

La tafonomía



Aunque el término tafonomía (*taphos*, enterramiento, y *nomos*, ley) data de 1940 —cuando el investigador ruso Isaac Efremov realizó estudios en vertebrados—, este campo de estudio tiene una historia de por lo menos 500 años, ya que se considera que las investigaciones tafonómicas se iniciaron con Leonardo da Vinci cuando en el Monferrato, Italia, observó que un depósito de bivalvos era *in situ* por la buena preservación y articulación de los ejemplares, y concluyó que ese monte en el pasado había estado cubierto por el mar. Los primeros trabajos sobre tafonomía fueron publicados entre 1912 y 1935, pero como se hicie-



A black and white photograph of a rocky, volcanic landscape. In the foreground, a covered walkway with a corrugated metal roof and metal railings runs across the scene. The ground is composed of dark, jagged, and porous volcanic rock, showing various textures and cracks. The background is a vast expanse of similar volcanic terrain under a bright sky.

una **ciencia nueva** que
estudia el **pasado geológico**

Catalina Gómez-Espinosa y Raúl Gío Arguez



ron en alemán permanecieron ignoradas, por lo que la tafonomía se reconoció como disciplina fuera de Europa al concluir la segunda Guerra Mundial.

Efremov definió la tafonomía como “el estudio de la transición de los restos animales de la biósfera a la litósfera”, y aunque entonces era vista como una subdisciplina de la paleoecología, actualmente se le considera una rama del conocimiento paleontológico con identidad propia. Su definición más adecuada es la elaborada por Behrensmeyer y Kidwell en 1985, esto es, “el estudio de los procesos de preservación y cómo éstos afectan la información del registro fósil”.

Durante las décadas de 1950 y 1960 las investigaciones tafonómicas estaban enfocadas casi exclusivamente a la obtención de información paleoecológica, y aunque reconocían la importancia de los estudios sobre la preservación, no se aludía a ellos como tales. Fue hasta la década de 1980 cuando la investigación tafonómica empezó a tener auge y a recibir la debida importancia en la interpretación

del registro fósil; desde entonces, esta disciplina se desarrolló de manera independiente entre las diversas ramas de la paleontología y más recientemente en la arqueología, aunque también existen estudios sobre actuotafonomía y tafonomía forense.

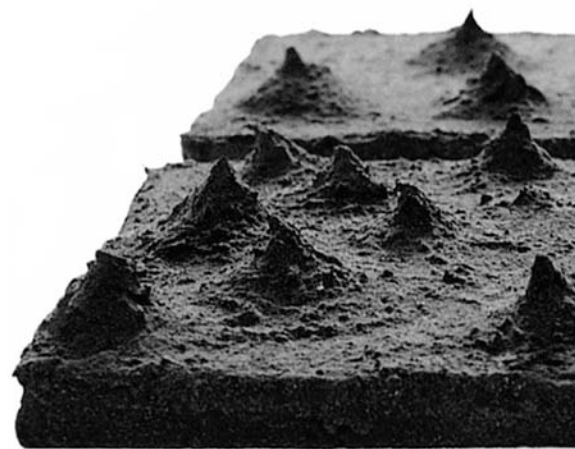
Uno de los principios paleontológicos es el del actualismo biológico, el cual toma como premisa que el presente es la clave del pasado y por tanto una gran cantidad de información tafonómica que se aplica al registro fósil proviene de experimentos con material subfósil o reciente. Es el campo de estudio de la actuotafonomía, cuyo objetivo es aplicar en la comprensión de los yacimientos fósiles los resultados observados directamente con el fin de realizar interpretaciones más precisas sobre los acontecimientos que permitieron la preservación de los restos orgánicos e inferir cuáles fueron las condiciones sedimentológicas y ecológicas que conllevaron a la formación de un yacimiento fósil en particular.

