

## SOBRE EL TRANSPORTE DE PARTICULAS EN CUERPOS OCEANICOS SEMICERRADOS

Guillermo Quirós Alvarez\*

### RESUMEN

*El flujo residual ha mostrado tener una función relevante en el transporte de partículas en suspensión, larvas y algunos contaminantes, principalmente. Este se establece como consecuencia de la interacción entre la onda de marea y las irregularidades del fondo. Su análisis más completo ha sido llevado a cabo con éxito por medio de modelos numéricos no lineales, usualmente barotrópicos.*

En áreas costeras de relativa sencillez morfológica, el océano presenta movimientos periódicos bien establecidos, que son una respuesta lineal al forzamiento exterior por variaciones atmosféricas, radiación solar y fluctuaciones del campo gravitacional.

En configuraciones con profundidades de decenas de metros y fuertes gradientes batimétricos, la desviación de ese estado lineal de la onda de marea puede ser apreciable y causar circulaciones de frecuencia baja, llamadas residuales. Una batimetría irregular es un agente que transfiere vorticidad de un campo de velocidad oscilatorio al campo medio o residual, mediante una advección no lineal. Tal transferencia es más efectiva si la escala caracte-

terística de las irregularidades del fondo  $L$  es del mismo orden de magnitud de la velocidad de marea  $\underline{V}$  dividida por la frecuencia de la señal oscilatoria  $\sigma$ ; es decir:  $(\underline{V} / \sigma) \cong L$  (Zimmerman, 1978). Esta vorticidad es la causa de la corriente residual observada.

El flujo residual, que representa el transporte con período característico de días, usualmente más notable en cuerpos costeros de poca profundidad, está directamente relacionado con la disipación de energía en el fondo, puede ser el mecanismo responsable de la distribución de contaminantes y está asociado con la dinámica de las poblaciones marinas pasivas, principalmente.

\*\*\*

La noción de circulación residual, como aquella que prevalece más allá de eventos dinámicos de corto período,  $T < 10^4$  seg, ha tenido hasta hace pocos años una variada y poco precisa definición, pero siempre ha involucrado el proceso de promediar temporalmente. Hoy en día se acepta la siguiente definición:

\* Departamento de Física. Universidad Nacional. Heredia. Costa Rica.

Sea  $\underline{V}(x, y, z, t)$  el campo de velocidades instantáneo, el cual contiene dos componentes.  $\underline{V}_s(x, y, z, t)$  representa las variaciones instantáneas y sinusoidales asociadas a un comportamiento lineal de la onda de marea,  $\underline{V}_r(x, y, z, t)$ , representa las variaciones de largo período ( $T \gg 10^4$  seg) asociadas al comportamiento no lineal de la onda de marea. Por tanto, al promediar en el tiempo sobre un número entero de ciclos de marea  $nT$ , se obtiene:

$$\frac{1}{T} \int_0^{nT} dt \underline{V}(x, y, z, t) = \frac{1}{T} \int_0^{nT} dt \left\{ \underline{V}_s(x, y, z, t) + \underline{V}_r(x, y, z, t) \right\} \quad (1)$$

o sea:

$$\frac{1}{T} \int_0^{nT} dt \underline{V}(x, y, z, t) = \underline{V}_r(x, y, z) + \underline{F}(t) \quad (2)$$

donde  $F(t)$  es una función de largo período (moduladora). Si  $nT$  es del orden de un día, tal promedio elimina las principales corrientes de marea (diurnas y semidiurnas) y suaviza las generadas por el régimen de brisas marinas. Si es del orden de semanas, contendrá adicionalmente un pequeño residuo climático.

Considerando los altos costos del trabajo oceanográfico de campo, las limitaciones naturales de las observaciones que con él se logran y el notable desarrollo de las computadoras en las últimas décadas, se ha optado por la modelación numérica como herramienta fundamental, apoyada en observaciones reales, para el análisis del flujo residual en cuerpos semicerrados de agua: estuarios (Iannello, 1979), mares marginales (Nihoul y Runfola, 1981), bahías (Tee, 1976) y golfos (Quirós, 1983).

