo de la interfase agua-sedimento hay una zona biológicamente muy activa por la acción de los hongos y de las bacterias. En esta zona por tanto, se concentra la descomposición del material orgánico.

- **Agentes físico-mecánicos:** Estos agentes son especialmente importantes en relación con el material esquelético, ya que lo fragmentan y desarticulan. Además, van a ser de gran importancia no sólo en relación con la conservación, sino también en relación con el transporte y la acumulación de los esqueletos. Así, las características de los restos, el agente físico y la interacción entre distintas partículas van a condicionar el comportamiento hidrodinámico de los restos.
- **Agentes químicos:** Soluciones químicas pueden actuar en cualquier momento desde que se produce el resto hasta mucho tiempo después de ser enterrado. Así mismo los agentes químicos pueden actuar en la superficie del sedimento en la zona de enterramiento somera e incluso muchos metros por debajo en el interior del sedimento blando.

Modificaciones más frecuentes de los restos:

Estas modificaciones van a depender de la susceptibilidad de los restos a los procesos anteriormente comentados y del tiempo que se encuentren expuesto a esos agentes. Esta susceptibilidad estará relacionada con las características del resto. En general las modificaciones van a depender de que se trate de restos orgánicos o inorgánicos.

- **Modificaciones de restos orgánicos:** en estos restos, la biodegradación y descomposición son los procesos más comunes. Se inician normalmente en la fase bioestratigráfica y continúan en la fase fosildiagenética. En gran medida favorecidos por la bioturbación y por la existencia de soluciones químicas. Asimismo, biodegradación y descomposición suelen ser menos importantes en medios anaeróbicos, con poco oxígeno. El enterramiento rápido de los restos puede reducir la biodegradación pero no la impide. La acción de las bacterias es muy importante en los 2 primeros cm.
- **Modificaciones en restos inorgánicos:** Respecto a la alteración esquelética, existen varias modificaciones que se pueden reconocer prácticamente de un modo secuencial:
- **Desarticulación:** Se trata de la desintegración de los esqueletos compuestos por distintos elementos a lo largo de uniones o articulaciones preexistentes. Puede ocurrir tras la muerte de los organismos o anterior a ésta. Suele ocurrir rápidamente tras la muerte especialmente como consecuencia de la acción de las bacterias sobre los ligamentos y los tejidos de unión. La conservación de esqueletos con múltiples elementos puede verse favorecida por un enterramiento rápido por la existencia de un medio poco oxigenado o por la existencia de algunas estructuras internas que impidan la desarticulación.
- **Fragmentación:** Es el resultado tanto de impactos físicos de objetos como de agentes biológicos, lo que determinamos biofragmentación.

Puede ocurrir antes o después de la muerte. Normalmente. Las fragmentaciones se producen a través de líneas débiles preexistentes. La resistencia a la fragmentación está relacionada con aspectos como la morfología y la composición del resto esquelético, tamaño microarquitectura... La acción bacteriana también puede incidir debilitando la concha o el resto y, por tanto, facilitando la fragmentación. El tiempo de exposición en superficie también va a incidir en este proceso.

- **Deformación:** Normalmente los restos se encuentran deformados respecto de la geometría original. Se debe a presiones dirigidas litostáticas por carga, que ocurren durante la fosildiagénesis. El grado y naturaleza de la deformación va a depender de factores como el tamaño de grana o la composición del sedimento, como la morfología del resto o como la orientación de éste en el sedimento.
- **Abrasión:** Da lugar al redondeamiento de los restos esqueléticos y a la pérdida de detalles

superficiales. Está relacionada con la energía del medio con el tiempo de exposición con el tamaño de las partículas del agente abrasivo y con la microarquitectura del resto.

- **Bioerosión:** Está relacionada con trazas fósiles tales como bioperforación de especies o de algas. En algunos experimentos con conchas actuales se ha puesto de manifiesto cómo se puede perder entre un 16% y un 20% del peso por año debido a la Bioerosión. También la morfología de la concha o del resto esquelético y su contenido orgánico influye en la cantidad de Bioerosión.
- **Corrosión y disolución:** Ambas resultan de la inestabilidad química de los materiales esqueléticos en el agua del mar o en el agua que se infiltra por los poros del sedimento. Estas modificaciones pueden comenzar durante la fase bioestratigráfica y continuar durante la fosildiagenética, incluso a gran profundidad en el interior del sedimento. En gran medida, estos modelos dependen de la composición de los restos. De mayor a menor estabilidad, tenemos los fosfatos, silicatos, calcita de equinodermos, restos de CaCO_3 y el aragonito.

En general los distintos modelos están relacionados con la forma y estructura de los restos esqueléticos. En este sentido, podemos diferenciar 5 categorías arquitecturales: masivas, arborescentes, univalvadas, bivalvadas y multielementos. Así, las masivas se ven poco afectadas por la fragmentación pero sin embargo están mucho tiempo expuestas en superficie y suelen ser afectadas por la abrasión o la bioerosión. Las arborescentes pueden fragmentarse con facilidad y las bivalvadas y multielementos tienden a desarticularse.

ESTADOS DE CONSERVACIÓN DE LOS FÓSILES

Es de gran importancia, no sólo en estudios estrictamente tafonómicos sino de tipo estratigráfico, sedimentológico o bioestratigráfico. Se pueden diferenciar 3 estados de conservación: acumulado, resedimentado y reelaborado.

