

La problemática relación entre estadística y ostrácodos marinos

The problematic relation between statistics and marine ostracods

F. Ruiz ⁽¹⁾, M. Abad ⁽¹⁾ y J.M. Muñoz ⁽²⁾

⁽¹⁾Departamento de Geodinámica y Paleontología, Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Huelva. Campus de El Carmen, Avda. de las Fuerzas Armadas, s/n, 21071-Huelva. ruizmu@uhu.es

⁽²⁾Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Facultad de Matemáticas, Universidad de Sevilla. C/ Tarfia, s/n. 41012-Sevilla.

ABSTRACT

This paper analyses the possibilities of the statistical techniques in the treatment of marine ostracod populations, with the indication of the commonest problems observed in the different stages (sampling, laboratory procedures, recognition of the biocoenosis). Some additional chapters indicate the most important limitations for the application of bivariate or multivariate techniques. In both cases, results can be considered as a graphic development of the initial database and never as the main support of the conclusions.

Key words: Marine ostracods, sampling, laboratory procedures, statistics.

Geogaceta, 38 (2005), 123-126
ISSN: 0213683X

Introducción

Diversas técnicas estadísticas son utilizadas en el procesado de la ingente cantidad de datos aportados en cualquier análisis micropaleontológico. La correlación lineal simple o múltiple o los análisis multivariantes (clúster, factorial, componentes principales, funciones de correspondencia, análisis de correspondencia) han sido aplicados habitualmente a foraminíferos, diatomeas o nanoplankton calcáreo, con resultados interesantes en la definición de las asociaciones, la delimitación de sectores diferenciados dentro del área de estudio o la interpretación de aspectos evolutivos (Boeckel y Barman, 2004; Jiang *et al.*, 2004; Sejrup *et al.*, 2004).

En contraposición, su uso ha sido limitado en ostrácodos. Hasta la década de los setenta, la mayoría de los estudios perseguían casi exclusivamente el reconocimiento de las especies en un determinado área como base para estudios de distribución regional, la delimitación de provincias (paleo-) biogeográficas o los aspectos evolutivos de un grupo concreto, no precisando del uso posterior de técnicas estadísticas. En los últimos 30 años, sin embargo, diversas investigaciones han puesto de manifiesto su utilidad y sus limitaciones en estudios (paleo-) ecológicos o evolutivos (Reyment, 1991; Yasuhara *et al.*, 2004). En este trabajo, se efectúa una revisión de los diversos problemas planteados para el uso de técnicas estadísticas en las distintas fases de estudio de estos microcrustáceos en medios marinos (Tabla I).

ecológicos o evolutivos (Reyment, 1991; Yasuhara *et al.*, 2004). En este trabajo, se efectúa una revisión de los diversos problemas planteados para el uso de técnicas estadísticas en las distintas fases de estudio de estos microcrustáceos en medios marinos (Tabla I).

El muestreo

El tipo de muestreo puede condicionar los resultados de la investigación. Las dos técnicas más empleadas para la obtención de muestras (draga y testigo continuo) presentan problemas añadidos comunes y específicos (Tabla I). En ambos casos, suelen separarse los 2-3 centímetros superficiales para su análisis, ya que estos microcrustáceos suelen concentrarse cerca de la interfase agua-sedimento (Carbonel, 1980). Esta metodología presenta diversos inconvenientes básicos, ya que una misma muestra incluye un número variable de generaciones de las distintas especies en función de sus ciclos reproductivos o de las tasas locales de sedimentación. Ello ocasiona que la tanatocenosis suele dominar sobre la biocenosis, que suele representar menos del 20 % del total (Ruiz *et al.*, 2000).

Las dragas tienen la ventaja de proporcionar una cantidad o volumen importante del sedimento superficial, si

bien ocasionan una importante perturbación de la película superficial del sedimento al impactar con el fondo y una pérdida parcial de la fracción fina durante su recogida. Ello puede ocasionar importantes inconvenientes si se van a medir otras propiedades del sedimento, como su composición geoquímica o su granulometría, que van a ser relacionadas posteriormente con la distribución o abundancia de las poblaciones de ostrácodos.