Esta herramienta tiene la enorme ventaja de que ofrece una visión sinóptica de los fenómenos oceánicos. No obstante, el manejo poco cuidadoso de tal instrumento de análisis puede conducir a soluciones que nada tienen que ver con la realidad, lo que exige una cuidadosa calibración.

La solución numérica tridimensional del sistema de ecuaciones diferenciales parciales de tipo elíptico, que representan el movimiento de las aguas en estos casos, conlleva enormes dificultades, además de requerir un sistema computacional de elevada capacidad. Por tal motivo, se recurre a un sistema de ecuaciones bidimensional, donde se supone que los procesos de mezcla en el cuerpo de

agua bajo estudio son efectivos, esto es, que la estratificación es despreciable como agente dinámico (modelo barotrópico). Por tanto, se parte de las ecuaciones de agua somera integradas verticalmente (Groen y Groves, 1961):

$$\partial_t \underline{V} + (\underline{V} \cdot \nabla) \underline{V} + f(\underline{k} \times \underline{V}) + g \nabla \xi = \underline{\tau}^b + Am \Delta \underline{V} \quad (3)$$

$$\partial_t \xi + \nabla \cdot H \underline{V} = 0 \quad (4)$$

donde:

- $\underline{V}$ : Vector velocidad,  $\underline{V}(x, y, t)$ .
- $f$ : rotación terrestre,  $f(r, \theta, \phi)$ .
- $\xi$ : elevación instantánea de la superficie del mar  $\xi(x, y, t)$ .
- $\underline{\tau}^b$ : fricción en el fondo no lineal  $\underline{\tau}^b(x, y, \underline{V})$ .
- $H$ : profundidad instantánea,  $H(x, y, t)$ .
- $Am$ : coeficiente de viscosidad turbulenta horizontal.
- $g$ : aceleración de la gravedad.

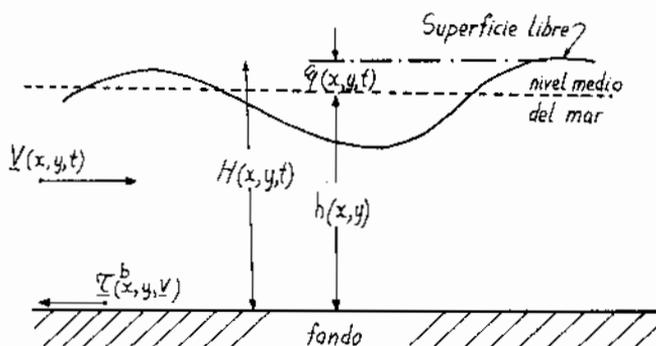


Figura N.º 1

Representación de las principales variables involucradas en las expresiones (3) y (4).

El sistema (3) (4) es puesto en la máquina en diferencias finitas o elementos finitos. Luego, con apropiadas condiciones de frontera, es resuelto numéricamente, utilizando como función de excitación la onda de marea en la boca de la cuenca (figura No. 1). La línea de costa y la batimetría son aproximadas discretamente, donde el paso de

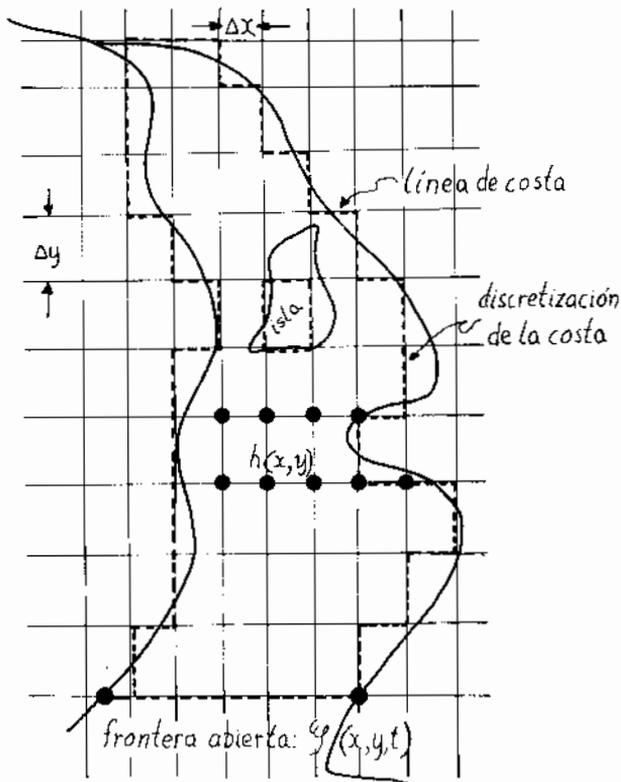


Figura N° 2

Aproximación de la línea de costa y de la batimetría en un caso hipotético. Representación de la frontera abierta en una cuenca semicerrada.

