

**FLUCTUACIONES DE VARIOS AÑOS DE PERÍODO
MEDIO EN LA PRODUCCIÓN DE FITOPLANCTON
EN EL MEDITERRANEO OCCIDENTAL ***

por

Ramón MARGALEF

(Instituto de Investigaciones Pesqueras, Barcelona)

INTRODUCCIÓN

Las posibilidades de explotación de cualquier ecosistema no sólo dependen de su producción primaria o básica (a nivel de los vegetales), sino también de cómo los valores de dicha producción en las distintas temporadas se distribuyen alrededor de la media general. Si su dispersión es muy grande, es decir, cuando ciertos años son enormemente productivos y otros muy poco, las condiciones de explotación son distintas de otra situación en la que, año tras año, se repiten aproximadamente las mismas cifras de producción.

Frecuentemente, las fluctuaciones en la producción primaria ofrecen cierta regularidad, en el sentido que retornan valores máximos o valores mínimos tras un número aproximadamente constante de años. El estudio de las fluctuaciones no sólo tiene interés por sí mismo, sino que muchas veces conduce al reconocimiento de cuales son los factores clave que gobiernan la producción.

MATERIAL

Desde que el Instituto de Investigaciones Pesqueras inició sus trabajos en el laboratorio del Grao de Castellón, a fines de 1949,

* A la memoria del Dr. P. FONT QUER, y en reconocimiento de mi deuda por la inspiración y ayuda que en todo tiempo recibí de él.

se han venido recogiendo datos sobre el fitoplancton y las condiciones de su producción en las aguas costeras próximas. La efectividad de estas investigaciones ha ido aumentando progresivamente. Al principio sólo se obtenían muestras de plancton con red, pronto se analizaron los pigmentos en aguas superficiales y se realizaron periódicamente observaciones sobre temperaturas, salinidades y concentraciones de fosfato. Al principio, estas operaciones se efectuaban a bordo de embarcaciones de la flota pesquera local, hasta que en 1958 se dispuso de una lancha propia, la "Nika", mejor equipada y a bordo de la cual se pudieron realizar observaciones mucho más completas. Los últimos años se introdujo en la rutina de las operaciones la determinación de la producción a través de la fijación de C-14 radiactivo. Sólo podemos hablar de producción con referencia a los últimos años. Sin embargo, se ha puesto en claro que la acumulación de una importante masa de fitoplancton es un buen indicio de la producción primaria, de manera que en el curso de este artículo usaremos "producción" de una manera poco rigurosa, como una designación sinónima de acumulación de biomasa.

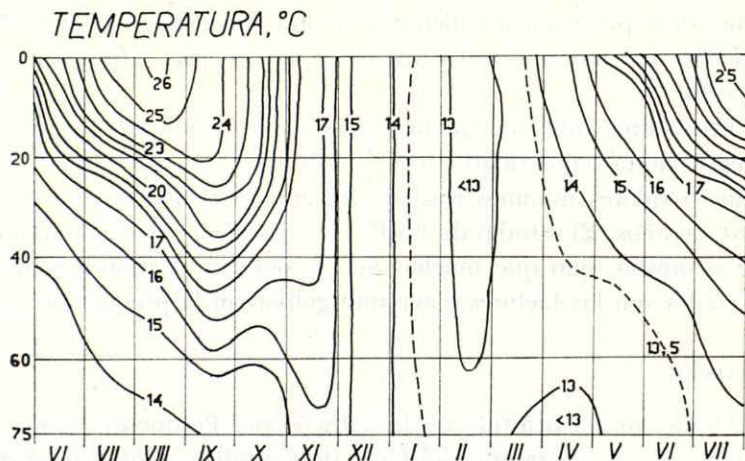


FIG. 1. — Temperaturas medias en la estación B, de Castellón, en función de la profundidad (escala en metros, a la izquierda) y del momento del año (meses, expresados en cifras romanas, en la parte inferior). Datos de 1959 a 1963.

Al principio, las observaciones se hicieron en diversos puntos comprendidos dentro del área de acción de la flota pesquera con base en Castellón. A partir de 1958 se estudiaron estaciones de posición fija. A los fines de la presente discusión tomaremos como referencia la estación B, sobre fondo de 78 m de profundidad, y cuyas coordenadas son $39^{\circ}56'14''\text{N}$ y $0^{\circ}23'11''\text{E}$. Dicha estación lleva la designación F8-ESP en la lista de estaciones oceanográficas mundiales fijas publicada por la comisión de oceanografía de UNESCO (1963).

Los datos obtenidos y su análisis, en el que han intervenido diferentes autores, se han ido publicando en "Investigación Pesquera". En algunos de estos trabajos y en otros de tipo algo más general (MARGALEF, 1957; HERRERA, 1961; MARGALEF, 1963; MUÑOZ y SAN FELIU, 1965) se han comentado y discutido las posibles fluctuaciones de varios años de período. Pero cada vez se posee mayor información y reiteradamente se cae en la tentación de volver a considerar el problema con más datos y de manera más amplia. Si las numerosas estaciones oceanográficas fijas del Mediterráneo occidental cooperasen de manera más activa, probablemente el problema de las fluctuaciones aproximadamente regulares podría ser resuelto rápidamente.

EL CICLO DE PRODUCCIÓN

En el curso del año pueden distinguirse tres acontecimientos discontinuos que contribuyen a fertilizar el agua y dan origen a sendas, y a menudo fugaces, proliferaciones de plancton vegetal.

Cuando en noviembre se enfría el agua de superficie y aumenta su densidad, el agua se mezcla desde la superficie hasta el fondo, movilizandó la pequeña reserva local de elementos nutritivos acumulada cerca del fondo.