Los testigos continuos causan una perturbación menor en el sedimento, pero la cantidad recuperada es limitada. Este método es apropiado para estudios bioestratigráficos o el análisis de la evolución de las asociaciones, si bien el volumen obtenido de los primeros centímetros (< 50 cm³) puede no ser suficiente para obtener un número significativo de individuos o para estudios multidisciplinarios. Otros aspectos limitantes pueden ser un porcentaje bajo de recuperación del testigo o la presencia de tramos muy bioturbados.

En zonas con cobertera de fanerógamas o macroalgas, es conveniente tomar muestras independientes del sedimento del fondo y de la vegetación suprayacente, para delimitar adecuadamente las asociaciones fíctiles. Un ejemplo adecuado de este tipo de muestreo puede ser consultado en Kamiya (1988).

Procesado y número de individuos estudiados

Una vez obtenidas las muestras, deben ser conservadas preferentemente en frío. Suele agregarse Rosa de Bengala (1g/l) y/o formaldehído para la preservación y distinción de la biocenosis, de forma similar a los estudios de foraminíferos. No obstante, este método presenta notables limitaciones en estos microcrustáceos, ya que se colorean también caparazones vacíos (sobre todo de formas muy ornamentadas) e incluso valvas sueltas debido a la presencia de otros microorganismos en su superficie (Zhou y Zhao, 1999). Además, el posible grado de error aumenta con el tiempo transcurrido entre la tinción y el estudio de gabinete.

Otro problema deriva de la aplicación de distintos tamices (de 63 mm a 500 mm), una cantidad (de escasos gramos a 3 kg) o volumen (hasta 3000 cm³) variables de sedimento o el estudio exclusivo de los ejemplares adultos (Tabla I). En consecuencia, los resultados obtenidos en zonas relativamente cercanas pueden no ser comparables cuantitativamente, ya que la luz de malla empleada condiciona la pérdida de ejemplares adultos de especies con menos de 200-400 mm de altura o de formas juveniles de otras especies de mayor tamaño.

A continuación, es aconsejable la extracción de unos 300 individuos por muestra para un análisis estadístico adecuado (Krutak, 1982). No obstante, este número es difícil de alcanzar en todas las muestras de un estudio y el esfuerzo puede ser muy superior al requerido para los foraminíferos (Tabla I), ya que los ostrácodos no suelen representar más de un 1 a 5 % del total de foraminíferos (p.e., Ruiz *et al.*, 1997). Además, existen determinados medios sedimentarios (p.e., marismas salobres; llanuras abisales), sectores estuarinos (boca, canales principales) o tipos de sedimentos (arenas medias a muy gruesas bien seleccionadas) donde no suele aparecer más de un individuo por cm³ o gramo de sedimento seco. En contraposición, estos microorganismos pueden superar los 900 individuos por gramo en algunos *lagoons* o en facies biogénicas de algunas bahías costeras (Bodergat e Ikeya, 1988; Ruiz *et al.*, 2004).

El reconocimiento de la biocenosis

A pesar de todos estos inconvenientes, es importante la separación de la biocenosis como base para conocer la autoecología de una especie o asociación (Tabla I). Kilenyi (1969) diferenció 5 estadios de conservación: caparazón con partes blandas, caparazón o valva con apéndices o trazas de cutícula, valvas o caparazones transparentes, caparazones opacos y valvas opacas rellenas de distintas matrices. Las trazas de cutícula no parecen ser fiables, ya que han aparecido en ostrácodos con más de 9.000 años (Horne, com. pers.). Las valvas o caparazones transparentes suelen estar vacíos en muchos casos y pueden precisar de su ruptura para contrastar la presencia de apéndices, sobre todo en especies pertenecientes a *Callistocythere*, *Cytheretta*, *Neocytherideis* o *Semicytherura*, cuyas valvas suelen permanecer unidas después de la muerte del individuo (Whatley, 1988). Algunos caparazones opacos pueden contener restos de partes blandas, en especial en especies muy ornamentadas donde las fosetas pueden estar rellenas parcialmente de sedimento, como *Urocythereis* o *Hemicytherura*. En cualquier caso, el proceso de secado de la muestra debe efectuarse a bajas temperaturas (30-70° C) para una mejor conservación de los tejidos blandos.