- **Acumulación:** Transferencia de información desde la biosfera, atmósfera, hidrosfera o litosfera hacia la propia litosfera. Su característica es que los restos no se han movido del lugar en que se han conservado y en el que finalmente se han registrado, es decir, una vez que los restos caen en el fondo no surgen ningún tipo de desplazamiento.
- **Resedimentación:** Implica el desplazamiento de los restos antes de ser enterrados. En este caso, por tanto, es necesario que exista un desplazamiento lateral.
- **Reelaboración:** Es la extracción y desplazamiento de los restos después de ser enterrados. Restos que estaban parcialmente fosilizados son extraídos del sedimento y expuesto de nuevo a procesos bioestratigráficos.

Mientras el proceso de acumulación es único, los otros dos pueden ocurrir en número variable. Algunos autores incluyen la resedimentación y reelaboración en remoción o removilización.

Concepto de Tafofacies: Los rasgos tafonómicos de los restos van a permitir caracterizar a los sedimentos que los contienen y en gran medida, van a permitir conocer el medio en el que estos sedimentos se depositaron.

Se denomina **tafofacies** o **facies tafonómica** a un conjunto de rocas sedimentarias que se diferencian por una combinación particular de las características de conservación de los restos que contienen. Las tafofacies no se distinguen por el tipo de fósil sino por sus características tafonómicas.

Aplicaciones del estudio tafonómico: Desde un punto de vista directo, las estructuras tafonómicas permiten caracterizar los procesos que ocurren durante la fosilización. Desde un punto de vista indirecto, van a ser importantes tanto en estudios geológicos como biológicos. En estudios geológicos, considerando a los fósiles como partículas sedimentarias, van a permitir caracterizar, por ejemplo, la energía del medio, la continuidad o discontinuidad en el depósito, las condiciones batimétricas, análisis de cuenca y en estudios de tipo bioestratigráfico. En estudios de índole biológica van a ser de utilidad para conocer la composición original y

la existencia o no de comunidades mezcladas.

TEMA 5

INTRODUCCIÓN A LA PALEOICNOLOGÍA. CONCEPTO DE PISTA EN PALEOICNOLOGÍA

Se denomina **icnología** a una disciplina de la P. que trata del estudio de las trazas o huellas producidas por los organismos y que se reconocen en el registro sedimentario.

El análisis icnológico irá desde la descripción de la traza a su clasificación e interpretación. Cuando se trate de trazas producidas por organismos actuales hablaremos de neoicnología y cuando se trate de las producidas por organismos fósiles hablaremos de paleoicnología.

El soporte material de la icnología será la estructura biogénica, siendo ésta toda aquella evidencia tangible de la actividad de un organismo fósil o reciente distintas de la propia reproducción de las partes de su cuerpo. En este sentido abarca todo un abanico de trazas o estructuras, que se reconocen en el sustrato, y que están originadas por los organismos, excluyendo los propios materiales.

Dentro de lo que serían estructuras neogénicas, vamos a diferenciar varios tipos en base a la relación organismo–sustrato dependiendo de que la actividad se realice en sustrato duro, rígido, consolidado o blando y sin consolidar.

Estructura de bioerosión: Son aquellas estructuras biogénicas perforados mecánica o biomecánicamente por un organismo en un sustrato rígido consolidado, basándose en arañazos, mordeduras o perforaciones como las que realizan algunos bivalvos disolviendo la roca con sustancias químicas.

Estructuras sedimentarias biogénicas: Son todas aquellas estructuras que reflejan la actividad de un organismo sobre o en el interior de un sustrato blando no consolidado. Hay varios tipos:

- Estructuras de biestratificación o bioordenación: Se trata de estructuras sedimentarias biogénicas, que representan una ordenación del sedimento y que generalmente consisten en determinados tipos de laminación o estratificación producidas por la actividad de los organismos.
- Estructuras de bioturbación: Son estructuras sedimentarias biogénicas que reflejan el retoque, la alteración. La mezcla del sedimento y, por tanto, la estratificación como consecuencia de la actividad de los organismos que habitan sobre o en el interior del sedimento.
- Estructuras de biodepósito: Son estructuras sedimentarias biogénicas, que reflejan la producción o concentración de sedimento no ordenado en láminas o estratos como consecuencia de la actividad de los organismos.

Recientemente se ha propuesto el término de estructura etológica en lugar de estructura biogénica en referencia a todas las evidencias tangibles de la actividad de uno o varios organismos antiguos o actuales que registran en mayor o menos medida el comportamiento del productor o productores mediante la interacción con el sustrato o mediante la producción de sedimento.

Denominamos pista, traza o huella a aquellas estructuras biogénicas, fósiles o recientes de carácter individual especialmente si están relacionadas más o menos de forma directa con la morfología del organismo que las produce. Descartamos moldes, marcas que no son realizadas voluntariamente por el organismo y estructuras de bioestratificación porque carecen de un diagnóstico anatómico, es decir no reflejan las características del organismo.

TERMINOLOGÍA ICNOLÓGICA

Ícnocenos: Asociación de pistas que están relacionadas ambientalmente. Este término es análogo, en algunas ocasiones, al término comunidad.

Ícnogremio: Es un grupo de icnotaxones que expresan un comportamiento similar que pertenecen al mismo grupo trófico y que ocupan un mismo nivel en el sustrato.

Ícnofábrica: Son todos aquellos aspectos de la textura y estructura interna del sedimento que son producto de la bioturbación o de la bioerosión.

Índice de bioturbación: Se trata de una medida de la bioturbación existente en un sedimento, y se expresa en relación con el porcentaje de fábrica sedimentaria original que se ha alterado. Anteriormente se utilizaban términos como el de estructura bioturbada que hacía referencia a sedimentos afectados por una intensa bioturbación.

