CARACTERISTICAS HIDROGRAFICAS GENERALES DEL MEDITERRANEO

DIEGO COMPAN VAZQUEZ

En castellano falta una publicación a nivel general sobre la hidrografía del Mediterráneo, tan necesaria a la hora de explicar numerosos hechos geográficos (1). Los científicos españoles más relacionados con esta ciencia (físicos y biólogos de los laboratorios hidrográficos y de investigación pesquera) se basan sistemáticamente en una bibliografía general muy especializada, en francés e inglés básicamente, que, por descontado, todos conocen en ese mundillo. Sin embargo, sus trabajos, ya a un nivel más localizado en la proximidad del litoral hispano, suelen ser mal comprendidos por otros estudiosos como los geógrafos que no disponen de fácil acceso a dichas publicaciones generales o que incluso las desconocen.

Con las presentes líneas sólo pretendemos ofrecer al geógrafo español unas ideas básicas de la hidrografía mediterránea junto a un repertorio bibliográfico que le puedan servir de orientación en esta rama de la geografía tan escasamente desarrollada en España.

Si es difícil obtener un conocimiento aceptable de los elementos y factores del clima atmosférico, lo es mucho más cuando se trata de conocer las características y la dinámica de las masas de agua en el mar, sobre todo por que aquí los observatorios regulares sólo pueden tomar datos muy parciales y, además, sólo existen en las inmediaciones de algunos grandes puertos. La inmensa mayoría de los conocimientos generales que se poseen del Mediterráneo proceden de los estudios efectuados durante un número insuficiente de campañas que, por otra parte, en su casi totalidad han tenido lugar durante la estación estival. En ellas intervienen uno o varios barcos que en días consecutivos y siguiendo unas líneas de navegación determinadas (generalmente meridianos o paralelos), toman, medidas de salinidades, temperaturas, corrientes, etc. a diferentes niveles de profundidad. Posteriormente, todos estos datos se corrigen y se confrontan para acabar confeccionando mapas y diagramas de situaciones promedio del periodo de las varias semanas o meses que duró la expedición.

A nivel general existe ya un conocimiento relativamente aceptable de las características hidrológicas generales del Mediterráneo, sobre todo desde no hace muchos años en que están teniendo lugar numerosas e importantes campañas científicas, debidas en su mayor parte a franceses y norteamericanos. Sin embargo, a un nivel más local, es decir, el nivel que más puede interesarle a un geógrafo, los estudios son verdaderamente insuficientes si exceptuamos parcialmente algunas áreas como el Adriático, la costa francesa y, más recientemente, la de Israel. En España la zona mejor conocida de nuestro Mediterráneo es la comprendida entre Cataluña y Baleares debido a que los relativamente abundantes laboratorios hidrográficos y de biología marina de esas cosatas cuentan con un activo grupo de científicos; pero de cualquier forma, debido al desinterés general, que se traduce en la escasísima dotación económica concedida a los laboratorios costeros o la misma falta de colaboración de nuestra marina militar, en este país aún nos queda un largo camino por andar.

CARACTERISTICAS HIDROGRAFICAS

El mar Mediterráneo es una "cuenca de acumulación", es decir, un área marina rodeada por extensas masas continentales donde la evaporación es muy superior a los aportes pluviales y fluviales que recibe. Como promedio tendría "Una evaporación de 1.440 mm de agua anual aproximadamente,... unas precipitaciones de 340 mm,... unos aportes fluviales de 129 mm,... y un déficit de 971 mm... Este déficit debería conducir a un descenso del nivel medio del Mediterráneo de casi un metro por año" (2). Así, si el Mediterráneo estuviese incomunicado acabaría secándose en muy poco tiempo, tal como parece que ocurrió a finales del Mioceno y comienzos del Plioceno (3). Por ello el estrecho de Gibraltar se convierte en un accidente hidrológico de primer orden: actúa como un canal de intercambio masivo que permite mantener la estabilidad del nivel del mar y el equilibrio térmico y salino de todas las aguas de la cuenca. El proceso ocurre de la forma siguiente: el agua mediterránea superficial sufre una intensa evaporación que la torna más salina. En el otoño y el invierno se enfría y su densidad aumenta gradualmente; entonces se hunde y queda acumulada

en el fondo hasta una profundidad algo superior a la del umbral del estrecho por el que se desborda y derrama en el Atlántico. Esta corriente está compensada por otra, también de gradiente, superficial y más voluminosa que procedente del Atlántico tiende a rellenar el espacio que ocupaban las aguas hundidas y las desaparecidas por la evaporación (4).

Todos estos hechos individualizan al Mediterráneo desde el punto de vista hidrológico. Es pues un mar interior "de umbral" con balance de agua negativo que, por ser el mejor conocido, se ha convertido en el prototipo de todos los de su clase. Su salinidad se mantiene en unos niveles muy altos; aumenta desde la superficie hasta unos 150-200 m, profundidad en que se estabiliza en torno al 38,4 por mil. Su temperatura puede oscilar fuertemente a lo largo del año en las capas de agua más superficiales, pero por debajo de unos 300 m. de profundidad permanece bastante estable en torno a los 13-14° C, según las cuencas. En la figura 1 podemos ver la distribución vertical de temperaturas y salinidades en verano en un corte efectuado a lo largo del meridiano6° E.

Las principales masas de agua

El Mediterráneo es un mar que durante la mayor parte del año permanece fuertemente estratificado en capas de agua separadas por termóclinas (5) muy marcadas. Desde principios de este siglo, a raíz de los importantes trabajos de la expedición de Nielsen (6), se viene admitiendo la existencia de tres masas de agua fundamentales que aparecen con sus rasgos más puros en casi toda la mitad occidental de la cuenca: el agua superficial, intermedia y profunda.

1.- *La capa de "agua superficial"* se caracteriza por tener una densidad relativamente muy baja y unas temperaturas y salinidades muy variables, tanto de unas partes a otras de la cuenca como a lo largo de las estaciones del año.

Furnestin (7) distingue en esta capa dos masas de agua fundamentalmente. La más importante está integrada por agua de origen fluvial y pluvial, pero, sobre todo, por el agua atlántica que penetra por el estrecho de Gibraltar. La otra la constituyen aguas propiamente mediterráneas que en algunos puntos afloran a la superficie. Las aguas de la primera masa ocupan la inmensa mayor parte de la capa de "agua superficial". Tienen una salinidad muy baja que las hace "Muy ligeras y móviles, pudiendo esparcirse muy lejos de sus fuentes y conservar su relativa pureza a través de un largo recorrido" (8). Las aguas de la segunda masa tienen mayor salinidad y temperatura más baja. Ascienden a la superficie en zonas muy localizadas por razones dinámicas, como ocurre en las proximidades del litoral con vientos de reflujo y, sobre todo, en las partes centrales de los circuitos ciclónicos de corrientes (9) que pueden llegar a ser muy estables e importantes en algunas áreas del Mediterráneo occidental, como la comprendida entre Cartagena y Orán o, sobre todo, entre Barcelona y el norte de Córcega (ver figura 2).

