

DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LAS COMUNIDADES BENTÓNICAS DEL SEDIMENTO EN LA BAHÍA DE ALGECIRAS

F.J. Estacio / J.E. Sánchez Moyano / E.M. García Adiego / J.C. García Gómez
Laboratorio de Biología Marina (Palmones- Los Barrios). Universidad de Sevilla

INTRODUCCIÓN

Este estudio se enmarca dentro del programa de vigilancia ecológica que el Laboratorio de Biología Marina de la Universidad de Sevilla está realizando desde 1990, tanto en el arco de la bahía como en otras franjas costeras del litoral andaluz y ceutí.

Los análisis temporales de las comunidades biológicas marinas han sido tratados en numerosos trabajos de investigación (Tenore, 1972; Austen *et al*, 1989; Kroncke *et al*, 1992; López-Jamar *et al*, 1995; Estacio, 1996; Estacio *et al*, 1999). En éstos se destaca la importancia de este tipo de estudios a la hora de estimar la variabilidad natural de las poblaciones a lo largo del tiempo, al margen de los factores antropogénicos que puedan incidir sobre las mismas. Estos estudios han puesto de manifiesto una alta variabilidad de los organismos en relación a su presencia y abundancia a lo largo de los distintos periodos climáticos del año. Por ello, los efectos de las actuaciones sobre el litoral, y en concreto sobre las comunidades marinas, pasan por el conocimiento de su biología y de las variaciones producidas tanto por los condicionantes ambientales de tipo natural (entre ellos la climatología de cada periodo del año, la autoecología y la dispersión de las especies), como por los factores antropogénicos.

La bahía de Algeciras sujeta, por un lado a unas singulares condiciones naturales derivadas de sus fuertes corrientes y de la profundidad, y por otras artificiales como las numerosas transformaciones de su frente litoral, ha constituido el centro de nuestras investigaciones, especialmente en los últimos diez años. Su litoral alberga variadas situaciones ambientales, fruto del crecimiento socioeconómico de la comarca. Así, cabe destacar varias zonas: la ensenada de Getares situada muy próxima al estrecho; el puerto de Algeciras, situado algo más al interior de la bahía, que alberga dos zonas con un alto grado de confinamiento del agua, la dársena del Saladillo y la ensenada de Los Ladrillos, donde además confluyen diversos vertidos urbanos; y la zona más interna donde se asienta un gran polo industrial constituido, entre otras empresas, por Acerinox, las

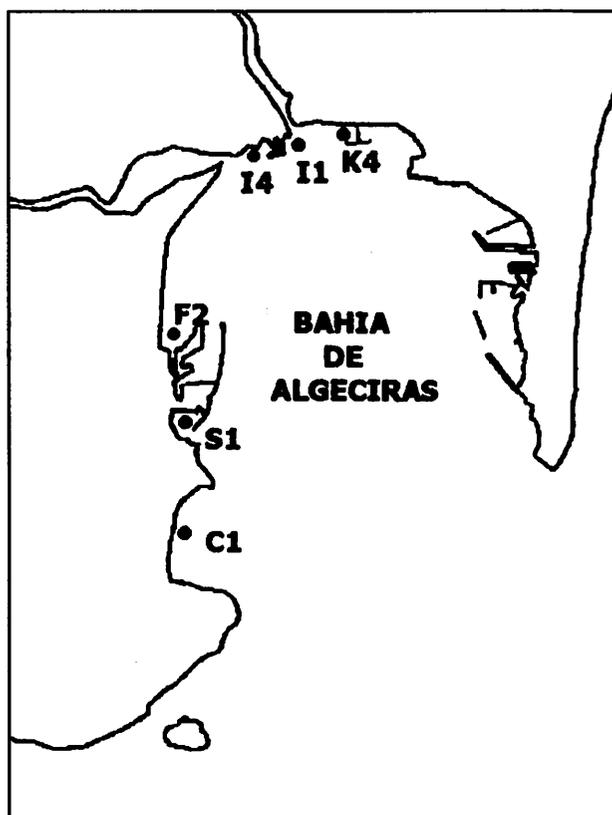


Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo en la bahía de Algeciras

Centrales Térmicas de Los Barrios y Bahía de Algeciras, y un gran complejo petroquímico perteneciente a la compañía CEPSA. Junto a éstas, se asientan otras industrias y diversas estructuras portuarias flanqueadas por pantanales. A todo esto hay que sumar un gran crecimiento urbanístico de las poblaciones costeras.