Huella de pisada: Impresión individual dejada por el apéndice locomotor de un animal en el sustrato.

Rastro de pisadas: Sucesión de huellas de pisadas dejadas por un animal al desplazarse y orientadas en una dirección determinada.

Pista: Se trata de una traza continua producida por el desplazamiento de un organismo que tienen al menos una parte de su cuerpo en contacto constante con la superficie del sedimento. Puede tratarse también de una traza continua subsuperficial que se produce por el desplazamiento de un organismo en el interior del sedimento afectando a la superficie.

Huella de excavación: Se trata de las trazas producidas por un organismo al excavar un sedimento sin consolidar.

Huella de perforación: Se trata de trazas producidas por un organismo al perforar un sustrato rígido consolidado.

Chimenea: Estructura de excavación o perforación predominantemente vertical que se registra en el interior del sedimento. También se denomina así a un tramo de disposición más o menos vertical dentro de un sistema complejo de trazas.

Túnel o galería: Huellas de excavación o perforación, predominantemente horizontales, y registradas en el sedimento o también un tramo de disposición horizontal en un sistema complejo de trazas.

Revestimiento: Se denomina así a un engrosamiento adicional de las paredes de una huella de excavación con el objetivo de reforzar la estructura. Puede estar formado por sedimentos adyacentes que se retienen por mucus por pellets o incluso por partículas detríticas que se seleccionan y cementan.

Relleno: Es el sedimento que rellena el interior de una huella de excavación. Este relleno puede ser activo cuando lo realiza el propio organismo o pasivo cuando se trata de un elemento posterior.

Conexiones: Son estructuras laminares dispuestas en un plano o en el espacio que están formadas por agrupaciones yuxtapuestas y muy apretadas de huellas de excavación, pertenecientes a sucesivas posiciones de un mismo individuo dentro del sedimento.

DISTRIBUCIÓN DE TRAZAS EN EL SEDIMENTO. TIERING

Se denomina **distribución vertical, estratificación ecológica o tiering** a la distribución vertical de las trazas como consecuencia de una estratificación ecológica de los organismos generadores de las mismas es decir,

ambientes subacuáticos que están verticalmente zonados respecto de una serie de parámetros físicos químicos o biológicos. Como resultado de esta zonación el medio endobentónico estará por tanto, partido verticalmente y, como consecuencia las trazas que se realizan por los organismos. Entre los parámetros que van a dar lugar a la zonación vertical, cabe destacar la consistencia del sustrato, el grado de oxigenación y la cantidad de nutrientes. Denominamos **tiers** a todo el conjunto de trazas que ocupan un determinado nivel como consecuencia de esta estratificación ecológica. Las relaciones de corte entre las trazas van a ser utilizadas para reconocer esa distribución vertical.

En relación con esta distribución vertical de las trazas en el sedimento se diferencian tres niveles verticales sucesivos en profundidad:

- **Capa de mezcla:** Representa un intervalo de rápida y completa homogeneización. Su espesor va de 3 a 15 cm y, en general, las estructuras que se producen en esta zona no suelen conservarse debido a la poca consistencia del sustrato. Además, conforme se va depositando sedimento, estas bioturbaciones se destruyen por otras posteriores más profundas.
- **Capa de transición:** Se trata de una capa con una mezcla heterogénea realizada por la bioturbación de organismos que viven o comen a mayores profundidades en el sedimento, el cual es blando pero menos fluido que el anterior, en esta capa se reconocen las trazas discretas.
- **Capa histórica:** Aquí no existen nuevas trazas producidas por la bioturbación. Las icnofábricas de esta capa son las que van a reconocer en el registro fósil y dentro de esta capa diferenciamos entre un fondo homogéneo correspondiente a las capas de mezcla anteriores y unas trazas individuales que pertenecerían a niveles de transición también anteriores.

DISTINTAS CLASIFICACIONES DE LAS TRAZAS FÓSILES

Existen diversos tipos de clasificación de trazas: taxonómicas en base a reconocimiento de taxones; estratinómicas, en base a la relación entre la traza y el sustrato y etológicas en base al comportamiento del organismo.

- **Tipo taxonómico:** Dentro de este tipo podríamos diferenciar entre icnotaxonómicas, en base a la clasificación de las trazas y biotaxonómicas, en base a la clasificación del organismo que genera la traza. Sin embargo, tanto una como otra no son demasiado fáciles de realizar y normalmente se acompañan de otros tipos de clasificación. Existen varios motivos por los cuales no son demasiado utilizadas:
- Un mismo organismo puede producir estructuras diferentes con distinta morfología como consecuencia de diferentes comportamientos.
- Un determinado organismo, comportándose de la misma manera, deja estructuras diferentes dependiendo de las características del sustrato.
- Un mismo organismo, comportándose de idéntica manera en un sustrato de textura uniforme dejará distintas huellas con las distintas partes de su cuerpo.
- Estructuras idénticas pueden ser producidas por diferentes tipos de organismos con diferente comportamiento.
- Un organismo, a lo largo de su desarrollo va a cambiar habitualmente de comportamientos por lo que puede originar estructuras diferentes.
- Algunas estructuras pueden ser producidas por un par de organismos que vivieron juntos.
- **Tipo estratinómico:** Se basan en la relación entre la traza y el sustrato, tanto en lo que se refiere a la conservación como a la génesis.
- Estructuras de conservación: Respecto a ésta vamos a diferenciar tres tipos:

- Estructuras de biodeformación: Son estructuras de bioturbación que carecen de contornos netos.
- Relieves completos: Se trata de pistas conservadas como cuerpos tridimensionales de contornos netos y que se conservan en el interior del sedimento.
- Semirrelieves: son trazas de contornos netos y de sección abierta que se conservan en el plano de unión de dos estratos de distinta litología o entre láminas de un mismo estrato. Dentro de este tipo se diferencian otras tres:
 - *Hiporrelieves*: Muro del estrato. Puede ser cóncavo o convexo.
 - *Epirrelieves*: Techo del estrato. Tanto cóncavo como convexo.
 - *Relieves hendidos*: Se registran entre superficies de laminación de un estrato o entre superficies de estructuras de estratificación de una litología.
- Estructuras de génesis: Diferenciamos entre trazas endógenas producidas en el interior del sedimento, y trazas exógenas, producidas en la interfaz agua-sedimento o atmósfera-sedimento. Estas últimas se preservan peor.
- **Tipo etológico**: Se basan en el comportamiento de los organismos que generan las trazas: morada, locomoción, parada y/o alimentación:
 - Morada; domicinia (dwelling structures): Comprenden trazas que representan la morada o habitáculo más o menos permanente de los organismos. Suelen realizarlas animales que viven en el interior de sedimento, principalmente suspensívoros y carnívoros (madrigueras).
 - Locomoción; repichnia (locomotion structures): Son trazas realizadas por el desplazamiento de los organismos. Puede tratarse de un solo elemento: pista (reptación); o de un grupo de trazas (rastro de pisadas).
 - Paradas; cubichnia (resting structures): Son pequeñas depresiones que se producen en el sedimento cuando el organismo para durante un breve instante. Estas trazas reflejan en mayor o menor medida el tamaño del organismo.
 - Alimentación; praedichnia (feeding structures): Son el resultado de la predación de un organismo. Típicas estructuras de bioerosión que se producen sobre un sustrato duro.

Trazas que reflejan más de una actividad:

- Alimentación y morada; fodinichnia: Trazas más o menos temporales construidas por organismos depositívoros que buscan a la vez alimentación y morada. Otras son agrichnia, que son sustratos de trazas de morada permanente y de alimentación, generalmente por medio de un cultivo o atrapamiento. Son sistemas muy regulares más o menos completos denominados grafogríptidos.
- Alimentación y locomoción; pascichnia: trazas más o menos continuas realizadas por organismos depositívoros que a la vez que se mueven van alimentándose. Son trazas más o menos regulares y tratan de aprovechar el máximo el sedimento.
- Escape; fugichnia: Se trata de trazas que no el resultado de una rápida y brusca migración del productor en dirección vertical y oblicua a la estratificación, a través del sedimento y como consecuencia de una sedimentación rápida, una erosión o el escape frente a un depredador. Suponen un cambio brusco de medio.
- Equilibrio; equilibrichnia: Son las producidas al migrar gradualmente su productor en dirección vertical a la estratificación, de manera que así ajusta la profundidad y la mantiene constante.

CONCEPTO Y TIPO DE ICNOFACIES

El modelo de icnofacies fue presentado por Seilacher en la década de los 60. Este modelo postulaba la existencia de una serie de asociaciones de trazas fósiles recurrentes en el tiempo y en el espacio y de carácter

universal y que estaban relacionadas con algunos parámetros ambientales, especialmente con la profundidad.

Actualmente, el término icnofacies se utiliza a dos niveles distintos:

Locales: Hace referencia al registro fósil de una icnocenosis que se reconoce en un determinado lugar o unidad estratigráfica. Estas icnofacies locales son nombradas por el fósil más abundante.

Arquetípicas: Corresponden a asociaciones de trazas fósiles recurrentes a lo largo del tiempo y reconocibles en diferentes lugares de la geografía mundial.

Tanto en una como en otra se ha puesto de manifiesto que el significado batimétrico como factor único que las condicionaba ha sido sustituido por un conjunto más complejo de factores, de manera que las icnofacies son el resultado de factores ecológicos y deposicionales (consistencia, salinidad, nutrientes...) que van a condicionar la biocenosis y son el resultado de factores tafonómicos que van a condicionar qué elementos de la icnocenosis van a ser considerados.

El modelo de icnofacies presentado por Seilacher constaba de 6 tipos distintos. Actualmente se reconocen 14, cada uno de ellos denominado por el género más representativo. Se diferencian entre continentales y marinas:

- **Continetales:** Originalmente sólo se reconocían la scoyerla. Actualmente además están dependiendo si se trata de medios subaéreos o de medios subacuáticos.
- **Termitichnius:** Se trata de icnofacies continentales de medios subaéreos en los que se incluyen asociaciones dimanadas por galerías de habitación y, a veces, de alimentación. Se encuentran trazas de vertebrados, invertebrados y plantas. Especialmente importantes van a ser las trazas de insectos. En paleosuelos a llanuras aluviales desecadas, pero siempre en medios subaéreos.
- **Scoyerla** Son continentales típicas de las capas rojas. Corresponden a ambientes húmedos con períodos subacuáticos y subaéreos como llanuras de inundación, zonas de transición entre ríos y lagos o algunas áreas marginales de lagos. En general están diversificadas y dominan las estructuras horizontales aunque se reconocen algunas verticales y rastros de locomoción de vertebrados e invertebrados.
- **Mermia:** Son continentales permanentemente bajo el agua, medios lacustres. Se caracterizan por trazas de alimentación y locomoción horizontales y, en general, la diversidad va de moderada a alta.
- **Marinas:** Según el sustrato: blando, firme o duro.
- **Sustrato blando:** Según su energía de mayor a menor, condicionado por la profundidad.
- **Psilonichnus:** Estas icnofacies representan una mezcla entre medios marinos cuasi-marinos e incluso condiciones no marinas. El ambiente típico incluye dunas, abanicos deltaicos y, en general, medios muy energéticos afectados por tormentas o lluvias torrenciales. Esto determina que dominen las estructuras de tipo vertical, de escape, en forma de J o V. La diversidad y diversidad es baja. Tienen poco registro fósil y la mayoría son ejemplos actuales.
- **Skolithos:** Son indicativos de medios marinos con un nivel de energía relativamente alto tanto por olas como por corrientes. En general, medios arenosos de aguas someras, zonas litorales o sublitorales de playas, barras arenosas... En algunas ocasiones, el incremento de energía puede determinar que se destruyan las trazas realizadas por organismos que se alimentan del sedimento que hay en suspensión, siendo más abundantes las trazas verticales en forma de U y escasas las horizontales. La diversidad es poca, aunque algunas trazas individuales son muy abundantes.
- **Arenicolites:** Se trata de asociaciones de trazas con baja densidad y dominadas por estructuras verticales realizadas por organismo suspensívoros. En general, se relacionen con niveles arenosos que se depositan de manera episódica; tempestitas. Cuando se produce este depósito, hay unas trazas que