En la segunda quincena de febrero y a principios de marzo se produce un verdadero afloramiento, de mayor o menor intensidad según los años, que aporta agua de origen profundo y de salinidad elevada. Esta agua puede extenderse simplemente sobre el fondo,

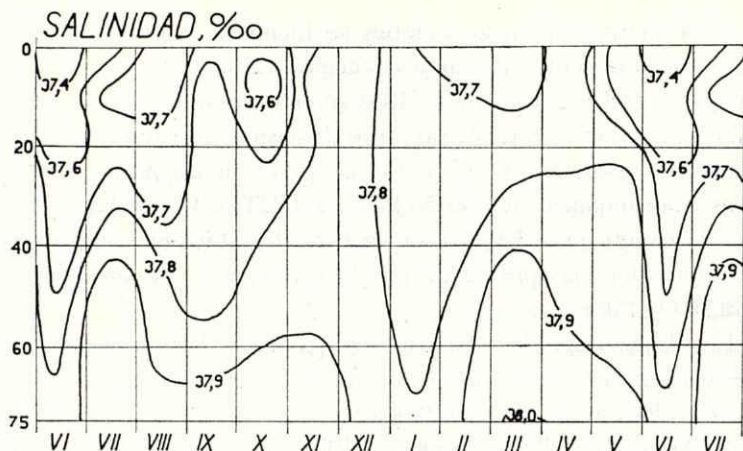


FIG. 2. — Salinidades medias en la estación B, de Castellón, en función de la profundidad (escala en metros, a la izquierda) y del momento del año (meses en la parte inferior, expresados en cifras romanas). Datos de 1959 a 1963.

o bien invadir toda la zona y alcanzar la superficie. Es el fenómeno que más contribuye a la fertilidad local del año. Finalmente, aguas superficiales de origen lejano, procedentes del S y SE, invaden el área en abril y mayo y suelen llevar cierta cantidad de fosfato, siendo la sede de pequeñas proliferaciones de fitoplancton. En este caso el fosfato —que es el principal elemento limitante— viene de la superficie y no del fondo como en los dos acontecimientos precedentes. El resto del año, la producción es muy baja y la cantidad de plancton vegetal presente en el agua es muy limitada.

Los tres acontecimientos referidos son, en principio, independientes entre sí; pero en la práctica se influyen algo, en el sentido de inhibirse mutuamente. Cuando el afloramiento es muy débil, las aguas superficiales de origen lejano (eventualmente "atlánticas") llegan antes, sus efectos son más duraderos y contribuyen en mayor grado a la producción total. Esta importancia variable del que se llamó "segundo máximo de primavera" fue discutida en otro trabajo (MARGALEF, MUÑOZ y HERRERA, 1957) al notar su aumento progresivo del 1951 al 1956, bien caracterizado por el

predominio de ciertas diatomeas más pelágicas (*Rhizosolenia alata*, *Rh. calcar-avis*) sobre otras más costeras (*Thalassiothrix frauenfeldii*, *Asterionella japonica*), por una cantidad total de plancton durante el semestre productivo inferior al que hacía esperar la intensidad de los vientos favorables al afloramiento, y un corrimiento hacia la primavera del centro de gravedad en la acumulación de fitoplancton.

La relación o interacción entre el primer máximo de otoño y el máximo principal de febrero y marzo es menos clara, aunque existen razones para creer que en los años de afloramiento poco intenso, los efectos de la mezcla vertical persisten por más tiempo. Así, por ejemplo, en el invierno de 1961-62, pobre, una cantidad considerable de fitoplancton del máximo otoñal persistió hasta enero (MARGALEF, 1963, fig. 6).

Tenemos, en resumen, que la producción total de una temporada es función de una suma de tres causas o acontecimientos que fertilizan el agua. Su intensidad no varía paralelamente, sino en sentidos opuestos o, todo lo más, independientemente y al

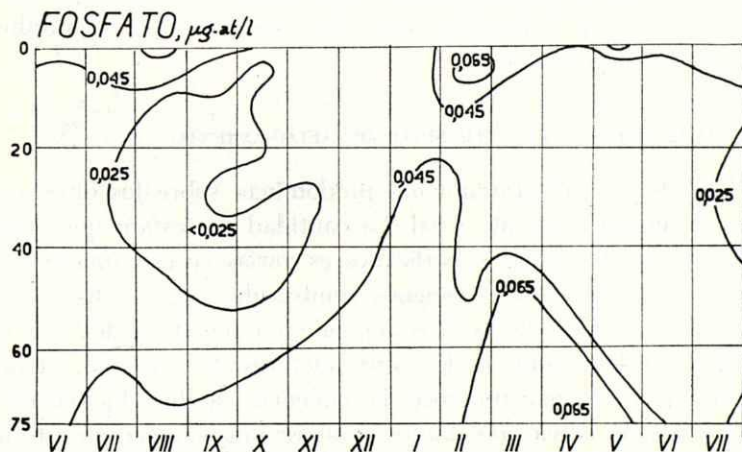


FIG. 3. — Concentraciones medias de fosfato inorgánico en la estación B, de Castellón, en función de la profundidad (escala en metros, a la izquierda) y del momento del año (meses en la parte inferior, en cifras romanas). Datos de 1959 a 1963. Expresado en $\mu\text{g-at}$ de fósforo por litro. Un miligramo de fósforo por metro cúbico es aproximadamente igual a $0,03 \mu\text{g-at P/l}$.