El límite inferior de la capa de "agua superficial" viene marcado por un mínimo de temperatura y por la existencia de una termóclina muy fuerte que alcanza su máximo desarrolo al final del verano (10). Su profundidad varía bastante según zonas y épocas del año. En el Mediterráneo occidental oscila entre unos 200-300 m. en el centro de la parte occidental del mar de Alborán, donde existe un potente circuito ciclónico de origen dinámico (11), y menos de 75 m. en el centro de los circuitos ciclónicos del norte de la cuenca. En el Mediterráneo oriental la capa superficial tiene mucho menor desarrollo; su espesor oscila entre unos 100 m. al este del canal de Sicilia y menos de 40 m. en las proximidades de la costa siria (12).

La masa de agua superficial atlántica que penetra por el estrecho es muy poco densa y, con mucho, la más abundante de cuantas componen esta capa. Por ello es también la que marca la pauta en el mecanismo general de circulación de la casi totalidad de las aguas superficiales. La importante diferencia de nivel entre Gibraltar y el Mediterráneo oriental (ver nota 4) obliga al agua atlántica a dirigirse hacia el este. Esta corriente se ve sometida a las fuerzas de Coriolis y tiende constantemente a desviarse hacia su derecha, dando por resultado un enorme circuito de componente general ciclónica que bordea todas las costas del Mediterráneo. Al mismo tiempo todo el mecanismo circulatorio se ve afectado por otros factores como los vientos o las diferencias de presión atmosférica entre unas zonas y otras de la superficie del mar (13) pero, sobre todo, por la disposición de la superficie del fondo o de la termóclina que separa el "agua superficial" de la mucho más densa agua de la "capa intermedia". Esta superficie crea unas condiciones dinámicas que modifican, más que en detalle, al circuito inicial. Sin entrar a comentar la complicadísima circulación en las zonas costeras, donde la importancia de factores como las irregularidades del fondo y los vientos es tal que rompe por completo el mecanismo general, sólo veremos de pasada lo que ocurre en alta mar. Lacombe y Tchernia han observado que en la mencionada termóclina aparece regularmente el nivel de salinidad de 38 por mil (14) y han confeccionado para el Mediterráneo

occidental un mapa que muestra la profundidad de dicha superficie. Sobre ese mapa hemos dibujado las corrientes principales en superficie (basándonos en el mapa de corrientes que dedujo Allain para los meses de verano (15) y hemos obtenido el que aparece en la figura 2. En éste último podemos apreciar a grandes rasgos la extensión y profundidad de la masa de agua atlántica, así como la dirección y velocidad de las corrientes en ella existentes, y la localización de las áreas de convergencia y divergencia. Una vez que el agua atlántica pasa por el estrecho,, se dirige por el centro del mar de Alborán hacia las costas argelinas, áreas donde la corriente y el espesor de la vena de agua alcanzan sus máximas dimensiones. A la altura de la costa argelina se divide en dos ramas; la más meridional, la más fuerte y definida, se dirige próxima a la costa hacia el Mediterráneo oriental, desprendiéndosele antes otro ramal que penetra en el Tirreno donde forma un amplio circuito ciclónico. La más septentrional remonta hacia el nordeste y acaba uniéndose a la que sale por el SO del Tirreno y tuerce hacia el norte a lo largo de las cosatas occidentales de Cerdeña y Córcega; luego gira ciclónicamente en el golfo de Génova e inicia su marcha hacia el oeste y suroeste no muy lejos de las costas francesas y españolas. Todas estas corrientes marchan a través de caminos sinuosos que pueden variar, a veces muy notablemente, con la estación e incluso de unos años a otros, y dejan entre sí varias áreas de circulación mucho más lenta y componentes ciclónica o anticiclónica en las que tienen lugar fenómenos de divergencia y convergencia respectivamente.

Para completar mejor la idea de la circulación general en superficie, hemos incluido también los diagramas de corrientes que realizó Lacombe (figura 3) a lo largo del meridiano 6° E para el invierno de 1954 (16). En ellos se observa cómo la corriente superficial alcanza su mayor profundidad y velocidad frente a las costas norteafricanas y, en menor grado, frente a las francesas. En el circuito ciclónico existente entre Barcelona y Córcega (41°–42°30' N) los desplazamientos en sentido horizontal son prácticamente insignificantes. También puede verse aquí perfectamente definido el doble sistema de corrientes que se forma entre la costa norteafricana y la corriente principal de agua atlántica.

Toda la masa de agua atlántica va perdiendo sus características iniciales a medida que se adentra en el Mediterráneo. Tanto la temperatura como la salinidad (figuras 4 y 5) aumentan sensiblemente, sobre todo cerca de la costa africana porque a los efectos de las mezclas se unen, aquí muy intensificados, los efectos de la mayor insolación y de la evaporación provocada por un aire tropical cálido y muy seco.

La temperatura del agua superficial aumenta por tanto a medida que descendemos en latitud (factor insolación) y a medida que nos alejamos del Atlántico (factor continentalidad). En verano varía entre unos 24°C en el mar de Alborán y al norte de la cuenca occidental, y más de 26°C al nordeste de Chipre. En invierno varía entre menos de 12°C en el Adriático norte y más de 16°C frente a la costa egipcia. Las oscilaciones térmicas anuales son pués del orden de 11° a 14°C. Estas variaciones son tan elevadas que en muy contadas áreas del planeta se superan dichos valores[17]. Las amplitudes térmicas del agua más superficial en el meridiano 6° E oscilan entre unos 12°C en algunas zonas centromeridionales y unos 8°C en algunas del norte; éstas últimas son anormalmente bajas para el Mediterráneo y se deben a los fenómenos de divergencia y ascenso de aguas profundas allí existentes todo el año. Las oscilaciones térmicas anuales se atenúan radicalmente a medida que aumenta la profundidad; a 100 m de la superficie solo oscilan entre 1°C y 2°C con la excepción de las áreas sometidas a fenómenos de ascesión de aguas profundas, donde ni siquiera se superan los 0,3°C. Naturalmente, las oscilaciones se acrecientan notablemente en las proximidades de los litorales donde la influencia del aire continental puede traducirse en unas temperaturas invernales inferiores a 8 -10°C y unas temperaturas estivales que en algunos puntos pueden superar los 30°C.

Con la salinidad sucede algo parecido a lo que acabamos de ver para la temperatura, es decir, por efecto de las mezclas y de la evaporación, la salinidad del agua atlántica aumenta notablemente a medida que se va adentrando en el Mediterráneo. En la figura 4 podemos ver la distribución de la salinidad superficial de la capa de "agua superficial". El mínimo de salinidad nunca se encuentra en la misma superficie ya que aquí el agua es más salada debido a la evaporación (ésta se mantiene arriba por que su temperatura es más elevada y, por tanto, es menos densa); este mínimo aparece entre unos 5 m de profundidad en el mar de Alborán y partes centrales de los circuitos ciclónicos del norte de la cuenca occidental, y unos 50 m a la altura de las costas libias y egipcias. La mencionada figura muestra básicamente dos hechos: 1°, que las menores salinidades corresponden a las zonas recorridas por la corriente de agua atlántica, oscilando entre algo más de 35,5 por mil junto a Gibraltar y más de 38,95 por mil en el fondo de saco que constituye el golfo de Iskenderum al NE de Chipre. Y 2°, que en las áreas de divergencia situadas en los principales circuitos ciclónicos, la salinidad superficial es anormalmente alta, así, encontramos más del 37,0 por mil en el SE de Cartagena (muy cerca del Atlántico), o más de 38,25 por mil al sur de Génova. También podemos apreciar en la mencionada figura cómo el Ródano puede provocar una salinidad anormalmente baja en el golfo de León.