colonizan el sedimento. Todas de mares alejados de las costas.

- Cruziana: Medios menos energéticos, sublitorales por debajo del nivel de las mareas. La energía va desde moderada a, en zonas someras, a baja en zonas profundas. En estas áreas el depósito de sedimento es escaso o poco apreciable y, en general, no es rápido. Se originan por suspensívoros y sedimentívoros y hay una mezcla de trazas verticales, inclinadas y horizontales. La diversidad y abundancia es alta.
- Zoophycus: Las menos conocidas dado el amplio rango de profundidad que posee el icnogénero característico. Se reconocen en un amplio rango de profundidad, pero siempre fuera de la acción de las corrientes de turbidez. Normalmente se relacionan con medios estables, de baja energía y de baja tasa de sedimentación. Dominan las estructuras de locomoción y alimentación de organismos depositívoros. Las trazas suelen ser horizontales o ligeramente inclinadas. Se relacionan con medios anóxicos.
- Nereites: Se dan en medios batiales y abisales, oxigenados e infiltrados por corrientes de turbidez. Los organismos cuentan con escasez de comida y con la interrupción de las corrientes de turbidez, de manera que van a predominar las trazas de alimentación y locomoción horizontales o las estructuras complejas de alimentación y morada, como los grafogríptidos.
- *Sustrato firme*:
 - Glossifungites: Medios intermareales a submareales pero no hay restricciones con la profundidad. Dominan las estructuras verticales en forma de tubos cilíndricos o pseudoperforaciones. La diversidad es baja aunque algunas estructuras individuales pueden ser abundantes.
- *Sustrato duro*:
 - Trypanites: Se reconocen en sustratos totalmente litificados, hardgrounds, arrecifes u otras superficies de omisión. Estas icnofacies están compuestas por tubos cilíndricos en forma de U o domicilios irregulares de organismos suspensívoros. También se incluyen raspaduras o roeduras de organismos. La diversidad es baja y, en general, las perforaciones son perpendiculares al sustrato. Las paredes de las perforaciones cortan cualquier parte dura del sustrato. Como icnogénero se encuentran fundamentalmente en el paleozoico, de manera que en el mesozoico y cenozoico, donde no existe este icnogénero, se diferencian otras 2 icnofacies.
 - Entobia: Se caracterizan por perforaciones de habitación profundas. Las estructuras más superficiales son eliminadas, en general, por erosión. Normalmente se localizan en costas rocosas.
 - Graticornus: Están caracterizadas por estructuras superficiales. Representan cortos periodos de perforación a los que sigue un enterramiento rápido. En general, se localizan en niveles de clastos o brechas en áreas submareales.
- *Sustrato vegetal*:
 - Teredolites: Perforaciones o bioturbaciones en moderada o en sustratos altamente carbonosos. Si las maderas son de medio marino, las trazas son cilíndricas y elongadas. Las de aguas dulces son más cortas y superficiales.

APLICACIÓN DEL ANÁLISIS ICNOLÓGICO

Algunas características de los icnogéneros:

- Chondrites: Se trata de sistemas tridimensionales de excavaciones ramificadas más o menos radiales y compuestas por un eje principal vertical del que parten una serie de ramas mayoritariamente horizontales. Las realizan organismos sedimentívoros que utilizan la traza como alimentación y hábitculo. En general, bioturban un sedimento blando, rico en materia orgánica, de baja energía y

poca oxigenación.

- Plantolites: Son trazas horizontales o subhorizontales, rectas o ligeramente sinuosas, cilíndricas y que no se encuentran ramificadas. Responde a un comportamiento de alimentación y locomoción. La realizan organismos sedimentarios que excavan a poca profundidad en sedimentos blandos de escasa energía y de condiciones de oxigenación variable.
- Thalassinoides: Se refiere a trazas fundamentalmente horizontales, con ramificaciones de amplio ángulo que dan formas de Y o en T. Existen tubos verticales que ponen en contacto a la estructura con la superficie del sedimento. La realizan organismos sedimentívoros con un comportamiento de alimentación y habitáculo en medios bien oxigenados.
- Diplocaterion: Son trazas verticales en forma de U perpendiculares a la estratificación. Es una estrategia de equilibrio y dentro de éstas se puede diferenciar entre trazas de carácter protusivo; cuando la traza se mueve hacia abajo, y retrusivo, cuando lo hace hacia arriba.