Así, se puede decir que la tafonomía estudia el efecto de los procesos

posmortem, esto es, el enterramiento y la preservación de los conjuntos fósiles y, en términos generales, se subdivide en dos subdisciplinas: la biostratinomía (de *bios*, vida, *stratum*, capa y *nomos*, ley) se encarga de estudiar los procesos que ocurren entre la muerte del organismo y su enterramiento o incorporación a la litósfera; mientras la fosildiagénesis (del griego *fodere*, excavar, *día*, a través, y *génesis*, formación) estudia los procesos de fosilización que ocurren después del enterramiento.

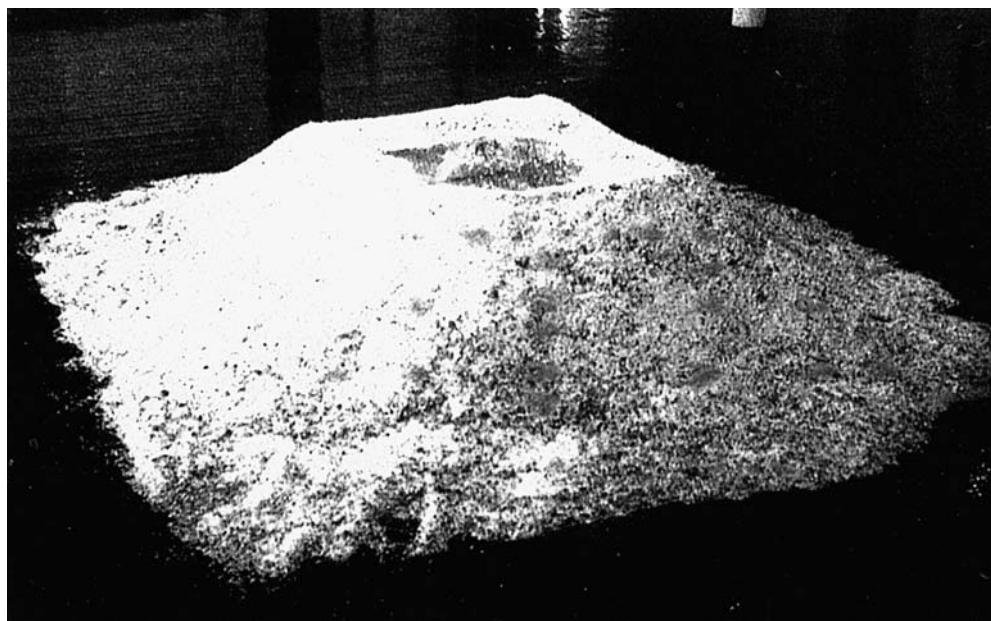
Procesos biostratinómicos

En condiciones normales la descomposición de un organismo inicia desde el momento en que muere y continúa hasta que se consume totalmente. Es en esta etapa, llamada de la biostratinomía, cuando ocurre la mayor pérdida de información en el registro fósil, ya que los organismos están compuesto entre 50 y 60% de materia blanda que se descompone muy fácilmente y sólo se conserva en condiciones ambientales y sedimentológicas excepcionales, ya sea por mineralización o reemplazamiento por sedimentos. Al morir, un organismo es integrado a la red trófica y por tanto se convierte en alimento para carroñeros que contribuyen a la pérdida de tejido blando,



y su consunción final es efectuada por hongos o bacterias, durante lo cual la disponibilidad de oxígeno, la temperatura y el pH ambiental son factores determinantes en la descomposición o preservación de partes blandas.

Así, desde el momento en que un organismo muere hasta que queda enterrado por el sedimento, sus partes duras quedan expuestas a varios factores que son estudiados por la tafonomía con base en los cuatro principales procesos biostratinómicos que ésta considera: la reorientación, la desarticulación, la fragmentación y la corrosión. La reorientación tiene que ver con el transporte, que está determinado por la hidrodinámica, la energía a la que estuvieron sometidos los restos, y por características intrínsecas de los organismos como son la forma y la densidad. Por tanto, un enterramiento rápido evita el transporte y la reorientación de los restos, mientras que su permanencia prolongada en la interfase agua-sedimento lo favorece. La orientación unidireccional de los restos indica la dirección de la corriente a la que estuvieron sometidos, ya sea por quedar orientados en esa dirección o por la superposición de los organismos. Cuando la corriente es muy fuerte pero sin turbulencia o sin olas, entonces los restos adoptan una posi-