El análisis del comportamiento a lo largo del año de las especies del bentos en estos fondos, y en concreto en el sedimento, en zonas alteradas y en situaciones de escasa perturbación, ha permitido establecer cual es el régimen normal de variabilidad de las comunidades. Estos estudios son básicos, especialmente a la hora de detectar posibles regresiones de estas comunidades.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se han seleccionado seis estaciones a lo largo del arco de la bahía correspondientes a zonas ambientalmente distintas y con sedimentos de distinta granulometría (Fig. 1). Todas las estaciones se situaron a cinco metros de profundidad: C1, en la ensenada de Getares, está constituida por arenas finas; S1, en el interior de la dársena del Saladillo y situada a 50 metros de un emisario urbano, presenta un sustrato arenofangoarcilloso; F2, en el interior de la ensenada de Los Ladrillos, presenta un sustrato de arenas arcillosas; I4 se sitúa en el puerto de Acerinox y, junto a I1

situada a 100 metros del efluente termal de la central térmica Los Barrios, están constituidas por arenas de tipo medio; la estación K4 se sitúa a 50 metros del emisario del complejo petroquímico de CEPSA, y el sustrato se caracteriza por ser arenofangoso.

Los muestreos efectuados en cada una de las estaciones se realizaron mensualmente desde octubre de 1992 a septiembre de 1993 (el mes de febrero no pudo ser analizado por la alta frecuencia de temporales). Los datos de abundancias de las especies pertenecientes a cada mes son la suma de las obtenidas en las seis estaciones. A partir de los datos mensuales se han obtenido algunos parámetros poblacionales como el número de especies, la abundancia, la diversidad según el índice de Shannon-Wiener (Shannon y Weaver, 1963) y la equitatividad según el de Pielou (Pielou, 1966), empleando para estos últimos logaritmos neperianos.

Con el fin de establecer el grado de semejanza de las comunidades de los distintos meses se utilizó el índice de similitud de Bray-Curtis (Bray y Curtis, 1957) basado en los datos de abundancias transformados mediante la raíz cuarta de cada una de las especies en cada uno de los meses. A partir de la matriz de similitud obtenida se han representado las similitudes entre periodos mediante un dendrograma y un MDS a escala tridimensional.

Asimismo, el grado de estructuración que presentan las comunidades a lo largo del año se analizó mediante el modelo log-normal propuesto por Gray y Mirza (1979) y modificado por Gray y Pearson (1982). En este modelo, en el eje de abscisas se establecen clases geométricas de la abundancia que siguen una progresión geométrica ($\times 2$), y en el de ordenadas el número de especies que integran cada clase. Mediante esta representación de la distribución de las abundancias se pretende establecer la época más estable para las comunidades y detectar las que presentan un mayor grado de desequilibrio, asumiendo que las no perturbadas se ajustan a una distribución log-normal y que cualquier alejamiento de ésta se interpreta como un síntoma de alteración de las comunidades.

RESULTADOS

Parámetros poblacionales

* Número de especies. Se aprecia un descenso de los valores desde los meses correspondientes al otoño (octubre y noviembre de 1992) hasta el invierno (diciembre de 1992 y enero de 1993) (Fig. 2). Tras esta disminución se produce un incremento de los registros a lo largo de la primavera, alcanzando el máximo en el verano y concretamente en el mes de julio.