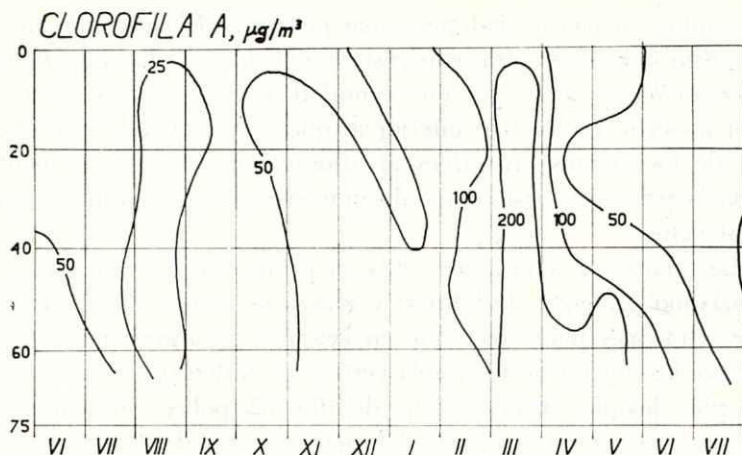


FIG. 4. — Concentraciones medias de clorofila *a* en la estación B, de Castellón, en función de la profundidad (escala en metros, a la izquierda) y del momento del año (meses, en cifras romanas, en la parte inferior del gráfico). Datos de 1959 a 1963.

azar. La consecuencia es que la producción total de fitoplancton por temporada fluctúa de manera más amortiguada que si dependiera de un solo acontecimiento fertilizante. Existe un mecanismo de regulación que tiende a mantener más constante la producción de los años sucesivos.

FLUCTUACIONES EN LA INTENSIDAD DE AFLORAMIENTO

Los efectos del afloramiento predominan sobre los otros factores de enriquecimiento local. La cantidad de fosfato que aquél introduce en las aguas superficiales es varias veces superior a la que aportan los otros fenómenos combinados (fig. 3). De manera que la "calidad" de los años depende, en definitiva, de la intensidad del afloramiento y los otros factores, en realidad, vienen solamente a atenuar un poco la violencia de las fluctuaciones producidas. Es obvio, por tanto, el interés que merece un estudio especial del afloramiento y sus implicaciones prácticas no necesitan ser destacadas.

En las figuras 1 a 6 se representa la variación de ciertas carac-

terísticas medias en función de la profundidad y del momento del año. Se trata de medias aritméticas relativas al período 1959 a 1963. Aunque probablemente difieren algo de las medias que proporcionaría una serie más larga de observaciones, creo que describen de manera adecuada las características fundamentales del ciclo anual en la estación de referencia.

Ahora las características particulares de cada temporada se pueden estudiar por sus desviaciones con respecto a los valores medios de las figuras 1 a 6, haciendo destacar así las características que singularizan a cada temporada. Se pueden distinguir años "buenos" y años "malos". Los primeros son años con mucho fitoplancton y afloramiento intenso. En las figuras 7 y 8 se representan de la forma indicada las características de un año de baja producción (1960-61) y otro de producción por encima de la media (1962-63). Como se ve, este último se caracteriza por agua de salinidad elevada, rica en fosfatos, algo más fría y, naturalmente, con una concentración de fitoplancton, sea expresado en número

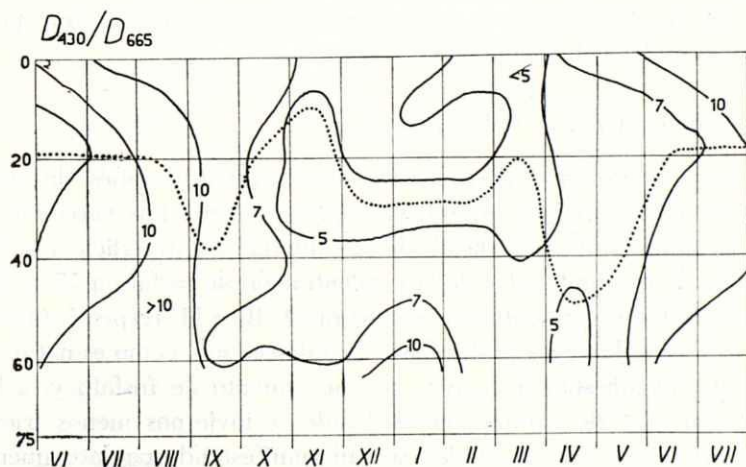


FIG. 5. — Distribución de los valores del cociente entre las densidades ópticas a las longitudes de onda de 430 y 665 milimicras de los extractos acetónicos de seston, en función de la profundidad (escala en metros, a la izquierda) y del momento del año (meses, en cifras romanas, en la parte inferior). La línea de puntos une los niveles para los que, en cada momento, se alcanzaba el valor mínimo del cociente D_{430}/D_{665} . Datos de 1959 a 1963, promediados.

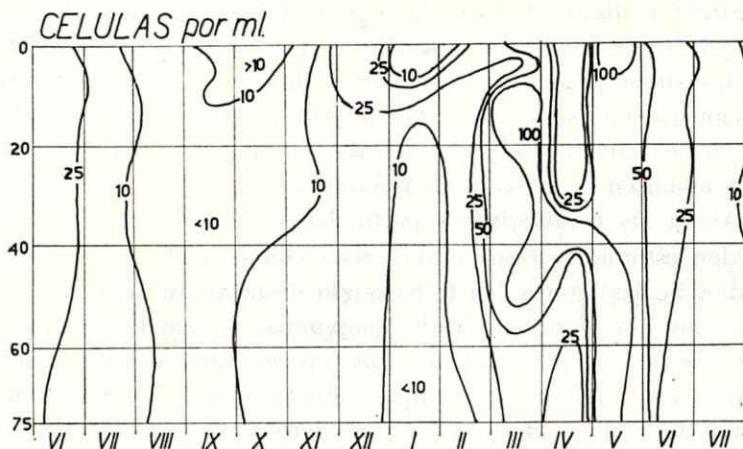


FIG. 6.— Distribución de las células de organismos fitoplanctónicos en la estación B, de Castellón en función de la profundidad (escala en metros, a la izquierda) y del momento del año (meses, en cifras romanas, en la parte inferior del gráfico). Promedios de los años 1959 a 1963.

de células, sea expresado en concentración de clorofila, muy por encima de los valores medios.