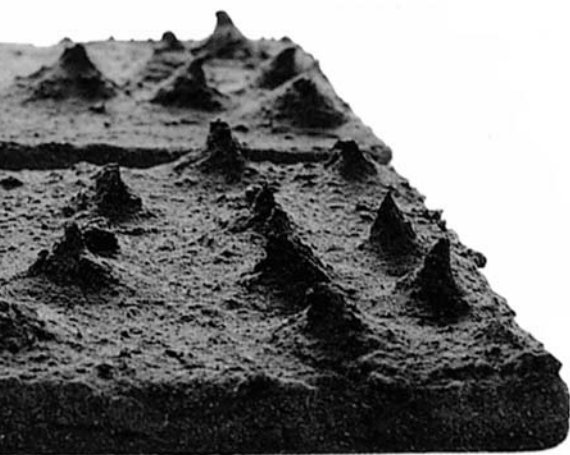


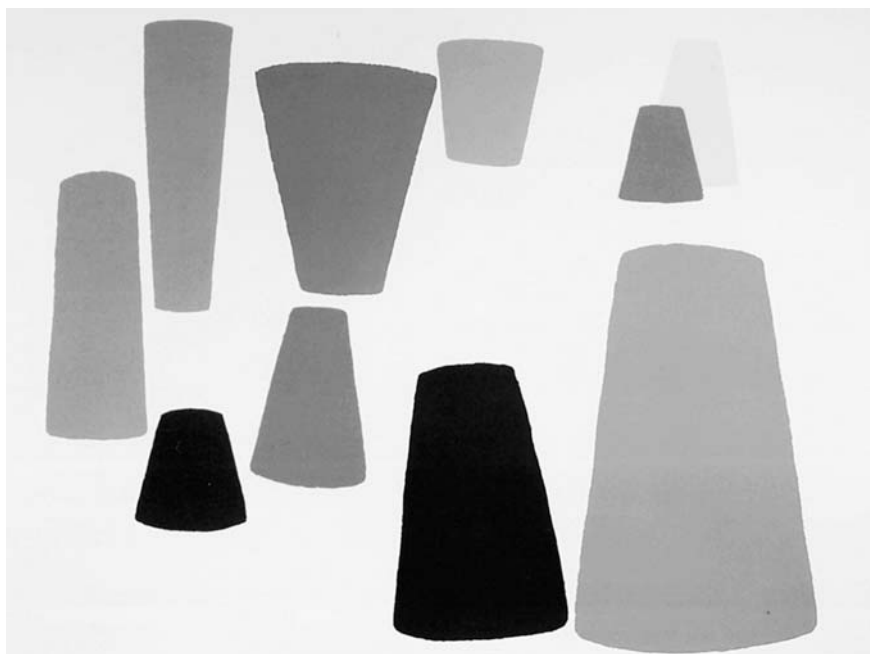
ción estable. Si los restos no tienen una orientación preferencial se debe recurrir a estudios sedimentológicos para inferir si hubo turbulencia, ausencia de corriente o frecuentes exhumaciones de los restos. La reorientación no sólo es producto de transporte y energía, también puede ser provocada por organismos excavadores.

El criterio de desarticulación sólo puede aplicarse a organismos que tienen un esqueleto conformado por varios elementos, como los bivalvos, braquiópodos, artrópodos, algunos equinodermos y vertebrados, y ésta dependerá del tipo de articulación de los organismos. Si la articulación está dada por partes blandas (como ligamentos o músculos) un mayor grado de desarticulación va a indicar la descomposición de los restos antes de su incorporación a la litósfera debido a un enterramiento lento, y las condiciones anaeróbicas van a retardar la desarticulación por los músculos o ligamentos al hacer más lenta la descomposición debido a la inhibición de la acción bacteriana.