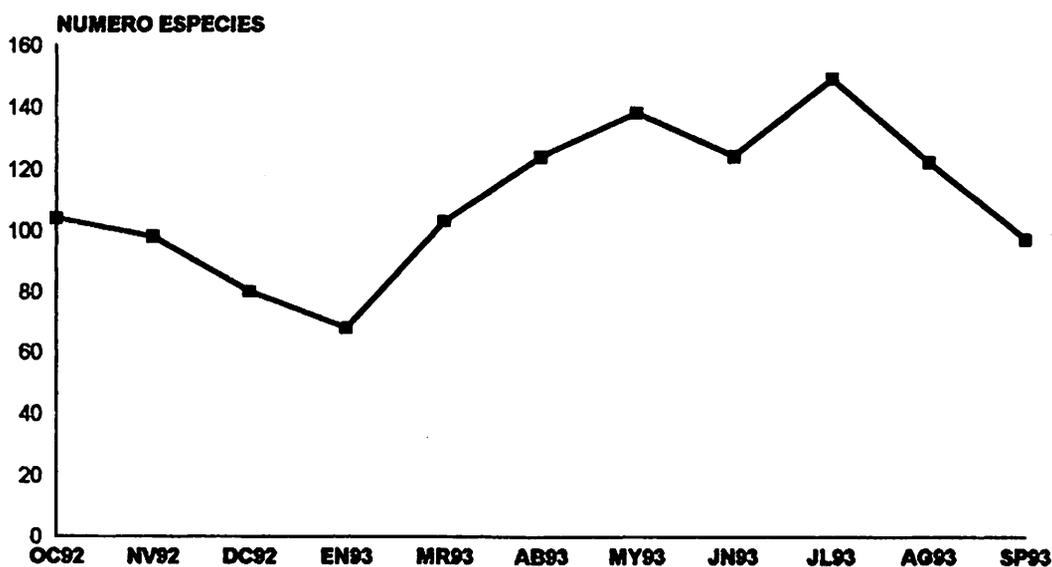


Figura 2. Valores del número de especies en los periodos analizados.

* Abundancia. Se observan tres picos máximos que se corresponden con el otoño, primavera y verano (octubre de 1992, mayo y julio de 1993) (Fig. 3). En los meses de diciembre, enero y marzo se obtienen los menores registros de abundancia del macrobentos.

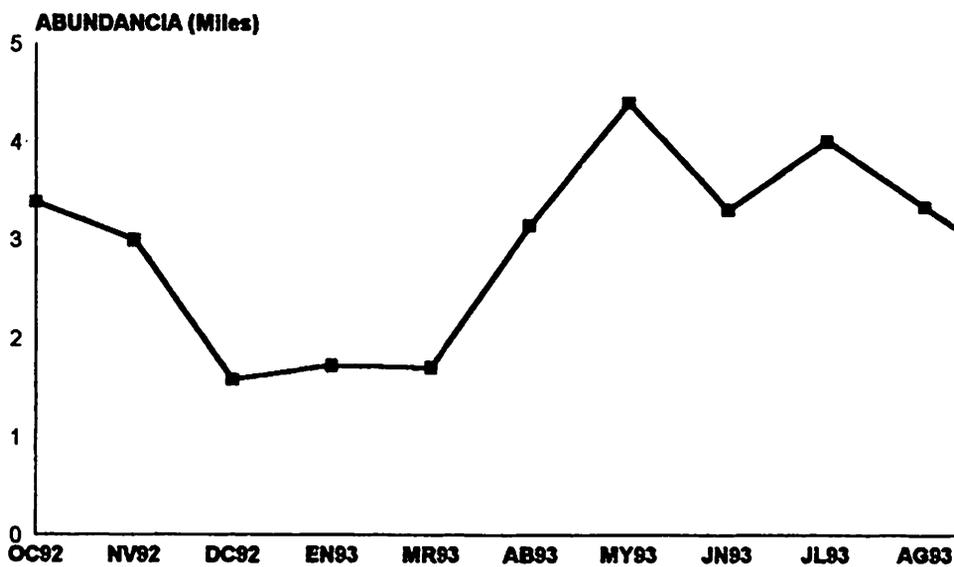


Figura 3. Valores de abundancia del total de especies observadas en cada periodo del estudio.

*Diversidad-equitatividad. Los valores son altos en todos los periodos analizados, aunque los correspondientes al invierno son propiciados por un bajo número de especies y de la abundancia (esto provoca una alta equitatividad, y por tanto un alto valor de diversidad) más que por una alta riqueza biológica (Fig. 4). El registro más bajo se obtiene durante el mes de enero y el más alto a finales del mes de julio.