2. *La capa de "agua intermedia"* se caracteriza por ser muy uniforme y por tener "un máximo de temperatura situado hacia 300-400 m en el sur y centro (del Mediterráneo occidental) y 200-250 m al norte, y por un máximo de salinidad menos caracterizado[18].

Esta masa de agua, ya típicamente mediterránea, se origina en algunas zonas superficiales a partir de agua de la "capa superficial" degradada por efecto de las condiciones meteorológicas. El proceso de formación está muy bien descrito por Lacombe y Tchernia: "Por encima de la capa de mínima salinidad generalizada en verano, se encuentra, sobre todo en ciertas regiones, especialmente mar adentro de la costa provenzal, en el Adriático y también en los bordes de las islas de Rodas y Chipre, salinidades superficiales muy elevadas, sobre todo al final del verano. Estas son regiones donde llegan en invierno vientos continentales de aire frío y seco..., estos vientos fríos, más fríos que el agua... la enfrían y desencadenan una importante evaporación; el aire directamente en contacto con el agua, más cálida, se calienta un poco, pierde densidad después de haberse cargado de humedad..., y se eleva; la evaporación se ve favorecida por la distribución inestable de su densidad en las capas bajas de aire. Resulta un enfriamiento intenso que hace descender la temperatura del agua superficial hasta valores de 11° a 12°C por ejemplo en el Mediterráneo occidental, de 7° a 9°C en el Adriático, de 15° a 16°C en el sureste del mar Egeo.

Si el agua inicial es tan salada que adquiere una densidad más elevada que la del agua subyacente, puede hundirse... El agua se homogeneiza en densidad por efecto de las mezclas en espesores que pueden ser considerables y alcanzar 2.000 m frente a la costa francesa..., 1.000 en el Adriático y de 200 a 300 m en la región Rodas-Chipre... En el Mediterráneo occidental... el agua que se hunde tiene una temperatura potencial de 12,35°C y una salinidad de alrededor de 38,30 por mil"[19].

El agua de la capa intermedia de la cuenca occidental mediterránea tiene pues, dos orígenes fundamentalmente. El más importante se encuentra en las zonas septentrionales de las cuencas del Mediterráneo central y oriental; este agua, con unas características de 14°C, salinidad de más de 38,0 por mil y densidad σ_T ce 29,04, llega al Mediterráneo occidental a través del canal de Sicilia situándose a unos niveles de profundidad intermedios (ver figuras 5 y 6). El otro origen se localiza frente a las costas francesas y de la Riviera. Esta última "agua de invierno" no es uniforme en sus características; una parte de ella no alcanza suficiente densidad (por ejemplo cuando se forma en los inviernos menos fríos) y marcha hacia el sur y el suroeste por encima de la capa de "agua intermedia" de origen oriental, con la que acaba mezclándose, e incluso, ascendiendo nuevamente a la superficie en las zonas de divergencia. Por el contrario, cuando esta "agua de invierno" septentrional alcanza mayor densidad se cuela por debajo del "agua intermedia" de origen oriental y acaba mezclándose con esta última o integrándose directamente en la capa de "agua profunda".

La temperatura y la salinidad del agua de esta capa son muy estables a lo largo del año. Como podemos ver en el cuadro 1, a unos 400 m de profundidad las temperaturas oscilan entre 0,42° C y 0,02°C, según lugares; por su parte, las salinidades varían entre 0,07 y 0,01 por mil. Es interesante resaltar que en ambos casos las diferencias entre el verano y el invierno pueden ser indistintamente positivas o negativas; ello puede deberse a diferencias en las condiciones climáticas que condicionan el origen de esta capa de agua y a variaciones en el proceso de mezclas a que está sometida.

El agua de la "capa intermedia" se mueve muy lentamente en todas direcciones. Como vemos en la figura 3, en el norte de la cuenca occidental, la velocidad de las corrientes de componente horizontal es prácticamente insignificante, pero en el sur, es decir, bajo la corriente principal de agua atlántica superficial, su velocidad puede superar los 5 cm/seg., tanto hacia el este como hacia el oeste. En conjunto, todos los autores que estudiaron esta capa de agua coinciden en que toda la masa tiende a desplazarse hacia el suroeste y que cuando alcanza el mar de Alborán está tan degradada por el efecto de las mezclas, que aquí prácticamente sólo se encuentra agua de la capa profunda debajo de la superficial[20].

3. *La capa de "agua profunda"* no existe como tal para algunos autores como Furnestin que no encuentra ningún criterio claro para diferenciarla: "No es apenas, en la casi totalidad de los casos observados en el recorrido de nuestro barco, más que resultado de mezclas de agua roiental y de agua septentrional con predominio, según el lugar, de uno u otro de los elementos[21]. Si bien es cierto que este origen a partir del agua de la capa intermedia no es cuestionado por nadie, la mayor parte de los investigadores encuentran en el fondo de las cuencas un agua individualizada con características propias: "El conjunto de las aguas que se encuentran entre la capa influida por el "agua intermedia" (300-600 m) y el fondo forma una masa muy homogénea cuyas características, en la cuenca occidental son muy próximas a los valores: T= 12,90°C; S= 38,40 por mil; densidad σ_T de 29,06 a 29,10"[22] (ver figuras 1 y 5). En realidad

se trata de una masa acuática mucho peor conocida que las anteriores que se forma a partir del agua más densa de la capa intermedia en un proceso aún no suficientemente conocido: "Los fenómenos de formación "catastrófica" de agua profunda tienen lugar especialmente durante los inviernos muy fríos; sin embargo parece imposible admitir que no se forme durante todos los inviernos en razón del carácter aparentemente permanente de la salida de agua mediterránea al Atlántico. Pero aún deberán hacerse más estudios para esclarecer los mecanismos que provocan la formación de agua profunda incluso en los inviernos más tibios... Se puede considerar que el agua profunda del Mediterráneo oriental resulta de una mezcla del agua formada en la región Rodas-Chipre y de agua invernal formada en el Adriático; el agua profunda del Mediterráneo occidental resultaría de la mezcla de un agua superficial de invierno, formada mar adentro de las costas de Provenza, con agua intermedia oriental después de pasar el estrecho de Sicilia"[23].

En esta capa se han diferenciado dos subcapas no separadas por termóclina. Una superior, hasta 1.200-1.300 m de profundidad, en la que se suelen observar vestigios de mezclas, que vendría caracterizada por un suavísimo descenso de la temperatura y la salinidad (ver figura 1); y otra inferior, mucho más uniforme, con salinidad prácticamente invariable (en torno al 38,4 por mil) y temperatura que aumenta ligeramente por efecto de la comprensión adiabática (la temperatura potencial oscila entre 12,7 y 12,8°C).

En esta capa, tal como se aprecia en la figura 3, las corrientes son prácticamente imperceptibles. No obstante, en algunos lugares existe una cirulación muy compleja[24] y, en conjunto, toda la masa tiende a desplazarse hacia el mar de Alborán, donde la corriente se intensifica al e[illegible]ionarse por las angostas depresiones existentes en el fondo de este mar[25], y arrastra entre ella y el agua la "capa s[illegible]rficial" una pequeña cantidad de agua de la "capa intermedia". De este modo, "El agua mediterránea que pasa al Atlántico está compuesta en un 95 por ciento por agua profunda y alrededor del 5 por ciento de agua intermedia"[26].