Por el contrario, si la articulación del organismo es de tipo mecánico, entonces la desarticulación será indicio de que el esqueleto estuvo sometido a fuertes corrientes y a transporte. Al establecer esta característica hay que tomar en cuenta la naturaleza de los organismos, ya que, por ejemplo, cuando los crinoideos permanecen sobre el fondo oceánico empiezan a desarticularse en un periodo de 3 a 5 días, en tanto que los braquiópodos resisten altas energías y transporte, y aun cuando estos procesos hayan tenido lugar, las valvas pueden permanecer articuladas o unidas.

La fragmentación es la rotura de piezas individuales en otras más pequeñas. La fractura de los ejemplares será mayor en aquellos que poseen un esqueleto más frágil, y menor en los que tienen un esqueleto más resistente. Los ejemplares frágiles intactos son indicadores de la ausencia de disturbio de tipo físico y un enterramiento rápido, mientras que su fractura indica perturbación física, aunque sea muy ligera.





La fractura de esqueletos más resistentes indica fuerte disturbio y alta energía hidráulica, ya sea por un prolongado transporte o por un frecuente retrabajo de los restos *in situ* debido a frecuentes exhumaciones. Al analizar la fragmentación de los restos se debe tener cuidado de interpretar si ésta fue antes de que el organismo muriera o no —ya que esto sólo puede saberse si en la fractura se observan muestras de infección o regeneración del esqueleto—, o si fue ocasionada por depredadores que hayan dejado marca de sus dientes, o bien si la fractura fue *post-mortem* debido al impacto contra objetos sólidos por haber sido transportada o sometida a fuertes corrientes.

El último de los procesos bioestratigráficos a considerar es la corrosión, que abarca los efectos ocasionados por la abrasión física, la erosión biológica y la disolución química, ya que en la práctica resulta difícil identificar cuál de estos tres fenómenos fue el causante del daño a los ejemplares —es por ello que de manera general se habla

de grado de corrosión. Este proceso tiene lugar en la interfase agua-sedimento, antes que los restos sean enterrados; es un mecanismo destructivo que daña los ejemplares y origina la pérdida de información. Un alto grado de corrosión indica un largo tiempo de permanencia de los restos sobre el sustrato, para lo cual también es un buen indicador la presencia de epibiontes que pudieron haber utilizado los restos de esqueletos de otros organismos como sustrato duro para colonizar; no obstante, al interpretar la presencia de epibiontes también hay que considerar la posibilidad de que la colonización haya podido ocurrir en vida, lo que indicaría relaciones paleoecológicas —la diferencia entre uno y otro caso puede discernirse por la posición del epibionte sobre el hospedero.

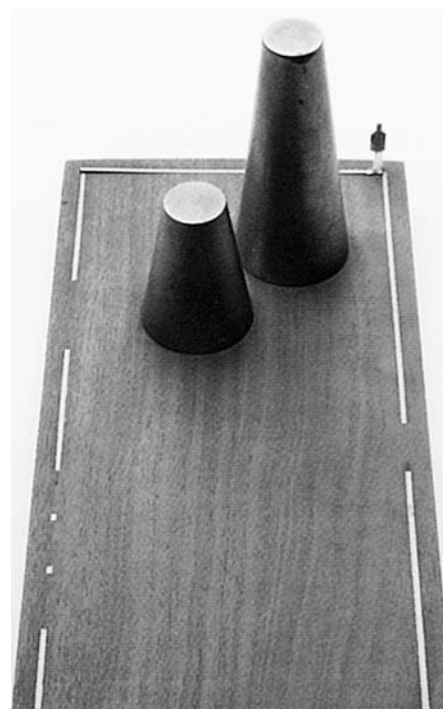
Procesos fosildiagenéticos

Una vez que los restos orgánicos están enterrados se ven afectados por procesos diagenéticos, muchos de los cuales

pueden ser también destructivos. La fosildiagénesis, que comprende la diagénesis primaria, permite la preservación de los organismos hasta llegar al registro fósil. Sus procesos están limitados a una temperatura máxima de 200 °C, ya que las mayores a ésta son mecanismos destructivos porque metamorizan la roca, y comprenden la disolución, la permineralización y la compactación cuando los restos aún no están completamente litificados.