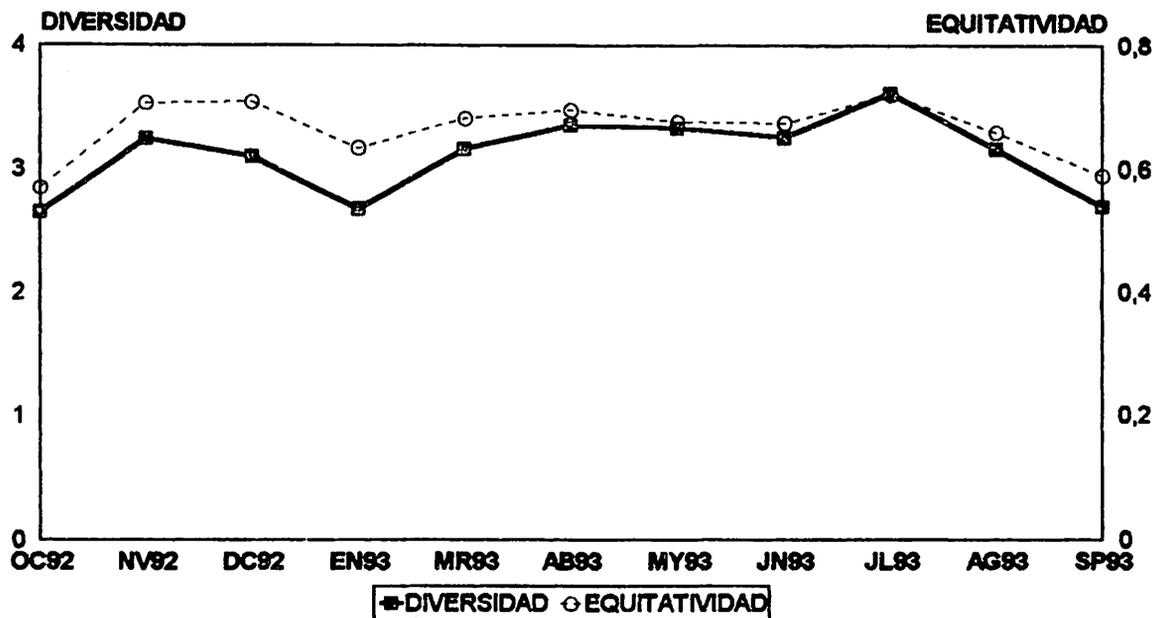


Figura 4. Valores de diversidad y equitatividad durante los meses analizados.

Modelo de distribución de las abundancias

La figura 5 muestra como los meses correspondientes a la primavera (abril, mayo y junio) y el verano (julio y agosto) son los que reflejan una estructuración más alta de sus comunidades, mientras que los del otoño (octubre y noviembre de 1992, y septiembre de 1993,) y el invierno (diciembre de 1992 y enero de 1993) indican una distribución de las abundancias de sus comunidades muy semejantes.

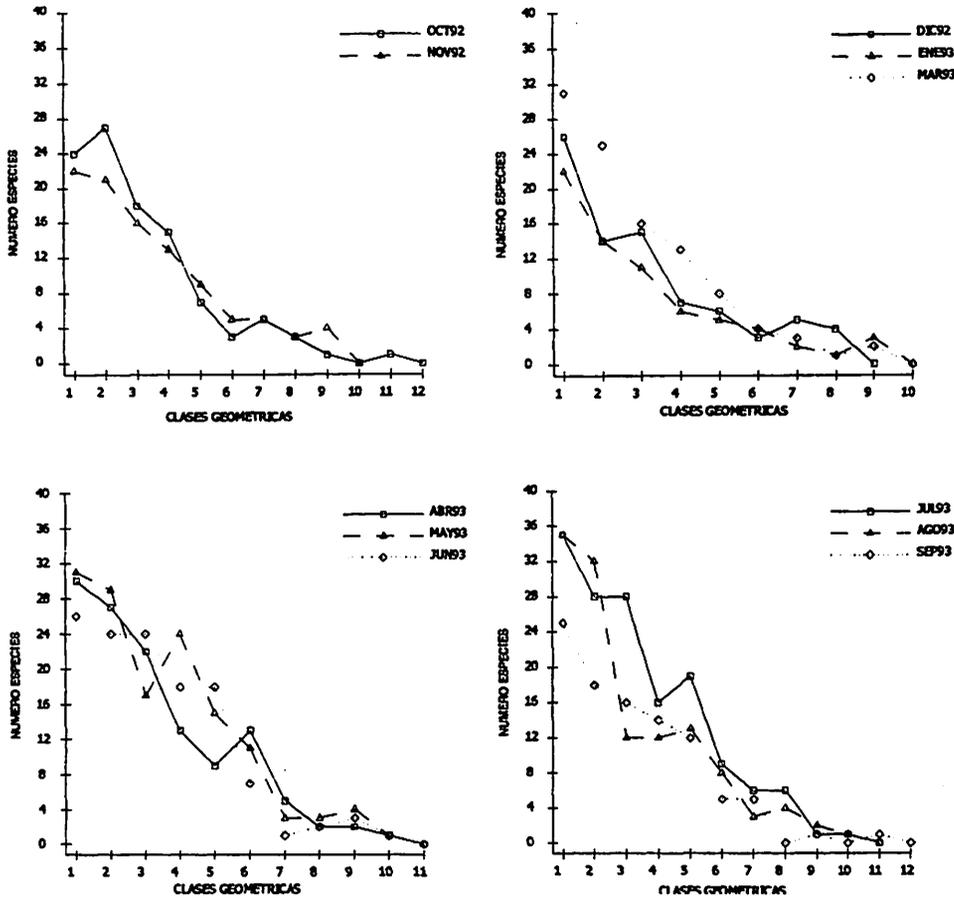


Figura 5. Modelo Log-normal de distribución de las abundancias en clases geométricas en los distintos meses analizados.