Índices básicos

La mayoría de estudios suelen incluir el número de individuos y especies presentes en cada muestra. El número de individuos condiciona claramente el uso posterior de análisis estadísticos, pudiéndose decidir la exclusión de aquellas muestras con menos individuos (de 30 a 100) (Tabla I). El número de especies por muestra suele ser inferior a 40-50, si bien se han diferenciado hasta 240 especies en 49 g de sedimentos pliocenos del noroeste de Francia (Maybury y Whatley, 1988).

Algunos índices de aplicación habitual en otros grupos de microorganismos (Simpson, equitabilidad, Fisher, Margalef) no suelen usarse para los ostrácodos. En muestras marinas someras con 15 a 50 individuos por gramo y 20 a 70 especies presentes, H(S) suele oscilar entre 2,5 y 3,5, dependiendo de la presencia

o no de una o varias especies dominantes (p.e., Whatley y Quanhong, 1987). Este número suele disminuir notablemente (0,5 a 1,5) en *lagoons* restringidos, canales distributarios o finalizadores de estuarios o sectores sometidos a condiciones de estrés (alta contaminación, fuerte gradiente hidrodinámico, alta exposición subaérea, anoxia crónica o periódica), donde los ostrácodos pueden desaparecer o bien los porcentajes de una o dos especies normalmente oportunistas sobrepasan el 60 % del total. Algunas de ellas se incluyen dentro de la familia Loxoconchidae (Bodergat *et al.*, 1998).

Otros índices menos frecuentes (p.e., coeficiente de disimilaridad) son puntualmente aplicados en la comparación entre estaciones de control, situadas en zonas no alteradas, y muestras contaminadas próximas a fuentes de polución. En estos casos, los ostrácodos figuran entre los organismos que mejor definen ambos sectores (Lee y Correa, 2005).

Análisis bivariantes usuales

Si existen un número suficiente de muestras (15-20 al menos) que presentan un número suficiente de individuos, pueden realizarse análisis bivariantes para hallar la relación entre pares de especies o de cada especie con las variables medioambientales determinadas (Tabla I). En este caso, las especies consideradas como alóctonas deben ser eliminadas, para proceder a continuación a la determinación de los porcentajes de las restantes especies en cada muestra.

El siguiente paso consistiría en seleccionar aquellas especies más representativas para el análisis bivalente posterior. Serán aquellas presentes en proporciones significativas (> 5 %) en la mayoría de las muestras o bien dominantes (> 20-30 %) en algunas muestras. A todas ellas y a las variables medioambientales medidas debería aplicárseles un test de normalidad, una vez estandarizados los datos. En caso afirmativo, podría utilizarse el coeficiente de correlación de Pearson, o bien el coeficiente de Spearman si esta condición no se cumple. En este último escenario, pueden buscarse transformaciones (p.e., expresiones logarítmicas o exponenciales) que permitan obtener distribuciones normales en la mayoría de las variables. En cual-