CUADRO 1

VARIACION DE LOS ELEMENTOS HIDROLOGICOS. DIFERENCIAS ENTRE LOS VALORES DE VERANO (SEPTIEMBRE DE 1952) Y DE INVIERNO (MARZO DE 1954) EN EL MERIDIANO 6° E

A-TEMPERATURAS

NORTE	*43° N*		*42°*		*41°*		*40°*		*39°*		*38°*	*27-3 1*		*37° N SUR*
Estaciones→	*38-14*	*37-13*	*36-12*	*35-11*	*34-10*	*33-9*	*32-8*	*31-7*	*30-6*	*29-5*	*28-4*	*27-3*	*26-2*	*25-1*
Profundidad ↓														
0	+ 8,00	+ 9,00	+ 9,00	+ 8,00	+ 12,00	+ 11,00	+ 12,00	+ 11,00	+ 12,00	+ 11,00	+ 11,00	+ 11,00	+ 11,00	+ 10,80
100	+ 0,75	+ 0,35	+ 0,28	+ 0,36	+ 0,69	+ 1,20	+ 0,95	+ 1,50	+ 2,22	+ 0,71	- 0,51	+ 0,03	+ 1,12	+ 1,73
200	+ 0,17	+ 0,48	+ 0,24	+ 0,44	0,0	+ 0,30	+ 0,45	+ 0,59	+ 0,32	+ 0,07	- 0,56	- 0,12	+ 0,31	+ 0,23
300	+ 0,20	+ 0,34	+ 0,27	+ 0,38	+ 0,14	+ 0,23	+ 0,51	+ 0,36	+ 0,36	+ 0,21	+ 0,37	+ 0,20	+ 0,07	+ 0,09
400		+ 0,32	+ 0,25	+ 0,27	+ 0,19	+ 0,18	+ 0,42	+ 0,40	+ 0,06	+ 0,31	- 0,02	+ 0,19	- 0,16	+ 0,15
500		+ 0,28	+ 0,20	+ 0,17	+ 0,16	+ 0,19	+ 0,44	+ 0,18	- 0,03	+ 0,25	- 0,01	- 0,16	- 0,13	
600		+ 0,22	+ 0,17	+ 0,11	+ 0,16	+ 0,10	+ 0,41	+ 0,03	+ 0,07	+ 0,16	+ 0,05	+ 0,10	- 0,03	
700		+ 0,19	+ 0,09	+ 0,14	+ 0,13	+ 0,07	+ 0,07	- 0,04	+ 0,02	+ 0,04	- 0,08	- 0,09	+ 0,41	
800		+ 0,18	+ 0,14	+ 0,13	+ 0,03	+ 0,06	+ 0,07	+ 0,0	+ 0,08	+ 0,07	- 1,05	- 0,06	+ 0,0	
1000		+ 0,13	+ 0,11	+ 0,03	+ 0,05	+ 0,04	+ 0,01	+ 0,0	+ 0,03	+ 0,0	- 0,02	- 0,02	- 0,01	
1500			+ 0,08	+ 0,10	+ 0,04	+ 0,08	+ 0,02	+ 0,01	+ 0,05	+ 0,0	+ 0,01	- 0,02	- 0,08	
2000				+ 0,07	0,0	+ 0,03	-	0,02	+ 0,03	- 0,03				

B-SALINIDADES

0	+ 0,24	- 0,13	- 0,34	- 0,34	- 0,60	- 0,56	- 0,97	- 0,58	- 0,06	+ 0,62	+ 0,88	+ 0,22	- 0,23	- 0,10
100	+ 0,20	0,0	- 0,08	- 0,19	- 0,20	- 0,26	- 0,51	- 0,58	+ 0,12	+ 0,29	+ 1,04	+ 0,17	- 0,03	- 0,63
200	+ 0,19	+ 0,10	0,0	- - 0,02	- 0,09	- 0,21	- 0,15	- 0,21	+ 0,01	+ 0,19	- 0,89	+ 0,37	+ 0,33	- 0,07
300	+ 0,06	+ 0,06	+ 0,03	- 0,03	- 0,02	- 0,02	+ 0,08	- 0,08	+ 0,02	+ 0,06	+ 0,25	+ 0,32	- 0,04	+ 0,02
400		+ 0,03	+ 0,03	- 0,04	- 0,07	- 0,06	+ 0,05	+ 0,01	- 0,01	+ 0,07	+ 0,01		0,0	+ 0,02
500		+ 0,06	- 0,03	- 0,01	- 0,08	- 0,05	+ 0,09	- 0,03	- 0,01	+ 0,06	0,0	0,0	+ 0,01	
600		+ 0,02	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,07	+ 0,08	- 0,05	+ 0,03	+ 0,04	- 0,01	+ 0,09	+ 0,04	
700		+ 0,02	0,0	- 0,05	- 0,04	- 0,03	+ 0,06	+ 0,01	0,0	+ 0,02	- 0,06	- 0,01	+ 0,07	
800		+ 0,02	- 0,02	- 0,02	0,0	- 0,03	+ 0,05	+ 0,03	+ 0,06	+ 0,03	- 0,05	- 0,02	+ 0,09	
1000		- 0,01	- 0,02	- 0,01	- 0,01	- 0,02	0,0	- 0,03	+ 0,04	+ 0,04	- 0,03	+ 0,02	+ 0,05	
1500			- 0,02	- 0,02	- 0,05	- 0,02	- 0,03	- 0,01	- 0,01	+ 0,04	- 0,04	+ 0,04	0,0	
2000				- 0,05	- 0,05	- 0,04		0,0	- 0,0	- 0,05				

Fuente: Lacombe : "Contribution à l'étude...".