Análisis de similitud entre periodos

El dendrograma de similitud refleja dos agrupaciones (Fig. 6) que integran: por un lado, a los meses correspondientes al otoño y el invierno; y por otro, a los meses de la primavera, verano y comienzos del otoño de 1993. El mes de marzo muestra más semejanzas con los meses correspondientes al invierno que con los de primavera.

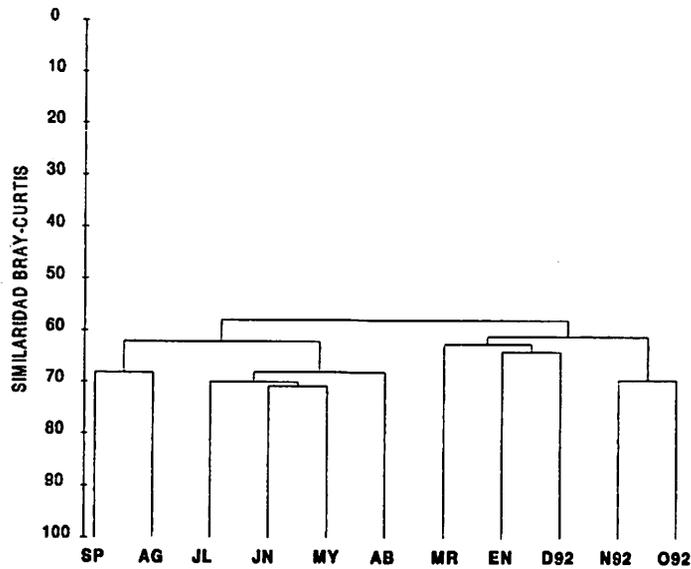


Figura 6. Dendrograma donde se observan las similitudes entre los periodos analizados en base a sus comunidades.

El primer grupo, a su vez, puede dividirse en dos subgrupos: uno que integra a los meses del otoño, y otro a los del invierno. En el segundo grupo se observan también dos subgrupos, uno compuesto por los meses de la primavera y el verano, y otro por los del final del verano e inicio del otoño.

El análisis MDS tridimensional confirma los resultados obtenidos con el dendrograma (Fig. 7) y, de nuevo, muestra la situación intermedia del mes de marzo entre los meses del invierno y la primavera.

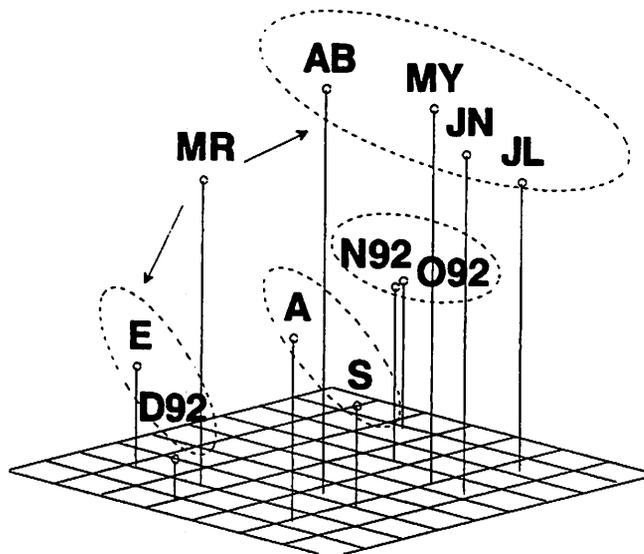


Figura 7. Representación tridimensional del análisis MDS en la que se observan las distintas agrupaciones entre los meses analizados en base a las semejanzas de sus comunidades.

DISCUSIÓN

Se ha podido constatar mediante este estudio una clara regresión de las comunidades macrobentónicas del sedimento en la Bahía de Algeciras durante los meses correspondientes al invierno, y una mejoría de éstas en los periodos más cálidos (primavera y verano), siendo la causa principal de esta variabilidad biológica las condiciones ambientales generadas en cada uno de los periodos del año por los fenómenos relacionados con la climatología.