EL PERÍODO MEDIO DE 6 Ó 7 AÑOS

Los factores que parecen más significativos después de este primer análisis se han examinado separadamente. Las variaciones de la temperatura superficial, de la salinidad en superficie y a 75 metros de profundidad y de la concentración de fosfato a 75 m de profundidad se presentan en las figuras 9, 10 y 11, respectivamente. Los años de aguas profundas muy saladas, son, como es natural, los que manifiestan un mayor enriquecimiento de fosfato y, a la vez, son años de veranos menos cálidos e inviernos menos fríos. Las variaciones son graduales, se van manifestando paulatinamente en el curso de varios años, para luego cambiar de signo. La existencia de semejantes tendencias, en lo que se refiere a la salinidad, ya fue indicada por HERRERA (1961). El examen de las figuras 9 a 11 despierta la sospecha de fluctuaciones bastante regulares. Es

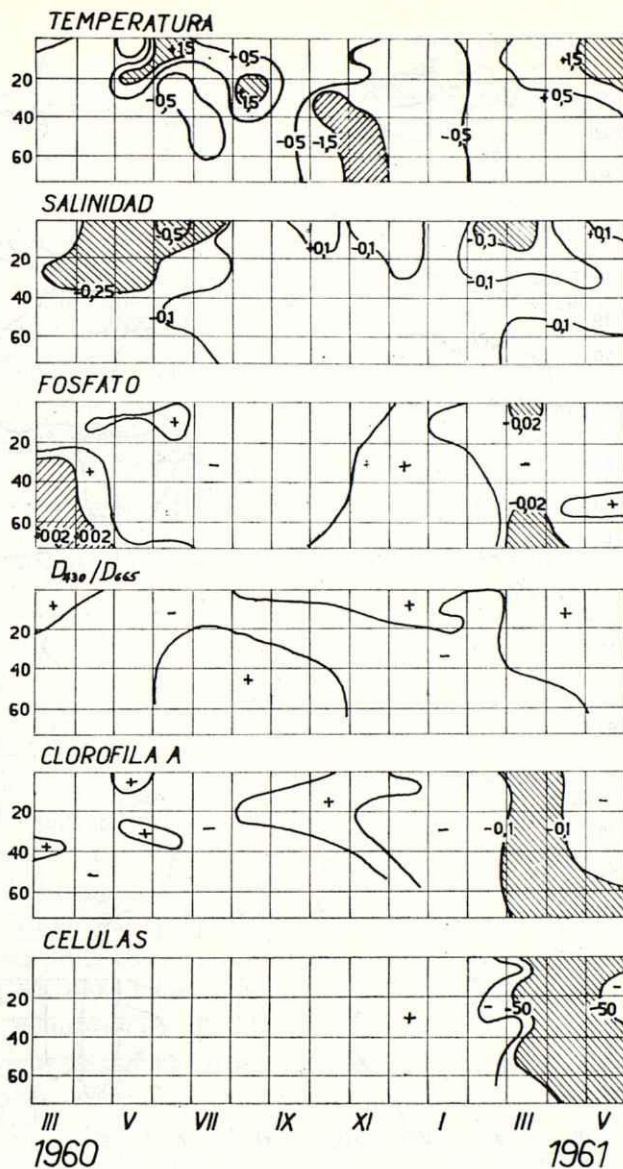


FIG. 7. — Características del periodo comprendido entre marzo de 1960 y mayo de 1961 (meses en la parte inferior del gráfico, en cifras romanas) en la estación B, de Castellón. Los valores alcanzados por los diversos parámetros se representan como desviaciones con respecto a las distribuciones medias de las figuras 1 a 6, destacándose con un rayado los valores que se apartan más notablemente de aquellas medias. Para cada parámetro se da la escala de profundidades, en metros, a la izquierda.

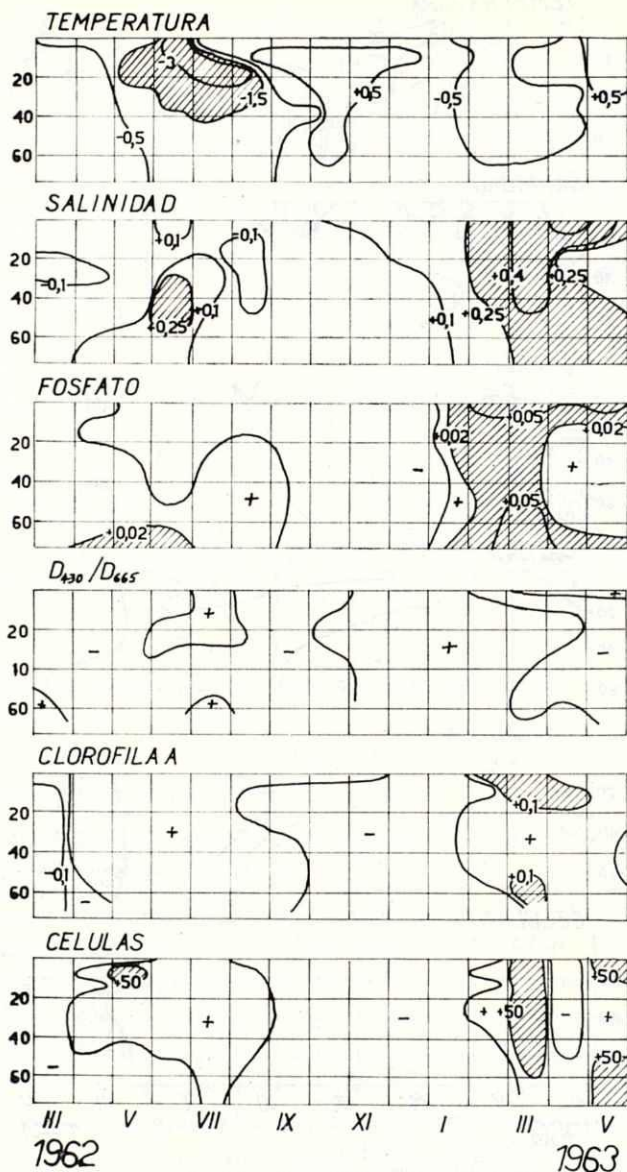


FIG. 8.— Características del período comprendido entre marzo de 1962 y mayo de 1963 en la estación B, de Castellón. Representación como en la figura 7. El período 1960-61 es representativo de una temporada de baja producción, mientras que el 1962-63, ilustrado en la presente figura, tipifica un año de excelente producción planctónica.

lamentable que los datos sobre salinidad y fosfatos no alcancen desde 1950. Sin embargo, se sabe que en dicho año la salinidad fue muy elevada.