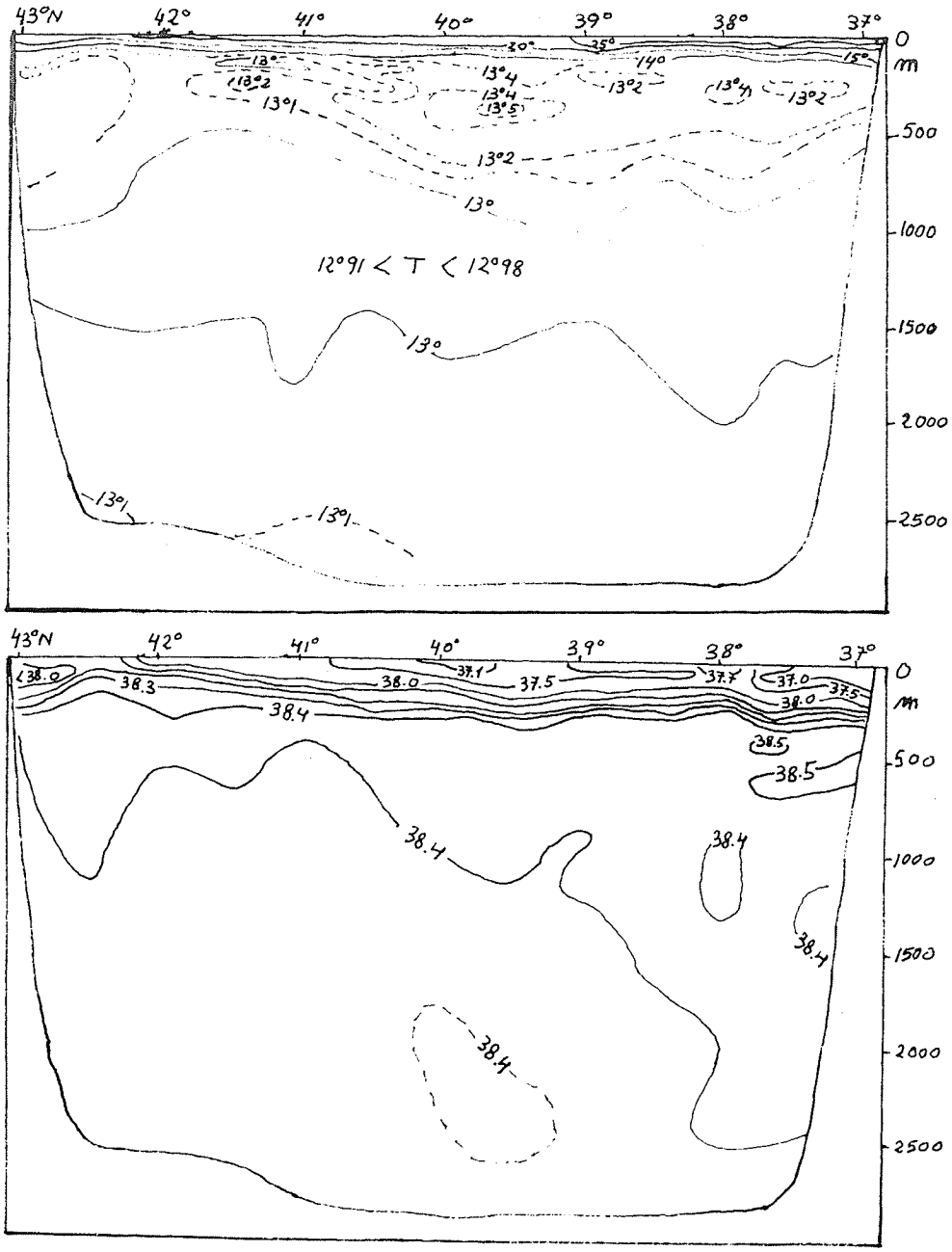

Fig. 1. Corte de temperaturas (arriba) y salinidades (abajo) a lo largo del meridiano 6° E. en Septiembre de 1952. Fuente: Tchernia (campaña del "Elie Monnier"). Cit. por Cguilcher: "Cours d'océanographie...".

Fig. 2. Relieve de la superficie de salinidad de 38 por mil (en metros de profundidad). Esta superficie aparece generalmente en la termoclina que separa el agua superficial atlántica del agua intermedia mediterránea.

Fuente: Lacombe y Tchernia "Quelques traits...".

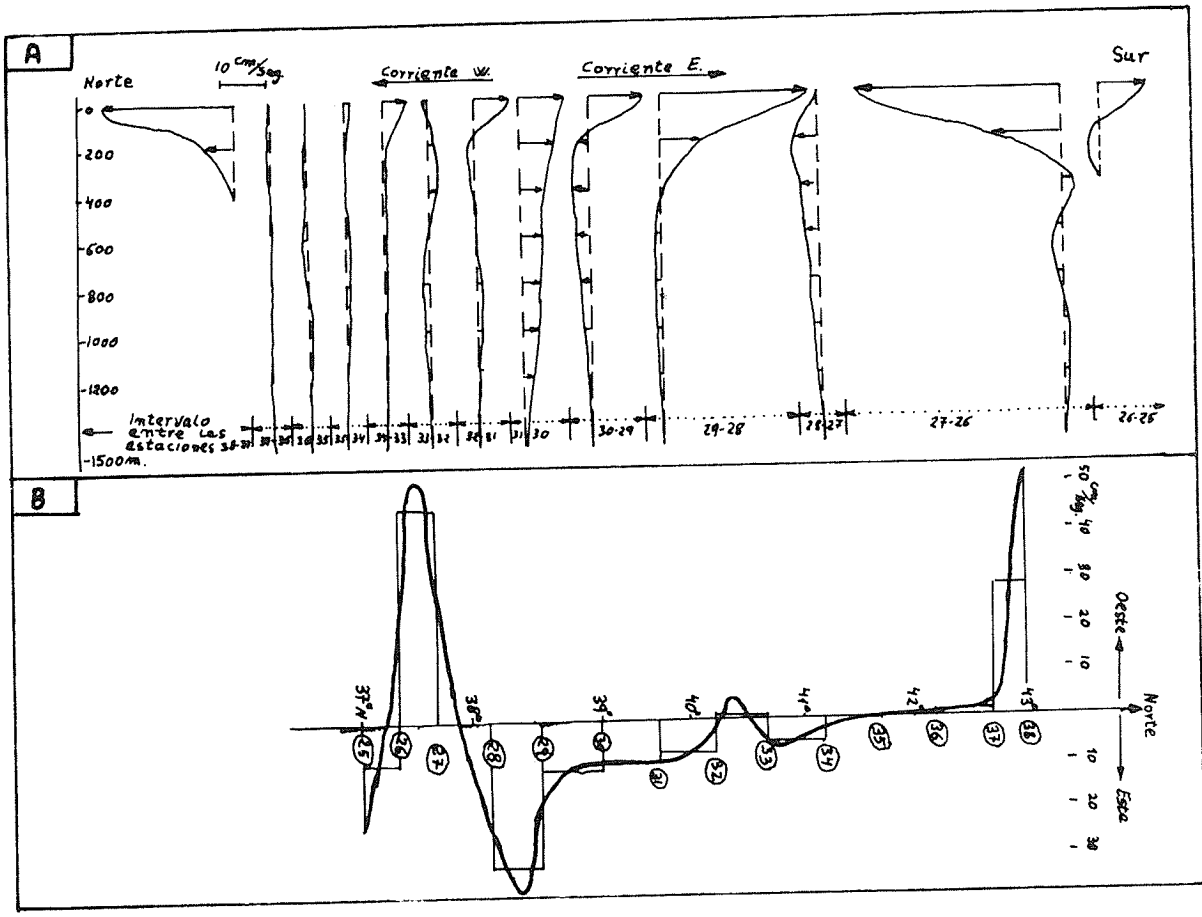

Fig. 3. Distribución probable de las corrientes (velocidades medias en cm/seg. y componente E-O a lo largo del meridiano 6° E, siguiendo una curva de valores medios deducidos del relieve dinámico). Situación durante el invierno de 1954.

A) Reparto vertical de las velocidades medias entre parejas de estaciones hidrológicas. (Referencia: 1.500 db)
B) Corrientes de superficie. (Referencia: 1.500 db)

Fuente: Lacombe: "Contribution à l'étude..."

Fig. 4. Mínimo de salinidad subsuperficial del Mediterráneo en verano. A 0 metros de profundidad la salinidad de la capa de agua es bastante más elevada debido a la evaporación.

Fuente: Lacombe y Tchernia: "Quelques Traits..."