Entre los factores que inciden en la distribución espacial de las comunidades del sedimento a lo largo del arco de la bahía de Algeciras están: la composición granulométrica del sustrato, el contenido orgánico del sedimento, y la profundidad (Estacio, 1996; Estacio *et al* 1997; Estacio *et al*, en prensa). Estos factores han sido descritos también por otros autores como los que inciden principalmente en la distribución espacial de las comunidades (Chardy y Glémarec, 1974; Gray, 1974; López-Jamar, 1978; Pearson y Rosenberg, 1978; Mora *et al*, 1982; Warwick *et al*, 1991; Warwick, 1993). Los dos primeros, a su vez, pueden ser consecuencia de la acción de agentes naturales como el hidrodinamismo y los aportes de los ríos Palmones y Guadarranque, y de otros artificiales como los vertidos urbanos e industriales, las construcciones portuarias y un alto grado de confinamiento del agua (Estacio, 1996).

Sin embargo, en muchos estudios de monitoreo ambiental el principal problema estriba en separar los gradientes originados por los efectos de la polución de los naturales (Gray *et al*, 1988; Holland *et al*, 1987). Por ello, los estudios relacionados con el análisis de la estructura de las comunidades marinas, y en concreto de sus variaciones a lo largo del año, han sido descritos también en otros estudios (Guille, 1971; Boesch, 1973; Ibáñez *et al*, 1993).

Junto a los factores ambientales anteriormente citados que justifican la presencia de las especies a lo largo de la bahía, existen otros de origen natural que explican la variabilidad de las mismas en el tiempo. Las oscilaciones en las distintas estaciones del año de la temperatura del agua, el régimen de lluvias, los temporales de vientos y sus efectos sobre el oleaje, han sido descritos como algunas de las principales causas de esta variabilidad temporal de los organismos (Ibáñez *et al*, 1993; McCall, 1977; Glémarec, 1979; Curras, 1990).

Así, la temperatura del agua en el fondo experimenta variaciones estacionales pronunciadas, con mínimos invernales y máximos a finales del verano o principios del otoño (Ibáñez *et al*, 1993). A este respecto, Glémarec (1979) describió la existencia de perturbaciones en las comunidades de origen climático en los mares templados, derivadas de la estacionalidad, especialmente durante los inviernos rigurosos con fuertes temporales. Además de la temperatura, las riadas propiciadas por un mayor régimen pluviométrico durante el invierno provocan un gran aporte de materiales minerales y orgánicos a la bahía, que al sedimentar generan una serie de efectos sobre el fondo y sobre sus comunidades: cambios de la granulometría y por tanto de las especies preferentes de cada sustrato; sepultamiento de las mismas; y alteraciones en el sistema alimenticio o respiratorio de los organismos (Estacio, 1996).

A su vez, el oleaje generado por los temporales del invierno provocan una agitación del fondo, especialmente en las zonas más próximas a costa. Esta remoción del fondo actúa eliminando aquellas especies que no soportan las modificaciones del sustrato o su arrastre en la masa sedimentaria móvil, y entre las causas de esta baja adaptación de los organismos se encuentran la imposibilidad de penetración en el sedimento, su menor grado de vagilidad y otros mecanismos ligados a la alimentación (Curras, 1990). Un estudio efectuado en Long Island (Mc Call, 1977) pudo constatar que el oleaje generado por los temporales era capaz de resuspender elementos gruesos del sedimento a 15 cm del fondo. Esto genera un alto grado de estrés a los organismos que igualmente sufren estos efectos de las olas.

Los resultados obtenidos en este estudio con los parámetros poblacionales muestran cómo los meses más favorables para las comunidades se corresponden con los periodos más cálidos de la primavera, el verano y principios del otoño. Durante el invierno se observa un notable descenso tanto, del número de especies como de su abundancia.

Según Rodríguez-Castelo y Mora (1984) y Dauvin (1979), las mayores densidades de organismos se obtienen avanzado el verano y corresponden a las fases de reclutamientos de las especies que tienen lugar en los meses más cálidos. El periodo invernal, según Rodríguez-Castelo y Mora (1984), se caracteriza por una brusca caída de la biomasa como consecuencia de una alta mortalidad de individuos debido a las variables y rigurosas condiciones del medio (entre ellas el descenso de la temperatura).

Sin embargo, destacan los similares registros obtenidos con la diversidad y equitatividad obtenidos durante todo el periodo de estudio. Estas semejanzas obedecen a dos esquemas distintos: por un lado, los valores durante los meses de la primavera, el verano y el otoño son altos debido a la entrada de nuevos contingentes larvarios tras la reproducción, que incrementan la presencia de especies y sus abundancias; por otro, los registros obtenidos en el invierno no son debidos a una alta riqueza biológica, sino a la baja presencia de especies y de la abundancia de éstas (según la formulación de los índices, los valores de equitatividad y de diversidad serán altos), y por tanto a un «ruido» propiciado por las características de los índices.