Cuando pensamos en términos de ciclos, el período que se les puede asignar es de 6 años. Los años de mejores condiciones de producción, y ciertamente de afloramiento intenso, fueron 1951, cuando se iniciaron los estudios, y luego 1957 y 1963.

Es muy notable que un período medio de aproximadamente 6 años aparezca también en las cifras que expresan las capturas de atunes en las almadrabas del SW de España (RODRÍGUEZ-RODA, 1965), cuya producción alcanzó valores máximos los años 1949-50, 1956-57 y 1962-63. Por otra parte, fluctuaciones con un período medio análogo, de 6 ó 7 años, reaparecen en otros fenómenos que afectan a la hidrosfera, como, por ejemplo, en la corriente del Perú ("El Niño").

ANÁLISIS DE POSIBLES RELACIONES CAUSALES

En los primeros años de nuestras investigaciones en Castellón, una vez reconocida la importancia del afloramiento, se pensó en relacionar su intensidad con la de los vientos que soplaban en la dirección apropiada para producirlo, es decir, con los del tercer cuadrante. Para establecer una relación cuantitativa se estimó la intensidad media de los vientos en kg/m^2 ; los de dirección SW se multiplicaron por 1, los del S y del W por 0,7 y a la suma de estos tres productos —prescindiendo de los vientos de otras direcciones, cuyo efecto se consideró nulo— se le extrajo la raíz cuadrada. Estos valores (fig. 12, referidos sólo a febrero y marzo), sencillos, o dividiéndolos por la temperatura media superficial los mismos meses, se compararon con las biomásas medias de fitoplancton. La relación era bastante satisfactoria durante varios años (fig. 12); después empeoró, sin perderse totalmente. Al parecer existía algún otro factor que condicionaba la presencia de agua salada y nutritiva sobre el fondo, necesaria para que los vientos produjeran un afloramiento eficaz. En otras palabras, no bastaba la

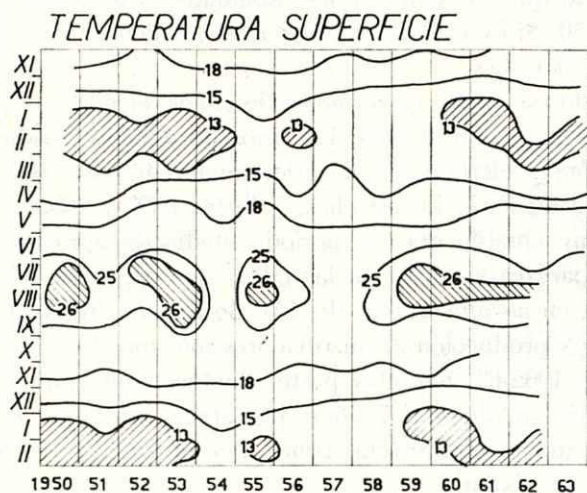


FIG. 9. — Distribución de los valores de las medias mensuales de la temperatura del agua superficial en la zona de pesca de la flota de Castellón (estación B y áreas inmediatas), de 1950 a 1963. Los valores inferiores a 13° C o superiores a 26° C se han distinguido con un rayado.

ascensión producida por el viento, sino que se requería una previa aproximación del agua apropiada. Las fluctuaciones en la salinidad son más regulares que las de los vientos y queda en suspenso si ambas fluctuaciones están ligadas de alguna manera que, de momento, se nos escapa.

El nivel superior que alcanza el agua salada profunda junto a nuestras costas mediterráneas fluctúa, pues, de año en año, y sigue ciclos más o menos regulares de varios años de período. Se pensó en la posibilidad de que la masa de aguas costeras menos saladas, cuando alcanzaba mayor desarrollo, pudiera impedir o retardar la ascensión del agua más salada. De ser cierta esta hipótesis, los años más productivos deberían venir a continuación de años especialmente secos. Esto no es verdad si se consideran los años por entero, como prueban los datos siguientes:

Precipitación media anual en el puerto de Castellón

1950/51:	393 mm	más productivos
1952/55:	262 mm	
1956/57:	471 mm	más productivos
1958/61:	421 mm	
1962/63:	538 mm	más productivos.

Sin embargo, la lluvia caída el verano anterior al invierno cuya producción evaluamos puede ser más significativa. Los años "buenos" fueron precedidos por veranos muy secos

Año	Lluvia caída en el trimestre junio a agosto	Clorofila en superficie en los meses de febrero y marzo siguientes
1950	28 mm	0,33 mg/m ³
1953	130 mm	0,24 mg/m ³
1956	48 mm	0,27 mg/m ³
1960	81 mm	0,07 mg/m ³
1962	14 mm	0,35 mg/m ³

Lo más verosímil es que el clima costero, la temperatura de las aguas superficiales y el nivel superior que alcanzan las aguas saladas y nutritivas, estén ligados por relaciones complejas en el

