Estudio de la circulación superficial del Mediterráneo occidental: Modelos y comportamiento de los flotadores utilizados

POR CONSTANTINO GAIBAR

INTRODUCCIÓN

En una nota precedente (3) hemos puntualizado el interés que, tanto desde el punto de vista económico y humanitario como desde el punto de vista de la Geología (pura y aplicada), encierra el estudio de la circulación oceánica superficial. También expusimos nuestro propósito de publicar una serie de notas en las que nos proponemos dar cuenta de los resultados suministrados por los numerosos lanzamientos de flotadores que hemos venido efectuando desde hace más de un lustro.

Golfo de Cádiz. Por sí solo, este resultado revela la necesidad de efectuar lanzamientos muchísimo más numerosos y frecuentes (4) para estudiar las corrientes de las grandes cuencas oceánicas (cual el Atlántico) y en los sectores caracterizados por la gran turbulencia de sus aguas, cual sucede con los estrechos-nexo entre cuencas de características dispares.

Vamos a intentar colegir alguna conclusión de las referencias evidenciadas por los tres flotadores recuperados en las fechas y puntos que, amén de las fechas, horas y puntos en que fueron lanzados, figuran en la tabla siguiente:

FLOTADOR N.°	LANZAMIENTOS					RECUPERACIONES		
	Fechas	h.	m.	φ_N	λ	Fechas	φ_N	λ
203	30-VII-1955	07	50	35°50'0	—5°55'02	15-IX-1955	35°47'	—5°48'
226	17-IX-1955	18	57	36°08'5	—6°05'9	18-VIII-56	33°16'	—8°25'
2.303	13-II-1956	14	54	36°03'5	—5°58'1	17-II-1956	36°07'	

LANZAMIENTOS PRECEDENTES A 1957

Con anterioridad a 1957, el Instituto Español de Oceanografía había efectuado esporádicos lanzamientos de flotadores consistentes en simples botellas de vidrio, lastradas con arena, que contenían un tarjetón-cuestionario. En efecto durante 1955 y 1956 habían sido lanzadas 40 de aquellas botellas lastradas en otros tantos puntos situados frente a las costas meridional y occidental de la Península Ibérica.

De dichos lanzamientos únicamente fueron obtenidas tres (= 7,5 %) recuperaciones (botellas números 203, 226 y 2.303) siendo significativo que —amén de otros 7— estos tres flotadores habían sido lanzados en el Golfo de Cádiz. Es decir, que no se obtuvo recuperación alguna de las 12 botellas lanzadas frente a la costa gallega, ni de las 5 botellas lanzadas frente al litoral portugués, ni de las 13 botellas lanzadas en el Estrecho de Gibraltar, mientras que fueron recuperadas 3 (= 30 %) de las 10 botellas lanzadas en el

El flotador núm. 203 —lanzado en el borde meridional de España) pero, lejos de atravesar totalmen-hacia el E recorriendo, como mínimo, 10 millas en un período máximo de 47 días (lo que implica una velocidad media mínima de 0,21 millas-día), confirmando la existencia de una corriente atlántica que penetra en el Mediterráneo a lo largo del litoral nordafricano.

El flotador núm. 2.303 —lanzado hacia latitudes centrales de la boca occidental del Estrecho— también derivo hacia el E recorriendo, como mínimo, 35 millas en un período máximo de 4 días (lo que implica una velocidad mínima de 8,75 millas-día), confirmando la existencia de otra corriente atlántica que penetra en el Mediterráneo a lo largo del litoral meridional de la Península Ibérica. Consiguientemente, este flotador (hallado en Algeciras) atravesó completamente el Estrecho de Gibraltar desde el W hacia el E cosa que, según SCHMIDT (7) solamente habían efectuado 2 flotadores hasta 1913.