Aplicaciones:

El estudio de las trazas fósiles tiene muchas aplicaciones en la caracterización del medio, tanto en lo que respecta al medio de depósito como al medio ecológico. Estas aplicaciones vienen determinadas por una serie de principios que cumplen las trazas fósiles:

- Amplio rango temporal: Facilita la comparación en base a las trazas fósiles de rocas de diferentes edades.
- Estrecho rango de facies: Viene determinado porque los organismos que generan las trazas están determinados por unas condiciones ecológicas y sedimentarias muy concretas.
- Ocurren en una amplia variedad de rocas no fosilíferas: Se pueden encontrar en rocas diagenéticas o en rocas donde se ha destruido el resto de fósiles.
- Son originados por organismos de cuerpo blando: No se preservan pero sí que pueden dejar trazas fósiles.

Desde el punto de vista estrictamente sedimentario:

Procesos de erosión y sedimentación: Por tanto, de continuidad y discontinuidad en el depósito.

En general, se dan en medios de alta energía, y las trazas, o no se conservan demasiado bien o incluso no llegan a formarse. Si se forman, la diversidad suele ser baja, las estructuras suelen ser verticales realizadas por suspensívoros. En medios de baja energía, la diversidad y abundancia es mayor, con frecuencia son horizontales y realizadas por organismos sedimentívoros. Estudios de detalle permiten reconocer procesos de erosión, sedimentación, discontinuidad-continuidad y velocidad de sedimentación.

Los procesos de sedimentación continua y lenta son la bioturbación completa, y los de sedimentación continua y rápida son trazas verticales de escape o, también puede ocurrir, una bioturbación postdeposicional.

Aplicación en estudios ecológicos: En concreto, se analizan las aplicaciones de las trazas fósiles en el grado de oxigenación.

Se ha puesto de manifiesto como la diversidad, abundancia, tamaño y profundidad de penetración de las trazas están condicionadas por el grado de oxigenación. Así, en cualquier tipo de ambiente, en sedimentos de fondo blando, la diversidad y abundancia de las trazas disminuye a medida que lo hace el grado de oxigenación. Así mismo, organismos de mayor tamaño necesitan más cantidad de O₂. Por último, se ha comprobado que en ambientes oxigenados la cantidad de oxígeno disminuye con la profundidad desde la superficie del sedimento.

La icnocenosis relacionada con el oxígeno, ORI, es un conjunto de trazas condicionadas por el grado de oxigenación; y las curvas de paleoxigenación ponen de manifiesto la variación de oxigenación a partir del estudio de las trazas.

Tema 6

APLICACIONES DE LA PALEONTOLOGÍA

La P. tiene como objetivo el análisis de la vida o de los organismos del pasado. Desde este punto de vista, por tanto, la P. será especialmente útil en espectros de índole paleobiológica: conocer la forma de los organismos, la función que desempeñaban, el modo de vida o incluso aspectos relacionados con modelos y tiempos de evolución. Sin embargo, la P. no se restringe exclusivamente a este tipo de aplicaciones, sino que es especialmente útil en estudios de tipo ecológico o paleoecológico, estratigráfico, sedimentario o geológico en general.

Aplicaciones paleobiológicas:

Los organismos que vivieron en el pasado, como los actuales, están condicionados por una serie de parámetros ecológicos y deposicionales. Por tanto, el estudio de los restos fósiles va a ser de utilidad para interpretar estos parámetros, tales como la salinidad del medio, el clima, las condiciones oceanográficas o incluso la paleobiogeografía.

- Aplicación de la P. en el análisis de la paleosalinidad: Este parámetro no condiciona en gran medida la abundancia y distribución de los organismos marinos. Sin embargo, aunque se trata de un factor muy importante, es difícil de caracterizar. Normalmente se realizan análisis de facies, mineralógicas o isotópicas, pero la mayor información se obtiene a partir del estudio de las asociaciones fósiles. Aspectos como la composición faunística, diversidad, morfología de las conchas o aspectos tafonómicos son utilizados para caracterizar la salinidad del medio.
- Aplicación de la P. en cuestiones paleoclimáticas: El clima juega un papel fundamental en la distribución de la fauna y de la flora. Aspectos como la T, humedad, régimen de lluvias... que están condicionados por el clima van a influir en gran medida en la distribución de los organismos. Como indicadores paleoclimáticos se suelen utilizar algunos tipos de facies, la composición mineralógica y el análisis geoquímico, aunque también sean especialmente útiles los estudios paleontológicos. Por ejemplo: en relación con restos vegetales, cambios en la distribución, en la composición, en el tamaño o incluso en el enrollamiento de las conchas son consecuencia también de variación en el clima. A partir del análisis de estos aspectos pueden construirse curvas de humedad y de temperatura que pueden relacionarse con cambios climáticos.
- Aplicación de consideraciones paleoceanográficas: En sedimentos pelágicos, la composición es fundamentalmente biogénica: organismos planctónicos y nectónicos que nos van a poder informar de la dinámica de las aguas superficiales. Están formados también por organismos bentónicos que nos van a informar de la dinámica de las aguas intermedias y de las aguas más profundas. Por tanto, analizando la composición de los sedimentos pelágicos, se pueden llegar a interpretar variaciones en la dinámica del océano.
- Aplicación en aspectos paleobiográficos: El análisis de la distribución de los organismos puede aplicarse para conocer la geografía de las áreas de distribución y dado que ésta de los organismos va a estar condicionada por aspectos ecológicos y deposicionales, puede aplicarse para conocer la variación de estos parámetros.
- Aplicación en el análisis de diferenciación de rocas: Los fósiles de rocas antiguas están a menudo deformados como consecuencia de las fuerzas que se producen durante los movimientos tectónicos. El estudio de estos fósiles puede ser utilizado como herramienta para calcular la fuerza necesaria para distorsionar la morfología original del fósil. En algunos casos de morfologías esféricas o elipsoides (radiolarios, foraminíferos...) el cálculo de la deformación es inmediato. En otros de morfología más variable, es difícil conocer la magnitud de la deformación pero sí se pueden llegar a calcular los principales ejes de deformación.