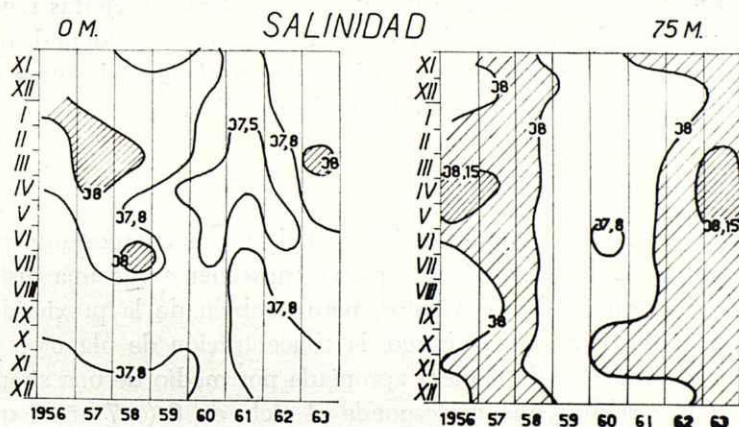


FIG. 10. — Distribución de la salinidad en superficie (izquierda) y a 75 m de profundidad, en la estación B, de Castellón, en función del mes (cifras romanas, en ordenadas) y del año (números arábigos, en abscisas).

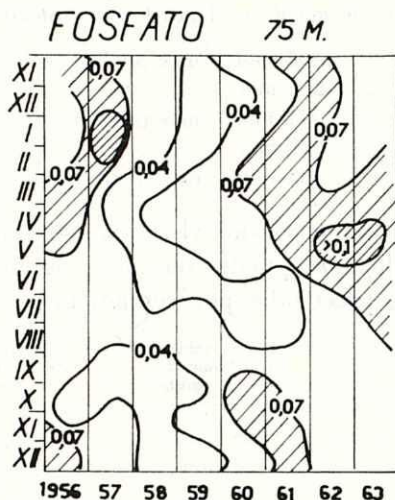


FIG. 11. — Distribución de la concentración de fosfato inorgánico (en $\mu\text{g-at}$ de P por litro) a la profundidad de 75 metros en la estación B, de Castellón, en función del mes (cifras romanas, en ordenadas) y del año (números arábigos, en abscisas).

seno del mecanismo de intercambio existente entre la atmósfera y la hidrosfera. También debe tomarse en consideración la formación más o menos periódica de agua fría y densa en ciertas regiones costeras del norte de la cuenca mediterránea occidental, que puede producir movimientos de báscula en el agua de otras regiones o deslizarse horizontalmente hacia ellas.

POSIBILIDADES DE PREDICCIÓN

La producción del año está regida de manera importante por la intensidad de afloramiento, que es consecuencia de una distribución adecuada de los vientos, pero también de la proximidad de agua nutritiva. Sin embargo, la concentración de plancton no se puede expresar de manera apropiada por medio de una simple función periódica que corresponda al ciclo de 6 (o 7 años) que estas primeras observaciones sugieren.

De las figuras 7 y 8 se deduce otra posibilidad de predicción,

en verdad un tanto sorprendente, y es a partir de la temperatura media de las aguas superficiales durante el mes de junio que precede al invierno cuya producción consideramos. Si se examina cómo se comporta esta correspondencia para los diversos años (fig. 13) la relación no es peor que cualquier otra, aparentemente más lógica, que pudiera imaginarse. Pero, en todo caso, debe usarse con prevención.

Combinando los dos criterios, a saber, la aceptación provisio-

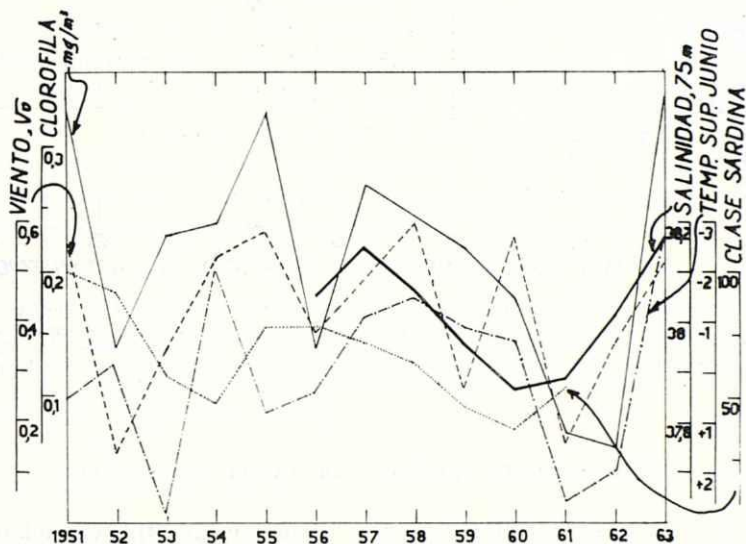


Fig. 12. — Evolución, desde 1951 a 1963, de las siguientes características: 1) Intensidad media de los vientos favorables al afloramiento en febrero y marzo, expresada como la raíz cuadrada de la fuerza media del viento en kg/m^2 . 2) Temperatura superficial durante el mes de junio del año precedente, expresada como desviación con respecto a la temperatura media de junio ($21,3^\circ\text{C}$). 3) Salinidad media a 75 m durante los meses de febrero y marzo. 4) Concentración media de clorofila *a* en superficie, durante los meses de febrero y marzo. 5) Importancia relativa de la clase anual de sardina nacida en el mismo año, según datos de GÓMEZ LARRAÑETA y SUAU.

nal de ciclos de seis años, con la significación de la temperatura superficial el mes de junio precedente, se puede arriesgar una estimación de la producción futura con una anticipación de muchos meses.