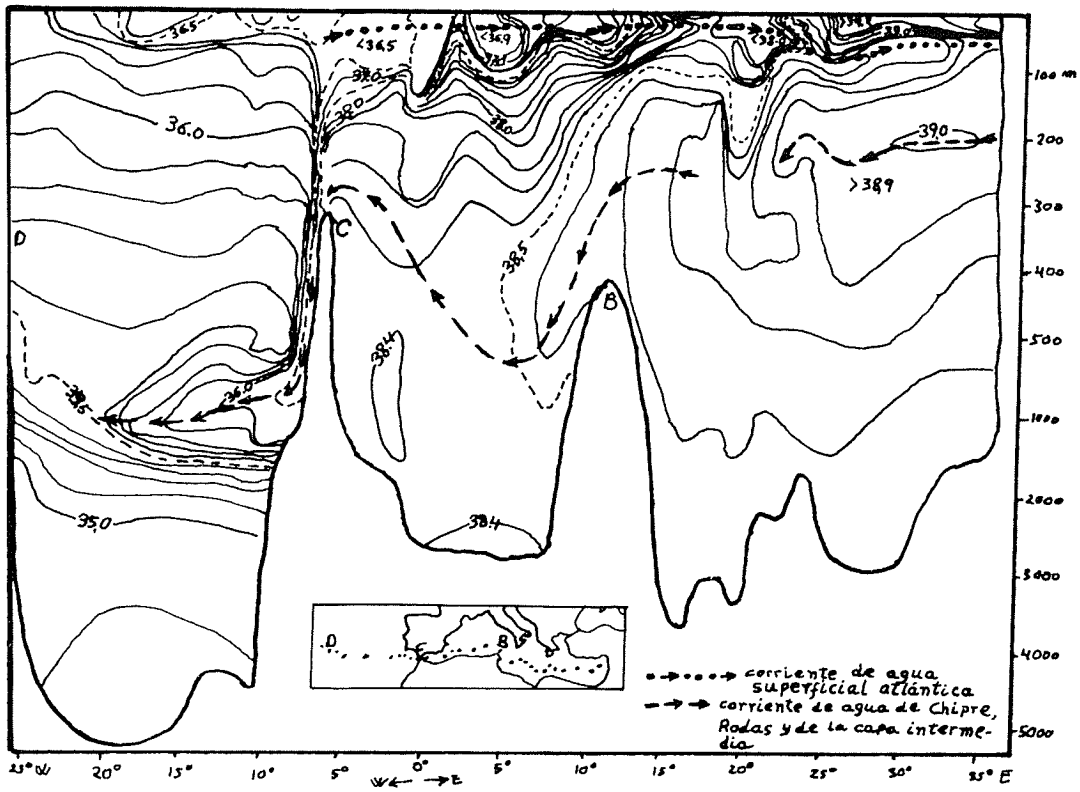

Fig. 5. Corte de salinidad en el Mediterráneo e inmediaciones del Atlántico a lo largo de un eje aproximadamente E-O. Fuente: Lacombe y Tchernia: "Quelques Traits...".

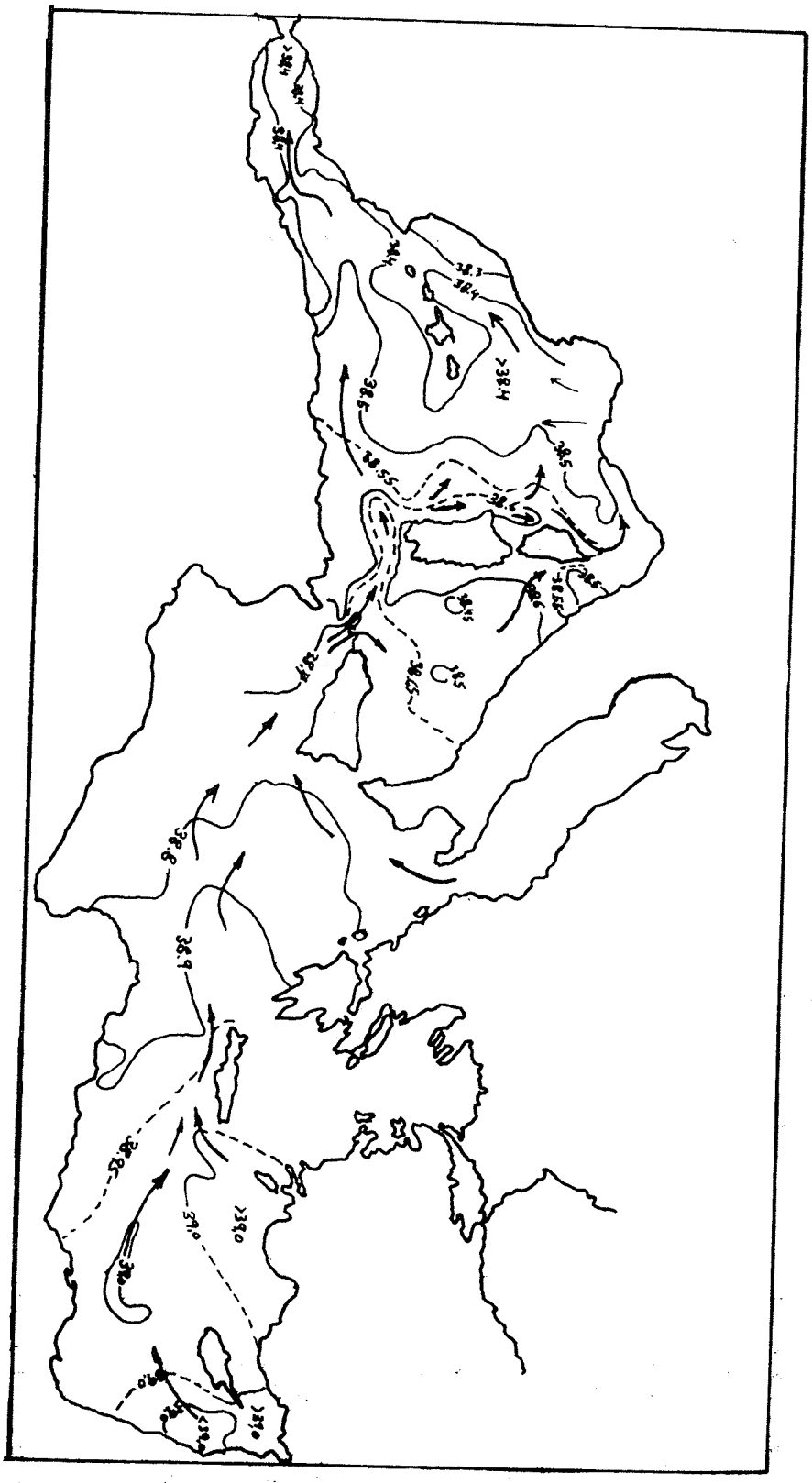

Fig. 6. Máximo de salinidad de la capa de "agua intermedia" en el Mediterráneo. La salinidad máxima se sitúa entre 100 y 500 m, según las zonas.

Fuente: Lacombe y Tchernia: "Quelques Traits...".

NOTAS

1. Aunque las condiciones hidrográficas del mar son mucho más estables que las condiciones climáticas de la atmósfera, los cambios periódicos e intemporales que se producen en aquél pueden ser de gran envergadura o, aún siendo poco considerables, pueden acontecer en lugares o épocas críticos del año, de forma que pueden provocar importantes anomalías en la marcha normal de hechos tan variados como el mecanismo de sedimentación en el fondo del mar, la evolución biológica (y explotación económica) de los ecosistemas marinos, o las mismas condiciones de vida de las densamente pobladas comarcas ribereñas, expuestas a catastróficas inundaciones.

2. Paul Tchernia, "Hydrologie d'hiver..", pp. 185.

3. Y.R. "a la recherche d'un Océan disparu depuis 136 millions d'années" en *Le Monde des Sciences et des Techniques*, 30 avril, 1975, pp. 19. HSU, K.J. "When the Mediterranean Dried Up" in Scientific American: "Planet Earth, Freeman and Co., San Francisco, 1974, pp 197-206.