ASPECTOS CRONOLÓGICOS

Tiempo en Geología.

Uno de los objetivos de la Geología, y en concreto de la estratigrafía, es conocer la ordenación temporal de los fenómenos geológicos que han acaecido en una región, y su comparación con los reconocidos en otras regiones. Para ello es imprescindible introducir el factor tiempo.

La ordenación de estos fenómenos puede llevarse a cabo como una ordenación relativa, de los más antiguos a los más modernos sin valoración numérica. A esto lo llamamos edad relativa. En otro contexto se puede conocer la magnitud del intervalo de tiempo que iría desde que ocurrió el fenómeno hasta la actualidad. En este otro caso hablaríamos de edad absoluta.

En lo que respecta a la ordenación relativa de los materiales en el registro estratigráfico, ésta se lleva a cabo a partir de la diferenciación de unidades estratigráficas. Éstas pueden ser de varios tipos, como litoestratigráficas, magnetoestratigráficas o bioestratigráficas entre otras. En este contexto aparece la bioestratigrafía como una parte de la Geología que trataría de la distribución de los fósiles en el registro estratigráfico y de la organización de los estratos en unidades en base al contenido fósil. Originalmente, el término al uso era el de Paleontología estratigráfica. Las bases de esta ciencia las sentaron Smith (s. XVIII) y Couvier (s. XIX) al establecer el principio de la sucesión faunística o de la correlación. Smith puso de manifiesto que en cada intervalo de la historia geológica representado por un conjunto de estratos o de formaciones, los organismos que vivieron y que fosilizaron fueron diferentes y no repetibles, es decir, que los materiales podrían diferenciarse unos de otros por los fósiles que contengan.

El término Paleontología estratigráfica abarca no sólo esa parte de la P. Posteriormente, aparece el término bioestratigrafía, que es el más usado en la actualidad. El objetivo de la bioestratigrafía es organizar los estratos en unidades basadas en el contenido y en la distribución de sus fósiles. Trata de la división y correlación del registro estratigráfico a partir del contenido fósil. Hasta ahora, no hay un criterio unánime sobre la bioestratigrafía. Para algunos autores, es una rama de la P. que integra el conocimiento paleontológico en el estudio del registro estratigráfico. Para otros es una rama de la estratigrafía que utiliza los fósiles como marcadores de estratos y portadores de información sobre su edad relativa.

Bioestratigrafía y unidades bioestratigráficas.

Naturaleza de las unidades bioestratigráficas: Las unidades bioestratigráficas son cuerpos de roca estratificada que se definen o caracterizan por su contenido fósil. Estas unidades existen sólo donde se identifique el carácter particular de diagnóstico bioestratigráfico o el atributo en el que se han basado, por lo que son unidades descriptivas basadas en la identificación de cada uno de los atributos que la definen o caracterizan. Estas unidades bioestratigráficas pueden estar basadas en un único taxón, en combinación de taxones, abundancias relativas, en características morfológicas específicas o en la variación de uno o de los muchos caracteres relacionados con el contenido y la distribución de los fósiles. Un mismo intervalo estratigráfico puede ser caracterizado por distintos tipos de unidades bioestratigráficas. Las unidades bioestratigráficas se distinguen de otro tipo de unidades estratigráficas en que los organismos cuyos restos fósiles las definen muestran cambios evolutivos a través del tiempo geológico que no son repetibles a lo largo del registro estratigráfico.

Bioestratigrafía: Es la parte de la estratigrafía o de la P. que trata de la distribución de los fósiles en el registro estratigráfico, de la organización de los estratos en unidades y de una correlación en base al contenido fósil.

Clasificación bioestratigráfica: Se trata de la subdivisión y organización sistemática de las secuencias estratigráficas en unidades nominales basadas en el contenido fósil. Por tanto, las rocas que no contienen fósiles no tienen carácter bioestratigráfico y no son susceptibles de clasificación.

Zona bioestratigráfica o biozona: Se trata de un término general para cualquier unidad bioestratigráfica. La

biozona es la unidad básica en bioestratigrafía y se entiende como cualquier conjunto de estratos organizados en unidades estratigráficas en base a su contenido fósil y que, por consiguiente, es posible diferenciar de los estratos adyacentes. Las biozonas varían enormemente de espesor y de extensión geográfica. Pueden oscilar desde una capa fina de carácter local a miles de metros de espesor y una gran extensión geográfica. Asimismo, el tiempo representado puede variar enormemente. Las biozonas se pueden agrupar en *superbiozonas*, que sería una agrupación de varias biozonas con características bioestratigráficas comunes, y pueden dividirse en *subzonas* cuando aumente el grado de detalle bioestratigráfico. Las subzonas también se pueden dividir en *zónulas*.

Horizonte bioestratigráfico o biohorizonte: Se trata de un límite estratigráfico, una superficie o interfase que representa un cambio significativo y distintivo en el carácter bioestratigráfico. Puede corresponder al límite entre biozonas o reconocerse dentro de una biozona. Las características sobre las que se basa incluye primeras apariciones, apariciones diferenciales, cambios de frecuencia... En general, las más utilizados son los FAD (biohorizontes de 1ª aparición) que marcan la superficie estratigráfica a partir de la cual aparece un determinado taxón, o biohorizonte de última presencia, LAD, que corresponden a las superficies estratigráficas a partir de la cual ya no está presente dicho fósil.