Finalmente, el flotador núm. 226 —lanzado en el

borde septentrional de la boca occidental del Estrecho— también debió derivar hacia el E (transportado por la corriente atlántica que lame el litoral meridional de España) pero, lejos de atravesar totalmente el Estrecho, retornó hacia el Atlántico para dirigirse hacia el SSW y ser hallado, a los 335 días de su lanzamiento, en Mazagán (Marruecos) luego de haber recorrido no menos de 251 millas a una velocidad media mínima de 0,75 millas-día. Esta curiosa deriva queda perfectamente explicada de acuerdo con el esquema dinámico del Estrecho propuesto en 1926 por el naturalista español R. DE BUEN (1) que, por cierto, fue objeto de reparos por parte de G. SCHOLT (8); reparos que, muy recientemente, han sido subrayados con notorio énfasis por dos físicos-oceanógrafos españoles (5). Pero, dos años después (abril de 1964) ha sido publicado el importante trabajo de LACOMBE, TCHERNIA, RICHEZ y GAMBERONI (6) quienes, utilizando las más recientes, precisas, numerosas y prolongadas observaciones, efectuadas en el Estrecho durante el II Año Geofísico Internacional, terminan proponiendo un esquema dinámico para la circulación del Estrecho que, en sus principales rasgos, confirma plenamente las ideas expuestas, en 1926, por nuestro compatriota y colega RAFAEL DE BUEN. Estos esquemas dinámicos sugieren que la compensación horizontal implica el retorno, hacia el Atlántico, de una buena parte de las aguas integrantes de las corrientes superficiales que inician la penetración hacia el Mediterráneo; la corriente atlántica llegaría hasta el umbral del S de Tarifa donde las líneas de flujo experimentarían sendas inflexiones determinantes del retorno hacia el Atlántico en forma de ramales, uno de los cuales resultaría sensiblemente paralelo a la costa nordoccidental nordafricana según nos ha evidenciado el flotador núm. 226.

Ciertamente que podrían ser inqueridas las razones por las cuales no quedó, asimismo, merced a esta corriente de retorno el flotador n.º 2303 que, cual hemos anotado, fue lanzado al S del n.º 226; es decir, hacia latitudes centrales de la boca W del Estrecho y, consecuentemente, en un área más propicia al influjo de la corriente de retorno hacia el Atlántico. Pero, a este respecto, debemos recordar que, cual refleja la Tabla I, los tres flotadores recuperados corresponden a lanzamientos efectuados en épocas del año muy dispares (al verano el n.º 203, al otoño el n.º 226 y al invierno el n.º 2303), para las que lógicamente, deben preverse sendas discrepancias en el régimen hidrodinámico del Estrecho y ello sin olvidar los importantes influjos dimanados del estado de la marea en el momento de operar los lanzamientos, así como de la distribución y valores absolutos mostrados por la presión atmosférica en el ámbito de la cuenca mediterránea.

COMPORTAMIENTO DEL MODELO DE FLOTADOR ADOPTADO EN 1958

Con fecha 5 de junio de 1957, el Almirante-Director general del Instituto Español de Oceanografía, don Arturo Génova Torruella (q. e. d.), tuvo la gentileza de remitirme una orden comunicada encargándome, personalmente, de la investigación sistemática de las corrientes oceánicas superficiales del litoral español mediante la utilización de flotadores.

Inmediatamente procedí a documentarme sobre los resultados obtenidos en las investigaciones similares efectuadas en los más diversos países, con el fin de analizar el comportamiento y el rendimiento de cada uno de los distintos tipos de flotadores concebidos y utilizados al respecto. En una publicación precedente (2) hemos efectuado una exposición y análisis bastante extensos de aquella documentación bibliográfica que nos permitió colegir la conveniencia de utilizar, por diversas e importantísimas razones, los flotadores consistentes en simples cartulinas acompañadas por láminas de corcho y protegidas por una doble envoltura de materia plástica (polietileno, porrotheno, cloruro de vinilo, etc.); es decir, el eficiente modelo denominado *Post Card* o *Drift-card* por los ingleses y *Carte-derivant, Flotteur-témoin de courant, Pochette simple* o *Flotteur derivant* por los franceses.

Consecuentemente, este fue el modelo de flotador adoptado por el Instituto Español de Oceanografía que, inmediatamente, encomendó la fabricación de un primer lote integrado por 20.000 tarjetas flotantes protegidas por una doble envoltura plástica. Las características de nuestros flotadores son las siguientes: *dimensiones* = 180,5 × 102,5 m/m, peso = 10,19 gramos, *volumen* = 42,75 c.c., *densidad* = 0,238, *coeficiente de flotabilidad* = 4,3 y *precio* = 2,55 pesetas la unidad; conviene puntualizar que este último es el costo de cada flotador no recuperado, pues en los recuperados debe adicionarse: 2 pesetas en concepto de franquicia postal doble, 15 pesetas que se ofrecen a quienes los devuelven (a título de prima estimulante) y el importe del giro de esta cantidad o del envío del obsequio de precio equivalente; resumiendo, cada flotador recuperado cuesta unas 22 pesetas.

Desde el mes de agosto de 1958 hasta el mes de junio de 1963 hemos efectuado 12 campañas (frente a las costas oriental y meridional de España), durante las que fueron lanzados 242 lotes integrados por 25 o 50 flotadores, lo que implicó el lanzamiento de un total de 11.171 flotadores, de los que, hasta el momento actual, han sido recuperados 2.000, que implican un rendimiento o porcentaje de recuperación (17,9 %) sumamente satisfactorio.