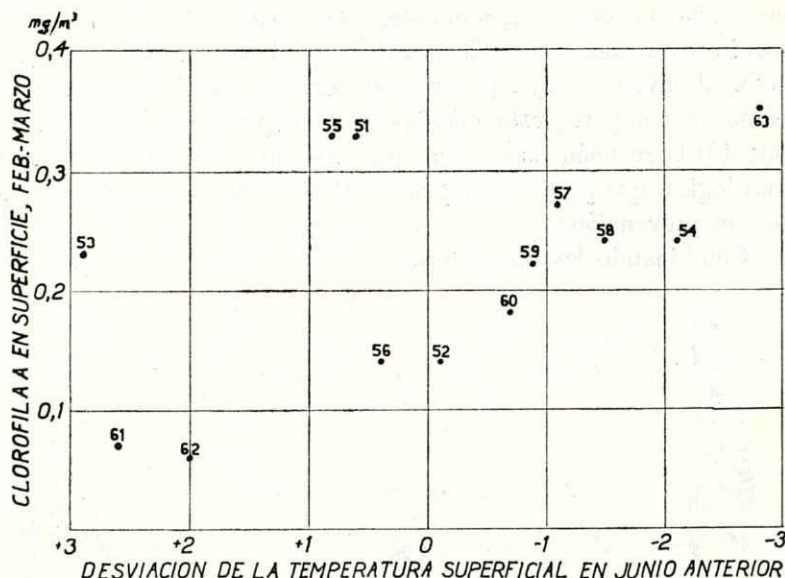


FIG. 13. — Relación entre la cantidad media de clorofila *a* en superficie, durante los meses de febrero y marzo y la desviación de la temperatura del agua superficial con respecto a la media mensual (21,3° C) durante el mes de junio precedente. Los datos de pigmentos de los primeros años (1951 a 1955) son menos precisos, por haberse empleado técnicas de recolección relativamente rudimentarias.

OTRAS MANIFESTACIONES BIOLÓGICAS DE LAS FLUCTUACIONES

La composición florística del plancton muestra variaciones correlativas con la intensidad de producción. Los años de buena producción se caracterizan también por un mayor desarrollo relativo de ciertos grupos característicos de diatomeas. Algunos aspectos de este tema fueron ya considerados (MARGALEF, 1957, 1966) y es innecesario añadir más comentarios, con mayor razón porque no parece existir una determinación biótica de la fertilidad. Es decir, el que ciertas comunidades de algas planctónicas ocupen el área, no predispone a una mayor o menor producción en momentos futuros. Las comunidades de fitoplancton tienen un gran dinamismo y albergan un espectro completísimo de organis-

mos y según sean las condiciones de producción determinadas por factores externos, toman la delantera unas u otras especies.

GÓMEZ LARRAÑETA y SUAU (1964) han evaluado la importancia relativa de la cantidad de sardinas que en años sucesivos se agregan a la población total del área. De un valor muy alto en 1951, se baja a un mínimo en 1954, para alcanzar otro máximo en 1956, seguido de un mínimo en 1960 y vuelta a subir otra vez (fig. 12). La periodicidad así manifiesta está de acuerdo con la básica; pero la importancia de la clase anual de sardinas no sólo marcha paralela a la producción de fitoplancton, sino que en algunos momentos parece anticiparse a sus fluctuaciones (1959-62, fig. 12) y ajustarse mejor a las fluctuaciones de la salinidad en aguas profundas. Esta circunstancia indica que la causa determinante del éxito de la cría puede no ser precisamente la cantidad de alimento representado por el fitoplancton, sino ciertos factores ambientales que influyen simultáneamente sobre el fitoplancton y sobre los peces.

Esto no quita interés al estudio de las posibles relaciones, sino que, por el contrario, lo aumenta, y demuestra el interés que para los problemas pesqueros puede tener el estudio del sistema general de las fluctuaciones

NATURALEZA DE LOS CICLOS

En el curso de las páginas anteriores se ha procedido con cautela en la discusión de la realidad y naturaleza de los presuntos ciclos. Las fluctuaciones, más o menos regulares, de varios años de período medio raramente se pueden poner en relación con ciclos cósmicos (las manchas solares, por ejemplo) y requieren ser considerados desde puntos de vista estadísticos. Hoy día se ha avanzado considerablemente en la explicación de cómo pueden engendrarse fluctuaciones más o menos regulares, como una consecuencia estadística de cierta organización del sistema de osciladores, aunque el tratamiento del problema suele ser excesivamente difícil para el biólogo medio (GOODWIN, 1963, p. 98; MORAN,

1959; WIENER, 1958). Pero el razonamiento general, simplificado, va más o menos según las directrices siguientes.

Imaginemos magnitudes discontinuas que fluctúan al azar y cuyo conjunto se distribuye normalmente alrededor de una media. Pueden considerarse como tales las que resultan de integrar sobre determinados períodos de tiempo (años) magnitudes que varían continuamente (producción de fitoplancton, radiación incidente, etc.). Con el artificio de integrar por períodos conservamos la media y disminuimos la dispersión de los datos a su alrededor. En la primera hipótesis cada magnitud es independiente de las anteriores. Aun en una serie de este tipo, formada por números que varían al azar, es posible que se suscite una discusión sobre la presencia de ciclos. Después de presentarse determinado valor, es más probable otro que vuelva hacia la media y no uno que se aparte más de ésta. Es posible asignar, a lo largo de la serie, cierta probabilidad de ocurrencia a cada tipo de pulsación u onda. El más frecuente, con una probabilidad de 0,5, será una fluctuación o "ciclo" de dos años u otras unidades de tiempo. El "ciclo" de tres años tendrá una probabilidad de 0,25 y así sucesivamente, pudiendo calcularse un "ciclo" medio, que está comprendido entre dos y tres, y queda próximo a 3.

Cuando existe alguna forma de interacción entre términos sucesivos, las fluctuaciones se atenúan —la dispersión de los valores individuales alrededor de la media de la serie se reduce— y el período medio de las fluctuaciones se alarga. Podemos discutir dos modelos, ambos muy reales.