Intervalo estéril: Corresponde a intervalos estratigráficos sin fósiles. Son comunes en las secciones estratigráficas entre sucesivas biozonas o en el interior de una biozona. Estos intervalos no están sujetos a clasificación bioestratigráfica y se identifican en referencia a las biozonas adyacentes o a la biozona que lo incluye. En la práctica, los intervalos estériles sí suelen poseer fósiles, pero son estériles respecto del grupo fósil que se está estudiando.

Distintos tipos de unidades bioestratigráficas: Los estratos pueden ser bioestratigráficamente diferenciados de muy distintas formas. Por esta razón, existen distintos tipos de biozonas con significados diferentes y que pueden ser útiles en determinadas circunstancias.

Biozona de extensión: Se trata de cuerpos de estratos que representan el rango o extensión conocido de ocurrencia de cualquier elemento/s de la asociación de fósiles que existen en una secuencia estratigráfica. Rango hace referencia a la extensión vertical o estratigráfica, y geográfica. Puede representar el rango estratigráfico de un taxón, de un grupo de taxones o de cualquier carácter paleontológico que se haya escogido en particular. Se diferencian dos tipos:

- Biozona de extensión de un taxón: Se trata de un cuerpo de estratos que representa el rango conocido de existencia de ejemplares de un taxón particular. Esta biozona será la suma de las ocurrencias de ese taxón en todas las secuencias donde se haya identificado. Los límites de esta biozona serán los biohorizontes de 1ª aparición y de última presencia del taxón seleccionado. Son los más utilizados y los de mayor importancia dado que se basan en fósiles guía cualificados.
- Biozona de extensión coincidente: Se trata de un cuerpo de estratos que incluye la concurrencia, coincidencia o solapamiento de parte de los rangos de dos taxones seleccionados del total de formas presentes en la secuencia de estratos.

Los límites de la biozona son los límites externos de los taxones que se ha seleccionado.

Biozona de intervalo: Se trata de un cuerpo de estrato fosilíferos entre dos horizontes específicos, distintivos. En este caso, los intervalos estériles no son, por tanto, biozonas de intervalo. Esta biozona no es de extensión de ningún taxón ni la biozona de coincidencia y puede que carezca de fósiles distintivos. Los límites son variables: biohorizontes de 1ª aparición o de última presencia pueden ser límites.

Filozona: Se trata de un cuerpo de estratos que contienen especímenes que representan un segmento específico de una línea evolutiva. Puede representar el rango completo de un taxón dentro de la línea evolutiva o sólo parte del rango de un taxón anterior a la aparición de un taxón descendiente. Los límites de esta

biozona son biohorizontes que representan la primera ocurrencia de sucesivos elementos dentro de esa línea evolutiva.

Biozona de conjunto: Se trata de un cuerpo de estratos caracterizados por la asociación de 3 o más taxones fósiles que, considerados juntos, se diferencian es un carácter bioestratigráfico de los estratos adyacentes. Los límites de ocurrencia de esta biozona de conjunto serán los límites de la asociación característica. En este caso, se pueden utilizar la totalidad de taxones existentes o seleccionar al menos 3 dentro de ellos.

Biozona de abundancia, apogeo o acmé: Se trata de un cuerpo de estratos en los que la abundancia de un taxón particular o de un grupo específico de taxones es significativamente mayor de lo normal en partes adyacentes de la secuencia. Los límites van a ser, por tanto, cuantitativos. Se tratará de biohorizontes con un cambio notable, brusco en la abundancia del taxón o taxones seleccionados.

TIPOS DE FÓSILES Y BIOESTRATIGRAFÍA

Desde el punto de vista bioestratigráfico, se diferencian 3 tipos de fósiles:

- **Fósiles guía, índices o característicos:** Se trata de aquellos que son utilizados para delimitar intervalos de tipo geológico relativamente cortos y que, por tanto, son de gran utilidad en bioestratigrafía. Deben cumplir estos requisitos:
 - *Pertenecer a un organismo con gran independencia de su ambiente.*
 - *Organismos de rápida evolución, con período de vida en taxones corto.*
 - *Amplia distribución geográfica.*
 - *Abundancia.*
 - *Fácil conservación.*
 - *Fácil reconocimiento.*

Aquellos fósiles que cumplan todas las características serán los mejores. No todos tienen la misma importancia en el registro geológico. Algunos fósiles pueden ser interesantes en un momento concreto y después pasar al ostracismo.

- **Fósiles de facies:** Son aquellos fósiles que pertenecen a organismos que están restringidos a unas determinadas condiciones ambientales. Estos fósiles van a ser muy buenos para estudios de tipo ecológico o paleoecológico, pero malos para bioestratigrafía.
- **Fósiles banales:** Pertenecen a organismos que no están determinados por unas condiciones ambientales concretas. No son buenos para estudios de tipo ni bioecológicos ni bioestratigráficos.

Limitaciones de los análisis bioestratigráficos: Una primera limitación viene impuesta por la subjetividad en la identificación de los fósiles. Un mismo espécimen puede ser clasificado de formas distintas dependiendo de los autores. Otra viene determinada por la ausencia en algunas secciones de un registro completo que pueda ser utilizado en bioestratigrafía. Otra es la existencia de fósiles resedimentados o reelaborados. Esto puede ser evitado son buenos estudios tafonómicos. La última es el uso de los fósiles para caracterizar horizontes isocronos.