Los resultados obtenidos con el modelo log-normal permiten destacar la situación ambiental que soportan los organismos a lo largo del año. Los meses del invierno reflejan una menor estructuración de las comunidades y denotan una inestabilidad ambiental. Los correspondientes al otoño de 1992 y 1993, muestran igualmente un menor grado de estructuración respecto a los meses de la primavera y el verano, aunque sensiblemente mayores respecto a los del invierno. Estas semejanzas entre las comunidades del invierno y el otoño, y entre las del verano y la primavera se ponen también de manifiesto con los resultados obtenidos con los análisis multivariantes (dendrograma y MDS). Tanto con estas últimas analíticas como con las anteriormente descritas, el mes de marzo parece ser una «frontera» entre la inestabilidad invernal y los reclutamientos primaverales, aunque, según los resultados, las comunidades parecen estar aún influenciadas por las condiciones ambientales del invierno.

Esta variabilidad de las comunidades a lo largo del año como respuesta a los condicionantes ambientales de cada periodo debe ser analizada convenientemente, especialmente cuando se trata de modificar el medio marino. Sin embargo, aunque en la actualidad son muy frecuentes los estudios encaminados a evaluar los impactos ambientales de las alteraciones del litoral, algunos aspectos como la época más idónea para efectuar estas modificaciones no son siempre considerados, y prima la celeridad de las mismas a una posible minimización del impacto mediante la elección del periodo o de la forma menos destructivos. En este sentido, las épocas más favorables para la reproducción y el asentamiento larvario serían las menos propicias para generar perturbaciones en el sistema, especialmente si también son alteradas las áreas próximas que pudiesen actuar como reserva de las especies afectadas. Sin embargo, estas épocas, por sus favorables condiciones climatológicas y de operatividad, son las que concentran un mayor número de actividades (vertidos, construcciones, dragados...).