ZONA DE ESTUDIO	Profundidad (m)	Muestreo	Tamiz (m)	Cantidad (g)/ Volumen (cc)	Individuos estudiados/ muestra	Biocenosis	Índices básicos	Análisis bivariantes	Análisis multivariantes	Referencia
Arrecifes de México	0'22 - 2	Testigo	74 - 88	100 cc	≥ 300	No	I, E	No	Cluster (R, Q)	Krutak, 1982
Estrechos de Malasia	10 - 100	Draga	63	2'4 - 72'9 g	0 - 1117	No	I, E, NI, H(S)	No	No	Whatley y Quanhong, 1987
Japón	20 - 300	Draga/Test	Sin datos	Sin datos	> 50	Sin datos	D	No	Cluster, Factorial	Ikeya y Cronin, 1993
Scoresby Sund, Groenlandia	277 - 1262	Testigo	Sin datos	60 cc	3 - 324	Si	I, E,	No	No	Whatley et al., 1996
Bahía de Mikawa, Japón	5 - ~18	Draga	74	500 cc	54 - 268	Si	I, E, NI	No	Cluster, Correspondencia	Bodergat et al., 1997
Bahía del Sena, Francia	4'5 - 28'6	Draga	160 - 500	300 g	No	No	I, E, O/F	No	Parsimonia	Chait et al., 1998
Sur del Mar de China	181 - 4420	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Si	I	No	No	Zhou y Zhao, 1999
Estuarios SO España	0 - 6	Draga	125	50 g	0 - 338	Si	I, E	Pearson	Comp. Princip.	Ruiz et al., 2000
Estrecho de Drake, Antártida	2274 - 5194	Testigo	40	~ 60 cc	0 - 13	Si	D	No	Comp. Princip.	Gutzmann et al., 2004
Mar de Okhotsk	50 - 1750	Draga	63	625 cc	1 - 226	No	I, E	No	No	Ozawa, 2004

Tabla I.- Metodologías utilizadas en distintas investigaciones sobre ostrácodos marinos. I: número de individuos por muestra; E: número de especies por muestra; NI: número de individuos por gramo/cc; D: coeficiente de disimilaridad; O/F: porcentaje de ostrácodos respecto al total de foraminíferos.

Table I.- Methodological features of some selected papers concerning marine ostracods. I: number of specimens per sample; E: number of species per sample; NI: number of specimens per gram/cc; D: dissimilarity coefficient; O/F: percentage of ostracods in relation to the total foraminifer number.

quier caso, sería aconsejable que el número de muestras pudiera exceder considerablemente a la suma de las especies escogidas y las variables determinadas.

En cualquier caso, los resultados obtenidos en la matriz de correlación deben ser tratados con cautela, relacionando los posibles pares significativos con los datos autoecológicos conocidos de las especies introducidas. Las asociaciones así deducidas deberían ser contrastadas mediante estudios multivariantes robustos.

Principales técnicas multivariantes

Diversas técnicas multivariantes se han mostrado especialmente útiles en el análisis de los cambios morfológicos de determinadas especies durante el proceso de muda ó análisis evolutivos (Reyment, 1988) (Tabla I). En otros casos, se ha recurrido al análisis factorial o de componentes principales, con la expresión gráfica del diagrama F1-F2 en la mayoría de los casos. No obstante, debe indicarse que un estudio detallado debería analizar todos los factores necesarios para que la suma de las varianzas explicadas sumara, al menos, el 80 % del total. Aún así, y aunque los pesos específicos de las distintas especies fuesen muy elevados en los factores, los resultados deberían ser tratados más como expresiones gráficas que como resultados con una significación ecológica incontestable. Debe tenerse en cuenta que se necesitan altos pesos para que sean significativos (p.e., más de 0,3 para 350 muestras; Hair et al., 1998).

Conclusiones

La revisión de los procedimientos habituales empleados en el estudio de los ostrácodos marinos permite comprobar la variedad de problemas planteados ante el posible uso de métodos estadísticos. Los diferentes tipos de procesado, el amplio abanico de abundancias y diversidades de estos organismos en determinadas muestras o las especificaciones de cada método utilizado pueden condicionar la aplicación de estas técnicas. Los resultados finales, aún cumpliendo con los criterios de significación estadística requeridos, deben ser contrastados con la autoecología de las especies presentes y ser tomados como una referencia gráfica para su posterior análisis.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Plan Andaluz de Investigación (grupo RNM-238) y por el Plan Propio de Investigación de la Universidad de Huelva (Paleontología y Ecología Aplicadas).