En el momento de ser hallados, la estanqueidad era: *total* en el 79,6 %, *deficiente* en el 15,7 % y *escasa* en el 4,7 % de los 2.000 flotadores recuperados. Considerando las longitudes de las derivas y las magnitudes de los períodos de flotación inherentes a cada uno de los flotadores, se observa que conser-

varon su estanqueidad total durante un período medio próximo a 40 días, o a lo largo de derivas cuya longitud media no rebasa de 150 millas.

Teniendo presentes las distancias que median entre la costa más próxima y los puntos donde fueron efectuados los 242 lanzamientos, se observa que el porcentaje de recuperaciones (rendimiento) de los flotadores resulta inversamente proporcional a la magnitud de aquellas distancias, siendo notable el hecho de que para distancias comprendidas entre 6 y 19 millas los porcentajes de recuperación se mantengan sensiblemente constantes (en torno al 18,5 %).

También ha sido analizado el posible influjo ejercido por la configuración de cada sector geográfico establecido (mares Catalán, Levantino-Balear, y de Alborán, Estrecho de Gibraltar, y Mar de Cádiz), así como por las épocas o estaciones del año en que fueron efectuados los lanzamientos de los 2.000 flotadores recuperados. De tal análisis se deduce que los porcentajes de recuperación alcanzan sus valores máximos en los lanzamientos efectuados en el Mar de Alborán (22,8 %), mientras que presentan sus valores mínimos en los lanzamientos efectuados en el sector oceánico más abierto: el Mar de Cádiz (4,6 %), presentando valores intermedios en los mares Catalán, Levantino-Balear y Estrecho de Gibraltar. Por otra parte, los lanzamientos efectuados durante el verano ofrecen el porcentaje máximo (22,4 %) de recuperaciones, cuyo valor mínimo (11,5 por ciento) corresponde a los lanzamientos realizados durante el otoño.

El análisis de los recorridos o derivas experimentadas por los 2.000 flotadores recuperados evidencia los siguientes valores máximos: *longitud máxima recorrida* = 900 millas, *período máximo de flotación* = 1.433 días y *velocidad media de desplazamiento* (como mínimo) = 50,6 millas/día = 2,11 nudos = 105 cm./seg. Retengamos que esta velocidad media mínima representa más del duplo de la presentada ordinariamente por el río Sena a su paso por París y que una corriente con velocidad de 105 centímetros/segundo es susceptible de iniciar la erosión de fracciones rocosas duras, tales como gravas y rocas fisuradas.

La consideración de un limitado cupo de valores-record para longitudes, períodos y velocidades sugeridas por las derivas más sobresalientes, entre las colegidas para los 2.000 flotadores recuperados, nos ha permitido relacionar estos valores-record con las épocas del año y los sectores geográficos en que fueron operados los lanzamientos, así como con el grado de estanqueidad mostrado por los flotadores en el momento de ser recuperados.

BIBLIOGRAFÍA

1. De Buen, R.: Rapport Atlantique, 1926.
2. Gaibar-Puertas, C.: *La utilización de flotadores en la investigación de las corrientes oceánicas superficiales,* Boletín de la Real Sociedad Geográfica, n.° 100, 1964 (en prensa).
3. Gaibar-Puertas, C.: *Algunos aspectos prácticos de la investigación de las corrientes oceánicas superficiales,* Acta Geológica Hispánica, Barcelona (en prensa).
4. Gaibar-Puertas, C.: *Investigación sistemática de las corrientes oceánicas superficiales en el litoral español: características y comportamiento del tipo de flotador adoptado y utilizado,* Revista de Ciencia Aplicada, Madrid (en prensa).
5. Gómez, J., y Seco, E: *La vena septentrional de agua de procedencia mediterránea en el Golfo de Cádiz,* Revista de Geofísica, año XXI, n.° 81, pp. 39-58, con 9 figs., Madrid, 1962.
6. Lacombe, H.; Tchernia, P.; Richez, Mme. C., y Gamberoni, L.: *Deuxième contribution a l'étude du régime du détroit de Gibraltar (travaux de 1960),* Cahiers Océanographiques du COEC, XVI Année, n.° 4, pp. 283-314, con 35 figs., Paris, abril, 1964.
7. Schmidt, J.: *Experiments with drift-bottles (First Report),* Report on the Danish Oceanographical Expeditions 1908-1910 to the Mediterranean and adjacent Seas, vol. III: Miscellaneous Papers, n.° 1, con 19 pp., 6 tablas y 6 mapas, Copenhagen, juin, 1913.
8. Schott, G.: *Die Wasserbewegungen im Gebite der Gibraltarstrasse,* Journal du Conseil Internat. Perm. pour l'Explorat. Mer, vol. III, n.° 2, pp. 139-175, sept., 1928.