La diagénesis primaria es aquella que ocurre antes de la compactación del sedimento en los primeros metros de sedimento sin consolidar. Para el proceso fosildiagenético la determinante principal es la composición mineralógica del esqueleto. Los minerales formadores de esqueletos más comunes son: la calcita alta o baja en magnesio, la aragonita, el sílice, el fosfato y la apatita. Dependerá de la estabilidad del mineral la dirección que el cambio va a seguir, es decir la disolución o preservación del esqueleto, al permitir o facilitar que los restos orgánicos puedan conservarse como evidencia directa o indirecta.

El proceso de mineralización implica la migración de fluidos y la difu-





sión de sustancias, lo cual provoca un cambio en la composición mineralógica original del esqueleto, ya sea por adición de nuevos minerales o reemplazo de minerales preexistentes. Lo más común es que el calcio y sílice presentes en el medio se precipiten y conserven los restos enterrados, aunque dependiendo de las condiciones ambientales puede haber formación de pirita, fosfato o pedernal.

La mineralización puede ocurrir por medio de varios procesos, como la cementación, la permineralización, la concreción, el neomorfismo, la recristalización y el reemplazamiento. La cementación tiene lugar por la adición de nuevos minerales e implica un relleno de las cavidades del esqueleto por un cementante, lo cual lleva a la formación de moldes que son una reproducción exacta del ejemplar original.

El proceso de permineralización ocurre por medio del relleno de las cavidades celulares de los restos ente-

rrados bajo minerales cristalinos o amorfos, y sus formas típicas son la silicificación (relleno por sílice en forma de ópalo o calcedonia), fosfatización (por fosfatos, muy común en dientes) y piritización (por pirita y se presenta en ambientes ligeramente ácidos y reductores).

La conservación de restos orgánicos en concreciones consiste en la precipitación de minerales en los intersticios existentes entre las partículas que rellenan el esqueleto preservado, formando un nódulo a su alrededor, que es resistente a compresiones fosildiagenéticas posteriores. Los nódulos, de acuerdo con el mineral que los forme, pueden ser de tipo calcáreo, silíceo, fosfático o ferruginoso.

El neomorfismo consiste en la sustitución de minerales que tienen la misma composición química, como por ejemplo la sustitución de la aragonita por la calcita, y ambos minerales están formados por carbonato de cal-

cio, pero la calcita es la forma más estable.

La recristalización implica un cambio de textura, ya sea en forma, tamaño u orientación de los componentes minerales de los restos conservados; si hay un crecimiento de los cristales, los restos son obliterados, destruidos o deformados; en cambio si los cristales minerales reducen su tamaño a formas microcristalinas, los restos se preservan.

El proceso de reemplazo es la sustitución del mineral original por otro de composición química diferente; uno de los casos más frecuentes es el reemplazo del sílice por calcita o cuarzo microcristalino.

La disolución de los restos, o su preservación, depende de su composición química y del medio en donde queden enterrados. Con respecto de la composición, la apatita es más resistente a la disolución y la calcita es la menos resistente, y esta última, al igual



que la aragonita, se disuelve en medios ácidos, en tanto que el ópalo es poco soluble en agua y ambientes alcalinos. La disolución también puede suceder por presión, es decir como consecuencia de fenómenos mecánicos.

La compactación por presión puede ocasionar también una distorsión de los restos orgánicos, ya sea un cambio en su forma, tamaño o textura, y puede ser homogénea cuando los restos sufren por completo modificaciones de manera proporcional, y heterogénea cuando las líneas se curvan durante la distorsión.

Algunas aplicaciones y usos

Generalmente, en paleontología se resalta el hecho de la pérdida de información al comparar las comunidades actuales con las comunidades fósiles; sin embargo, el hecho de que el registro fósil sea incompleto no implica que sea inadecuado, por tanto, al efectuar estudios de tipo tafonómico, las aparentes pérdidas pueden convertirse en ganancias, ya que el estado de preservación del fósil permite la reconstrucción de la velocidad de descomposición de los restos y la velocidad de enterramiento de los mismos, lo cual ayuda a comprender los procesos de sedimentación que tuvieron lugar.