Referencias

- Bodergat, A. M. y Ikeya, N. (1988). En: *Evolutionary biology of Ostracoda* (T. Hanai, N. Ikeya y K. Ishizaki, Eds.). Elsevier, 413-428.
- Bodergat, A. M., Ikeya, N. y Irzi, Z. (1998). *Journal de Recherche Oceanographique*, 23, 139-144.
- Boeckel, B. y Baumann, K. H. (2004). *Marine Micropaleontology*, 51, 301-320.
- Carbonel, P. (1980). *Mémoires de l'Institut de Géologie du Bassin*

d'Aquitaine, 11, 1-350.

- Chait, R., Dauvin, J. C. y Guenet, C. (1998). *Geobios*, 3, 791-807.
- Gutzmann, E., Martínez Arbizu, P., Rose, A. y Veit-Köhler, G. (2004). *Deep-Sea Research II*, 51, 1617-1628.
- Hair, J. F., Tatham, R. L. y Black, W. (1998). *Multivariate Data Analysis*. Prentice Hall, 768 p.
- Ikeya, N. y Cronin, T. M. (1993). *Micropaleontology*, 39, 263-281.
- Jiang, H., Zheng, Y., Ran, L. y Seidenkrantz, M. S. (2004). *Marine Micropaleontology*, 53, 279-292.
- Kamiya, T. (1988). En: *Evolutionary biology of Ostracoda* (T. Hanai, N. Ikeya y K. Ishizaki, Eds.). Elsevier, 303-318.
- Krutak, P. R. (1982). *Micropaleontology*, 28, 258-288.
- Kilenyi, T. I. (1969). En: *The Taxonomy, Morphology and Ecology of Recent Ostracoda* (J. Neale, Ed.). Oliver and Boyd, 251-267.
- Lee, M. R. y Correa, J. A. (2005). *Marine Environmental Research*, 59, 1-18.
- Maybury, C. A. y Whatley, R. C. (1988). En: *Evolutionary biology of Ostracoda* (T. Hanai, N. Ikeya y K. Ishizaki, Eds.). Elsevier, 569-596.
- Ozawa, H. (2004). *Marine Micropaleontology*, 53, 245-260.
- Reyment, R. A. (1988). En: *Ostracoda in the Earth Sciences* (P. De Deckker, J. P. Colin y J. P. Peypouquet, Eds.). Elsevier, 257-276.
- Reyment, R. A. (1991). *Multidimensional Palaeobiology*. Pergamon Press, 377 p.
- Ruiz, F., González-Regalado, M. L. y Muñoz, J. M. (1997). *Marine Micropaleontology*, 31, 183-203.
- Ruiz, F., González-Regalado, M. L., Bacceta, J. I. y Muñoz, J. M. (2000). *Marine Micropaleontology*, 40, 345-376.

- Ruiz, F., Rodríguez Ramírez, A., Cáceres, L. M., Rodríguez Vidal, J., Carretero, M. I., Clemente, L., Muñoz, J. M., Yañez, C. y Abad, M. (2004). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 204, 47-64.
- Sejrup, H. P., Birks, H. J. B., Kristensen, D. K. y Madsen, H. (2004). *Marine Micropaleontology*, 53, 197-226.
- Whatley, R. C. (1988). En: *Ostracoda in the Earth Sciences* (P. De Deckker, J. P. Colin y J. P. Peypouquet, Eds.). Elsevier, 245-256.
- Whatley, R. C. y Z. Quanhong (1987). *Revista Española de Micropaleontología*, 19, 327-366.
- Whatley, R. C., Eynon, M. y Moguilevsky, A. (1996). *Revista Española de Micropaleontología*, 28, 5-23
- Yasuhara, M., Irizuki, T., Yoshikawa, S., Nanayama, F. y Mitamura, M. (2004). *Marine Micropaleontology*, 53, 11-36.
- Zhou, B. y Zhao, Q. (1999). *Marine Geology*, 156, 187-195.