4. La corriente superficial entrante desde el Atlántico tiene una salinidad de alrededor del 36,25 por mil y una densidad σ_T del orden de 27,0. La corriente profunda hacia el Atlántico tiene una salinidad superior al 38,4 por mil y una densidad σ_T de 29,10 (P. Tchernia (1961), pp. 301).
La corriente superficial del estrecho es muy voluminosa y se mueve a gran velocidad debido a que la diferencia de nivel en ambas partes del estrecho es nada menos que del orden de 10 a 15 cm; luego, a medida que se adentra hacia el este, aminora la velocidad pues la diferencia de nivel entre el oeste del mar de Alborán y el Mediterráneo oriental es solo de unos 20 cm (Lacombe, H. y Tchernia, P. (1972), pp. 32.).

5. Una termóclina es una zona de discontinuidad entre dos masas de agua caracterizada por la existencia de un cambio brusco de la temperatura y salinidad del agua en muy poca distancia.

6. Nielsen, J.N. (1912).

7. Furnestin, J. (1960), pp. 93.

8. Furnestin, J. (1960), pp. 93.

9. Vientos de reflujo son los que provocan el alejamiento del agua superficial costera hacia alta mar, lugar que es ocupado por agua profunda ascendente; teniendo en cuenta que, por el efecto de Coriolis, el viento arrastra al agua superficial desviándola unos 45° hacia la derecha de la dirección del mismo, vientos de reflujo serían los que dejan la costa a su izquierda.

La convergencia existente en los circuitos de corrientes de componente anticiclónica hace que el agua superficial tienda a concentrarse en el centro del remolino y se hunda por motivos dinámicos, siguiendo una trayectoria espiral a veces hasta más de 250 m de profundidad. En los circuitos de corrientes de componente ciclónica ocurre al contrario, es decir, el agua profunda asciende a la superficie siguiendo una trayectoria espiral.

10. Al final del verano, cuando el agua más superficial alcanza sus temperaturas más elevadas, aparecen varias termóclinas secundarias en la capa de "agua superficial" y entre ésta y la capa de "agua intermedia" se consolida fuertemente la termóclina de separación. Por el contrario, en otoño y en invierno se enfría notablemente el agua más superficial y, debido a los fenómenos de hundimiento de estas aguas y a las notables y generalizadas turbulencias, la escala vertical de temperatura aparece muy uniformizada (oscilando entre 14 y 16°C) de forma que la mencionada termóclina principal se debilita sustancialmente.

11. Furnestin, J. (1960), Allain, C. (1960), Donguy, J.R. (1961), Lacombe, H, Tchernia, P., Richez, C. et Gamberoni, L. (1960), Lanoix, F. (1962), y Cano, N. y Fernández, C.F. (1972).

12. Lacombe, H. et Tchernia, P. (1972), pp. 33.

13.Los vientos pueden cambiar totalmente la dirección de la corriente en unos cuantos metros próximos a la superficie, no obstante, si la corriente principal está bien definida, continúa su marcha normal por debajo de la delgada subcapa superficial más agitada. Por su parte, las diferencias de presión atmosférica pueden provocar elevaciones o descensos en la superficie marina de varios milímetros o centímetros, desencadenando corrientes de gradiente que pueden ser ocasionalmente muy importantes.

14. "En una vertical, el contraste de salinidades es particularmente fuerte hacia abajo. En el Mediterráneo se nota un aumento muy rápido de la salinidad a una profundidad variable, de 150 a 200 m como máximo, encontrándose muy generalmente al nivel de este fuerte gradiente el valor de 38 por mil. Así, puede decirse que la profundidad en que la salinidad alcanza el valor de 38 por mil es aquella por encima de la cual el agua atlántica tiene un efecto particularmente intenso" (Lacombe, H. y Tchernia, P. "Quelques...", pp. 533.

15. Allain, C. (1960).

16. Lacombe, R. (1956).

17. A escala mundial, las amplitudes térmicas anuales de las aguas marinas superficiales que superan los 12° C solo ocurren en escasos mares muy continentalizados como el golfo Pérsico o las costas nor orientales de Asia y América, donde el cambio estacional del régimen de vientos se acompaña de desplazamientos N-S de las corrientes cálidas y frías. (ver F. Lobo: "Los océanos", Salvat, Grandes Temas, pp. 32).

18. Guilcher: "Cours d'océanographie...", pp. 187.

19. Lacombe, H. et Tchernia, P. "Quelques..." pp. 534-535.

20. Lacombe, H. (1968), pp. 94.

21. Furnestin, J. (1960), pp. 93.

22. Tchernia, P. (1960), pp. 188.

23. Lacombe, H. (1968), pp. 94.

24. "Durante la búsqueda de la bomba perdida aguas afuera de Palomares, la tripulación del submarino encontró una significativa corriente cerca del fondo que estimaron ser de alrededor de 1/2 nudos (26 cm/seg.) con dirección hacia abajo del talud (E. Hays, comunicación personal). Esta búsqueda se llevó a cabo en el Mar de Alborán donde los investigadores españoles han encontrado un semipermanente remolino a larga escala al este de Gibraltar. Parece cierto que la corriente del fonso en esta área es compleja y está ligada a la circulación general de la zona" A.R. Miller (1972), pp. 39.

25. Lanoix, F. (1974), pp. 11.

26. Lanoix, F. (1974), pp. 30.

BIBLIOGRAFIA

Allain, C. (1960) "Topographie dynamique et courants généraux dans le bassin occidentale de la Méditerranée" *Revue des travaux de l'Institut des Pêches Maritimes,* t XXIV (1), 121-152.

Allain, C.; Furnestin, M.L. et Maurin, C. "Essai de Synthèse sur l'océanographie physique et biologique dans la zone d'influence du courant atlantique en Méditerranée du sud et du levant" Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la mer Méditerranée, Monaco, 1966, 38 pp.

Ballester, A.; Arias, E.; Cruzado, A.; Blasco, D. y Camps, J.M. (1967) "Estudio hidrográfico de la costa catalana, de junio de 1965 a mayo de 1967" *Investigación Pesquera,* 31 (3), 621-662.

Bernard, F. (1951 y 1956) "Eaux atlantiques el méditerranéennes au large de l'Argerie" *Ann. de l'Institut Océanogr.,* I, 27, 1-48; II, 31, 231-334.

Bougis, P.; Giant, M. y Ruivo, M. (1957) "Contribution à l'hydrologie de la mer Catalane" *Vie et Milieu,* 2, 123-164.

Cano Lucaya, N. y Fernández Castillejo, F. (1972) "Contribución al conocimiento del mar de Alborán. III, variaciones del remolino anticiclónico" *Boletín del Instituto Español de Oceanografía,* 157, 16 p.

CNRS (1962) "Oceanographie géologique et géographique de la Méditerranée occidentale", Colloque de Villefranche, 1961. Paris, 251 p.

Deacon, G.; Sverdrup, H.U.; Stommel, H. and Thornethwaite, C.W. (1955) "Discussion on the relations between meteorology and oceanography" *J. Mar.Res.,* 14, 449-515.

Donguy, J.R. (1962) "Hydrologie en mer d'Alboran" *Cahiers Océanographiques,* 14, 573-580.