Los estudios tafonómicos permiten reconstruir la composición faunística, paleoambiental y los procesos de sucesión de comunidades, además de ayudar a entender los datos y procesos que presenta el registro fósil para poder aplicarlos a cuestiones paleobiológicas y paleoecológicas, ya que uno de los principales puntos que se consideran es el tiempo promedio de acumulación de los restos que forman un yacimiento y la fidelidad del registro fósil.

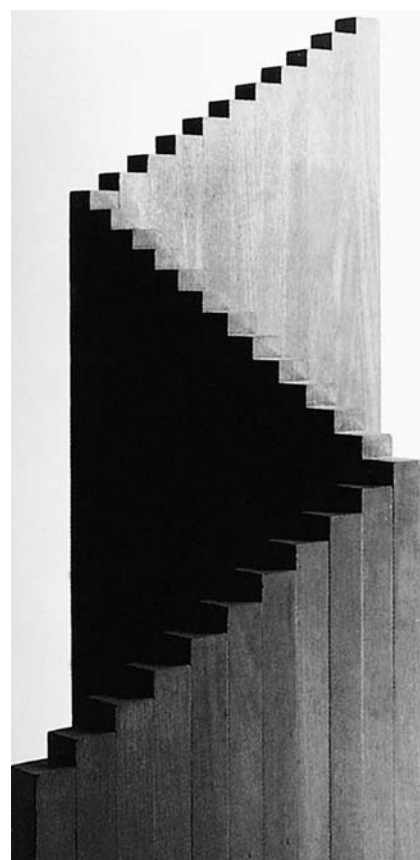
Para los paleoecólogos los análisis tafonómicos se enfocan principalmente a la fidelidad del registro fósil, es decir, qué proporción de la comunidad viva está representada en un conjunto fósil, relación que se ha denominado como *taphonomic feedback* o retroalimentación tafonómica, y que es el espectro de interacción de lo vivo y lo muerto; sin embargo, esto es muy difícil de demostrar y resulta ambiguo en el registro fósil.

En los estudios tafonómicos no pueden hacerse generalizaciones, ya que debe de tomarse en cuenta el grupo de organismos, la biota que es objeto de estudio, para ver cómo las mismas condiciones paleoambientales pueden afectar de manera diferente a distintos grupos de especies o taxa debido a sus propiedades intrínsecas, y cómo dife-

rentes condiciones ambientales pueden dar resultados tafonómicos semejantes en distintos taxa; se debe ser muy cuidadoso en las interpretaciones de los procesos tafonómicos y siempre tomar en cuenta la naturaleza de los fósiles estudiados.

Otros enfoques

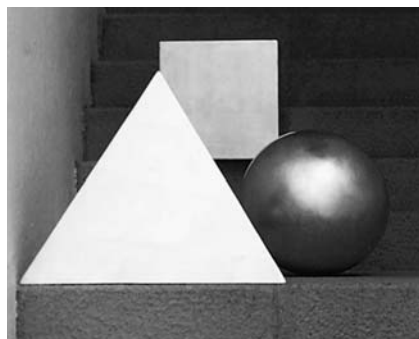
Una vez que se comprendió la importancia de los estudios tafonómicos, su




campo se ha extendió no sólo al interior de la paleontología, sino también más allá, a la arqueología, la prehistoria, la paleopatología, e incluso a la antropología forense. En lo que respecta a esta última, la tafonomía abarca el estudio de restos humanos desde la muerte, su descomposición o conservación, transformación, desgaste y transporte, hasta su hallazgo, pero dentro de un contexto judicial o forense. De este campo se encarga el antropólogo forense, quien trata de obtener la mayor información posible de los restos humanos —sexo, edad, estatura, probable causa y fecha de muerte y algunos otros rasgos que ayuden a la identificación en el caso de cadáveres actuales o a reconstruir su historia de vida si se trata de restos antropológicos. En

el caso de los restos óseos, el principal agente destructivo es la humedad que propicia la proliferación de hongos y algas, y altera el color y el aspecto de los huesos.