Imaginemos que cada año se añade cierta magnitud que varía al azar, pero que no deja de influir sobre años futuros, sino que persiste cierto tiempo, degradándose o reduciéndose según determinada función. El ejemplo más sencillo es el de una población de una especie que vive varios años. En primera aproximación podemos suponer que la importancia de las sucesivas clases anuales varía de manera aleatoria y que la mortalidad es constante. Nos fijamos ahora en las fluctuaciones que experimenta la pobla-

ción total. Si A_t es el número de individuos nacidos el año t y k es una tasa de mortalidad, el número total de individuos S será:

$$S_t = A_t e^{-0k} + A_{t-1} e^{-1k} + A_{t-2} e^{-2k} + A_{t-3} e^{-3k} + A_{t-4} e^{-4k} + \dots$$

Una serie de este tipo manifiesta cierta regularidad en sus fluctuaciones y la distancia media entre máximos es tanto mayor cuanto más pequeño es k . En otras palabras, los efectos que persisten por mucho tiempo, o las poblaciones de organismos que viven largo tiempo, conducen a un alargamiento del período medio de los ciclos estadísticos.

Puede construirse otro modelo basado en el acoplamiento entre dos sistemas de características diferentes, entre los que se establece algo semejante a un circuito de regulación. Supongamos el sistema atmósfera/hidrosfera. Cada año pasa cierta cantidad de energía en los dos sentidos. Podemos suponer que las entradas de energía en el mar varían de manera aleatoria; pero que la transmisión de energía del mar a la atmósfera es función de la energía térmica almacenada en el mar. En este caso, con entradas de energía que varían al azar de un año a otro, la reserva de energía o temperatura de la masa líquida presenta fluctuaciones más regulares y de período medio más largo.

Aún pueden imaginarse otras posibilidades de construir fluctuaciones aproximadamente regulares a partir de variables estocásticas, después de "filtradas" a través de la organización propia del sistema que consideramos. De manera que los ciclos de 6 ó 7 años de período no necesitan depender de algún fenómeno cósmico de ritmicidad rigurosa, sino ser simplemente una consecuencia del mecanismo de acoplamiento entre atmósfera e hidrosfera o entre las distintas partes de la hidrosfera. El carácter estadístico de estos ciclos dificulta el que puedan ser utilizados para una predicción rigurosa.

SUMMARY

In station ESP F-8 (UNESCO, 1963) most of phytoplankton production takes place in the colder season. Three events contribute to water fertility: 1) local vertical mixing in November; 2) upwelling in February and March, and 3) eventual inflow of enriched offshore water in April and May.

The most important contribution is by upwelling of water of high salinity and relatively rich in phosphate. The other events simply buffer the strong yearly fluctuations due to the variable intensity of upwelling.

It was believed that intensity of upwelling was related to intensity of appropriate winds, but in later years it was discovered that success in upwelling was also dependent from the depth attained by the upper level of the high salinity water. Actually, salinity of water—and its phosphate content—is subjected to slow changes, suggesting fluctuations of a quasi-regular and many-years period. Peak years were 1951, 1957 and 1963. It must be remembered that similar periodicities of 6 or 7 years have been found in other phenomena taking place in the marine environment, as in tuna catches or in the "El Niño" off the coasts of Perú.

Typical "good" (fig. 8) and "bad" (fig. 7) years have been studied in terms of the departures of several characteristics from average values. Surface temperature in previous June may be useful for prediction (figs. 12, 13). Colder water in the month of June may anticipate a productive winter.

It is supposed that such quasiregular cycles arise as a consequence of random inputs in an organized system that turns the time series to be non Markovian. The coupling atmosphere/hydrosphere and the inertia of water masses have to be considered as basic elements of such a system. Further activity of the network of fixed oceanographic stations can pinpoint more accurately the problems.

BIBLIOGRAFÍA

- GÓMEZ LARRAÑETA, M., y P. SUAU, 1964: Dinámica de la pesquería de sardina de Castellón, datos de 1961 y 1962. *Inv. Pesq.*, 26: 91-130.
- GOODWIN, B. C., 1963: *Temporal organization in cells. A dynamic theory of cellular control processes*. Academic Press. London & New York, 163 pp.
- HERRERA, J., 1961: Décroissance de la salinité et du phosphate dissous dans les eaux du littoral de Castellón depuis 1956. *Rapp. Proc. Verb. C.I.E.S.M.*, 16 (3): 669-672.
- MARGALEF, R., 1957: Variación local e interanual en la secuencia de las poblaciones de fitoplancton de red en las aguas superficiales de la costa mediterránea española. *Inv. Pesq.*, 9: 63-96.

(21) PRODUCCIÓN DE FITOPLANCTON EN EL MEDITERRÁNEO OCC. 747

- 1963: El ecosistema pelágico de un área costera del Mediterráneo occidental. *Mem. real Acad. Cienc. Artes Barcelona*, 35: 1-48.
- 1966: Análisis y valor indicador de las comunidades de fitoplancton mediterráneo: *Inv. Pesq.*, 30: 429-482.
- MARGALEF, R., F. MUÑOZ y J. HERRERA, 1957: Fitoplancton de las costas de Castellón, de enero de 1955 a junio de 1956. *Inv. Pesq.*, 7: 3-31.
- MORAN, P. A. P., 1959: *The theory of storage*. Methuen & Co., London, 111 pp.
- MUÑOZ, F., y J. M. SANFELIU, 1965: Fluctuations interannuelles dans la production de phytoplancton en Méditerranée occidentale. *Rapp. Proc. Verb. C.I.E.S.M.M.*, 18 (2).
- RODRÍGUEZ-RODA, J., 1965: Sobre las fluctuaciones en la producción de atunes de las almadrabas sudatlánticas. *Publ. Técnicas Junta Est. Pesca*, 4: 205-209.
- UNESCO, OIC., 1963: *Fixed oceanographic stations of the World*. 76 pp.
- WIENER, N., 1958: *Nonlinear problems in random theory*. John Wiley & Sons, New York, 131 pp.