El comportamiento de los organismos a lo largo del año es variable y debería ser caracterizado cuando se pretende afrontar un riguroso estudio de monitoreo ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- AUSTEN, M.C.; WARWICK, R.M. y ROSADO, M.C. (1989). "Meio-benthic and Macro-benthic community structure along a putative pollution gradient in Southern Portugal". *Marine Pollution Bulletin*, 20 (8): 398-405.
- BOESCH, D.F. (1973). "Classification and community structure of macrobenthos in Hampton Roads Area, Virginia". *Mar. Biol.*, 21: 226-244.
- BRAY, J.R. y CURTIS, J.T. (1957). "An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin". *Ecol. Monogr.* 27: 325-349
- CHARDY, P. y GLÉMAREC, M. (1974). Contribution au problème de l'étagement des communautés benthiques du plateau continental Nord Gascogne. *C. R. Acad. Sci. Oaris*, 278 (Serie D): 213-216.
- CURRAS, A. (1990). *Estudio de la fauna bentónica de la Ría del Eo (Lugo)*. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela, 450 pp.
- DAUVIN, J.C. (1979). "Recherches quantitatives sur les peuplements des sables fins de la Pierre Noire, Baie de Morlaix, et sur sa perturbation par les hydrocarbures de l'Amoco-Cádiz". *Thèse Doc. 3ème cycle*, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI: 251 pp.
- ESTACIO, F.J. (1996). *Distribución y variación espacio-temporal de las comunidades macrobentónicas del sedimento en la Bahía de Algeciras. Implicaciones en la evaluación de la calidad ambiental del medio marino*. Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla. 482 pp.
- ESTACIO, F.J., GARCÍA-ADIEGO, E., FA, D., GARCÍA-GÓMEZ, J.C., DAZA, J.L., HORTAS, F. & GÓMEZ-ARIZA, J.L. (1997). "Ecological analysis in a Polluted area of Algeciras Bay (Southern Spain): external vs. Internal outfalls and environmental implications". *Mar. Poll. Bull.* 34 (10): 780-793.
- ESTACIO, F.J., GARCÍA-ADIEGO, E., CARBALLO, J.L., SÁNCHEZ-MOYANO, J.E. & GARCÍA-GÓMEZ, J.C. (1999). "Interpreting temporal disturbances in an estuarine benthic community under combined anthropogenic and climatic effects". *J. Coast. Res.* 15 (1): 155-167.
- ESTACIO, F.J.; SÁNCHEZ-MOYANO, J.E.; GARCÍA-ADIEGO, E.M.; CARBALLO, J.L. y GARCÍA-GÓMEZ, J.C. (en prensa). "Influencia de las condiciones ambientales sobre la macrofauna bentónica del sedimento en una bahía del sur de España. I. Distribución espacial y análisis ecológico de las comunidades". *Ciencias del Mar, USA*.
- GLÉMAREC, M. 1979. "Problèmes d'écologie dynamique et de succession en Baie de Concarneau". *Vie et Milieu*, 28-29 (1, AB): 1-20.
- GRAY, J.S. (1974). "Animal-sediment relationships. Ocean". *Mar. Biol. Ann. Rev.*, 12: 223-261.
- GRAY, J.S.; ASCHAN, M.; Carr, M.R.; CLARKE, K.R.; GREEN, R.H.; PEARSON, T.H.; ROSENBERG, R. y WARWICK, R.M. (1988). "Analysis of community attributes of the benthic macrofauna of Frierfjord/Langesundfjord and in a mesocosm experiment". *Marine Ecology Progress Series*. 46: 151-165.
- GRAY, J.S. y MIRZA, F.B. (1979). "A possible method for detecting pollution-induced disturbance on marine benthic communities". *Mar. Poll. Bull.* 10: 142-146.
- GRAY, J.S. y PEARSON, T.H. (1982). "Objective selection of sensitive species indicative of pollution-induced change in benthic communities. I. Comparative methodology". *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 9: 111-119.
- GUILLE, A. (1971). "Bionomie benthique du plateau continental de la côte catalane française". *Vie et Milieu*, 22 (1).
- HOLLAND, A.F.; SHAUGHNESSY, A.T. y HIEGEL, M.H. (1987). "Long-term variation in mesohaline Chesapeake Bay macrobenthos: Spatial and temporal patterns". *Estuaries*, 10 (3): 227-245.
- IBÁÑEZ, F.; DAUVIN, J.C. y ETIENNE, M. (1993). "Comparaison des évolutions à long terme (1977-1990) de deux peuplements macrobenthiques de la baie de Morlaix (Manche occidentale): relations avec les facteurs hydroclimatiques". *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 169: 181-214.
- KRÖNCKE, I.; DUINEVELD, G.C.A.; RAAK, S.; RACHOR, E. y DAAN, R. (1992). "Effects of a former discharge of drill cutting on the macrofauna community". *Marine Ecology Progress Series* 91, 227-287.
- LÓPEZ-JAMAR, E. 1978. "Macrobentos infaunal de la ría de Pontevedra". *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 4 (4): 113-130
- LÓPEZ-JAMAR, E., FRANCESCH, O., DORRÍO, A.V. & Parra, S. (1995). "Long-term variation of the infaunal benthos of La Coruña Bay (NW Spain): results from a 12-years study (1982-1993)". *Sci. Mar.* 59 (Suppl. 1): 49-61.
- MCCALL, P. (1977). "Community patterns and adaptive strategies of the infaunal benthos of Long Island Sound". *J. M. Res.* 35 (2): 221-265.
- MORA, J.; GARCÍA, M.A. y ACUÑA, R. (1982). "Contribución al conocimiento de las poblaciones de la macrofauna bentónica de la ría de Pontevedra". *Oecología aquatica*, 6: 51-56.
- PEARSON, T.H. y ROSENBERG, R. (1978). "Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment". *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 16: 229-311.
- PIELOU, E.C. (1966). "The measurement of diversity in different types of biological collections". *Journal of Theoretical Biology* 13, 131-144.
- RODRIGUEZ CASTELO, E. y MORA, J. (1984). Dinámica de poblaciones en arenas infralitorales de la ría de Pontevedra (NW España). *Actas do 4º Simposio Ibérico de Estudos do Benthos Marinho. Lisboa*. Vol II: 13-20.
- TENORE, K.R. (1972). "Macrobenthos of the Pamlico River Estuary, North Carolina". *Ecological Monographs* 42, 51-69.
- WARWICK, R.M. (1993). "Environmental impact studies on marine communities: pragmatical considerations". *Australian J. Ecol.* 18: 63-80.
- WARWICK, R.M.; GOSS-CUSTARD, J.D.; KIRBY, R.; GEORGE, C.L.; POPE, N.D. y ROWDEN, A.A. (1991). "Static and dynamic environmental factors determining the community structure of estuarine macrobenthos in SW Britain: why is the Severn Estuary different?". *Journ. of Applied Ecol.*, 28: 329-345.