También hay que tomar en cuenta que los diferentes huesos de un mismo organismo pueden reaccionar de manera diferente y que hay algunos que se degradan o que se desarticulan con mayor rapidez, por lo cual la di-



rección de cambio siempre va a ser diferente, dependiendo del ambiente al cual se encontraron sometidos. Para estos casos se emplea el término de “tiempo tafonómico”, que es el lapso transcurrido desde el momento de la muerte hasta el descubrimiento de los restos humanos.

A lo largo de este recorrido por los procesos que afectan el registro fósil se ha mostrado la importancia que tienen las investigaciones tafonómicas en las interpretaciones paleontológicas, las cuales pueden cambiar nuestra concepción sobre los eventos biológicos, la reconstrucción de una manera más fidedigna de la diversidad de la biota en el tiempo y un mejor entendimiento de los patrones biológicos actuales. 

Catalina Gómez Espinosa y Raúl Gío Argaez
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología,
Universidad Nacional Autónoma de México.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allison, P.A. y D. E. G. Briggs. 1991. Plenum Press, New York.
Behrensmeyer, A. K. y S. M. Kidwell. 1985. "Taphonomy's contributions to paleobiology", en *Paleobiology*; vol. 11; núm. 1; pp. 105-119.

Behrensmeyer, A. K. 1984. "Taphonomy and the fossil record", en *American Anthropologist*, núm. 72, pp. 558-565.

Brett, C. E. y G. C. Baird. 1986. "Comparative taphonomy: a key to paleoenvironmental interpretation based on fossil preservation", en *Palaio*; 1986; vol. 1; núm. 3; pp. 207-227.

Efremov, A. 1940. "Taphonomy; a new branch of Paleontology", en *Pan-American Geology*, vol. 74, núm. 2, pp. 81-93.

Fernández-López, S. R. 2000. Universidad Complutense, Madrid.

Kidwell, S. M. y A. K. Behrensmeyer. 1993. "Short courses" en *Paleontology*; núm. 6. Paleontological Society.

Martin, R. E. 1999. Cambridge Paleobiology Series 4. Cambridge University Press, Cambridge.

IMÁGENES

P. 16: Álvaro Blancarte, *Rompiendo esquemas III*, 2001; Pp. 16-17: Autobús varado en un mar de lava. P. 18: Eva Lootz, *Implosión*, 1994; Carmen Cologan, *Paisaje*, 1994. P. 19: Robert Smithson, *Closed Mirror Square*, 1969. P. 20: Mathias Goeritz, *Conos*, 1972; Mathias Goeritz, *Torres de Automex*, 1963. P. 21: Mathias Goeritz, detalle de las *Torres de Temixco*, 1957. P. 22: Mathias Goeritz, *Relieve ciudadano*, 1985; Mathias Goeritz, *Ciudad sin fin*, 1962. P.23: Mathias Goeritz, *Figuras geométricas*, 1960.

Taphonomy: A new science that studies the geological past

Palabras clave: Tafonomía, paleontología, preservación, registro fósil.

Key words: Taphonomy, paleontology, preservation, fossil record.

Resumen: Se muestra a la tafonomía como una rama del conocimiento paleontológico que estudia los efectos del proceso post-mortem y cómo éstos afectan la información del registro fósil.

Abstract: This article shows taphonomy as a branch of paleontological knowledge that studies the effects of the post-mortem process and how they affect information in the fossil record.

F. Raúl Gío-Argáez, Doctor en Ciencias (2000). Decano de los profesores de Paleontología en la Fac. de Ciencias. Responsable del laboratorio de micropaleontología ambiental en el ICML, fue nombrado socio honorario de la Real Sociedad Española de Historia Natural (2007).

Catalina Gómez Espinosa es candidata al doctorado en Ciencias Biológicas por la UNAM, con especialidad en tafonomía de invertebrados bentónicos. Imparte clases de paleontología en la Facultad de Ciencias, UNAM.

Recibido el 17 de abril de 2009, aceptado el 30 de julio de 2009.