FAO Working Paper nums. 25/1 y 56/8, *C.G.P.M.* vol 2585-6 (contiene mapas de vientos, temperaturas, corrientes, salinidades y plancton del Mediterráneo).

Floch, J. et Romanovsky, V. (1953) 'Circulation superficielle des eaux dans la partie orientale du bassin occidental de la Méditerranée" *Cahiers du Centre de Reserches et d'Etudes Océanographiques,* 6.

Fraga, F. y Establier, R. (1974) "Hidrología de la zona del estrecho de Gibraltar" *Investigación Pesquera,* 3, 53-66.

Furnestin, J. (1960) "Hydrologie de la Méditerranée occidentale" *Rev. Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes,* 24 (1), 5-121.

Firnestin, J. y Allain, C. (1962-a) "L'hydrologie algérienne en hiver, fevrier 1960" *Rev. Trav. Inst. Pêch. Marit.,* 26 (3), 277-308.

Id. (1962-b) "Nouvelles observations sur l'hydrologie de la Méditerranée occidentale (entre l'Alger et le 40° parallèle)" *Rev. Trav. Inst. Pêch. Marit.,* 26 (3), 309-318.

Gaibar-Puertas, C. (1966) "Investigación sistemática de las corrientes superficiales en el litoral mediterráneo español" *Rev. Cienc. Apl.,* 20 (5), 405-427.

Gilmour, A.E. (1972) "Temperature stratification in the western Mediterranean sea", *Deep-Sea Research,* 19, 341-353.

Gostan, J. (1968) "Contribution à l'étude hydrologique du bassin liguro-provençal entre la Riviera et la Corse" Thèse d'Etat, Fac. Sci., Univ. de Paris, 206 pg. manusc.

Guilcher (1957) "Cours d'Océanographie" 3è. ed. refondue, Paris, CDU.

Houston, J.M. (1964) "The Western Mediterranean World", Longmans, London.

Joel Katz, E. (1972) "The Levantine Intermediate Water between the Strait of Sicily and the Strait of Gibraltar" *Deep-Sea Research,* 19, 507-520.

King, C.A.M. (1975) "Introduction to Physical and Biological Oceanography", Arnold, London, 372 pg.

Lacombe, H. (1956) "Contribution à l'étude hydrologique de la Méditerranée occidentale, Aperçu dynamique" *Bull.Inf. Com. Centr. Océan. Etud. Côtes,* 8(9), 455-463.

Id. (1960) "Note sur le régime du detroit de Gibraltar" *La Houille Blanche* 15ème année. Mémoires et Travaux de la Societé Hydrotechnique de France, decembre 1960, 806-816.

Id. (1968) "Mécanismes hydrologiques en Méditerranée" *CIESMM*, Journées d'Etudes Planctonologiques, Mónaco, 19-20 sept., pp. 93-94.

Lacombe, H. et Tchernia, P. (1972) "Caractères Hydrologiques et Circulation des Eaux en Méditerranée", in Stanley: "The Mediterranean Sea", pp 25-36.

Id. (1965) "Oceanographie Physique méditerranéenne (résumé)" *Com. Int. Expl. Sci. Méd., Rapports et Procés Vervaux*, 18 (3), 791.

Lacombe, H.; Tchernia, P.; Richez, C. et Gamberoni, L. "Deuxième contribution à l'étude de règime du detroit de Gibraltar" *Cahiers Océanogr.*, 16, 283-314.

Lanoix, F. (1974) "Project Alborán. Etude Hydrologique et Dynamique de la mer d'Alboran" Rapport Technique, OTAN, núm. 66, 39 pp.

Longuet-Higgins, M.S. (1965) "Some Dynamical Aspects of Ocean Currents" *Quant. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 91, 425-451.

Margalef, R. y Herrera, J. (1964) "Hidrografía y fitoplancton de la costa comprendida entre Castellón y la desembocadura del Ebro de julio de 1961 a julio de 1962" *Inv. Pesq.* 26, 49-90.

MEDOC Group (1970) "Observations of formation of deep water in the Mediterranean sea" *Nature*, 227, 1037-1040.

Miller, A.R. (1972) "Speculation Concerning Botton Circulation in the Medietrranean sea" in Stanley "The Mediterranean Sea", pp. 37-42.

Miller, A.R.; Tchernia, P. and Charnock, H. (1970) "Mediterranean Sea Atlas" *Atlas Series, woods Hole Oceanographic Institution*, 3, 190 p.

Morel, A. (1971) "Caractères hydrologiques des eaux échangées entre le bassin oriental et le bassin occidental de la Méditerranée", *Cahiers Océan.*, 123 (4), 329-342.

Neumann, G. and Pierson, W.J. (1966) "Principles of Physical Oceanography", Prentice-Hall, Englewood Cliffs., N.J. 545 pg.

Nielsen, M.J.N. (1912) "Hydrography of the Mediterranean and adjacent waters" *Report on Danish Oceanographical Expedition, 1908-1910;* Copenhague.

Rouch, J. (1946) "La Méditerranée, Flammarion edit.

Ryan, W.F., Olausson, N.E. and Fairbridge, R.W. "Mediterranean Sea" in Fairbridge, R.W. "The Encyclopedia of Oceanography", vol. I, pp 490-499, Reinhold, N. York, 1966.

Stanley, D.J. (1972) "The Mediterranean Sea: A Natural Sedimentation Laboratory" Hutchinson and Ross, Inc., Stroudsburg, Pensilvania, 765 pp.

Suau, P. y Vives, F. (1958) "Estudio de las corrientes superficiales del Mediterráneo occidental" *Comm. Int. Expl. Sci. Mer. Médit., Rapp. Proc. Verb. des Reunions*, 14, 53-65.

Tchernia, P. (1954) "contribution à l'étude de la Méditerranée occidentale. Premier rapport prèliminaire" *Bull. d'Information du Comité Central d'Océanographie et d'Etude des Côtes*, 6(1), 7-30.

Id. (1956) "Contribution à l'étude hydrologique de la Méditerranée occidentale. Deuxième rapport prelimianire", *Bull. Inf. COEC*, 8(9), 425-454.

Id. (1959) "Nouvelles observations hydrologiques d'hiver en Méditerranée occidentale". *Cahiers Océanographiques du COEC*, 11(7), 499-542.

Id. (1960) "Hydrologie d'hiver en Méditerranée occidentale" *Cahiers Océan. du COEC*, 12(3), 184-198.

Id. (1961) "Compte rendu succinct d'une campagne d'observations hydrologiques executée en Méditerranée occidentale a bord du R/V "Atlantis" en fevrier-mars 1961", *Cahiers Océanogr. du COEC*, 13, 301-306.

Tchernia, P. et Lacombe, H. (1959) "Cycle hydrologique de la Mer Méditerranée" *Reprints of the intern. Oceanogr. Congress*, N. York, sept. 1959, 521-522.

Id. (1954) "Contribution à l'étude hydrologique de la Méditerranée occidentale" *Bull. du COEC*, 6,7-35.

Thorpe, S.A. (1976) "Variability of the mediterranean undercurrent in the gulf of Cadix" *Deep-Sea Research*, 1976, núms. 23, 711-727.

Vives, F. (1955) "Estudio de las corrientes superficiales del Mediterráneo occidental", *II Reunión Prod. y Pesq., pp. 18.*

Wüst, G. (1961) "On the vertical Circulation of the Mediterranean Sea" Journal of Geophysical Research, 66 (10), 3261-3271.