La malla utilizado ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ) se escoge en términos de la profundidad máxima y de la capacidad de la máquina (figura No. 2).

Si después de 8 a 10 ciclos de marea las soluciones encontradas se vuelven estables, se inicia el proceso de integración señalado en la expresión (1). La calibración del modelo consiste en verificar que las variables  $\xi$ ,  $V$ ,  $V_p$ , calculadas en puntos estratégicos, coincidan con las mediciones de campo.

Los análisis hechos hasta hoy han demostrado que los factores causantes de una circulación residual notoria son:

- cambios bruscos del piso oceánico: canales, depresiones, islas; y
- variaciones en la línea de costa: puntas, bahías, angosturas.

Los órdenes de magnitud encontrados para la intensidad de las corrientes residuales, alcanzan tan sólo la décima parte de aquellas órdenes corres-

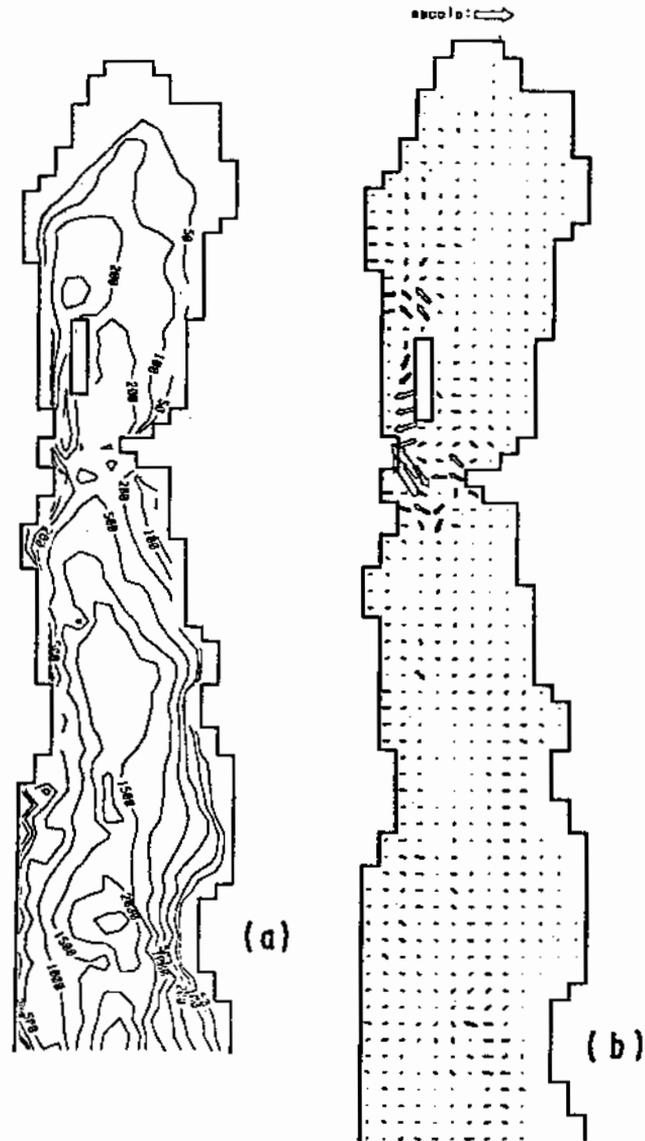


Figura N° 3

### Golfo de California

- (a) Línea de costa batimetría (m) utilizados en el modelo barotrópico.
- (b) Gradiente del fondo correspondiente, normalizado respecto a la profundidad media.

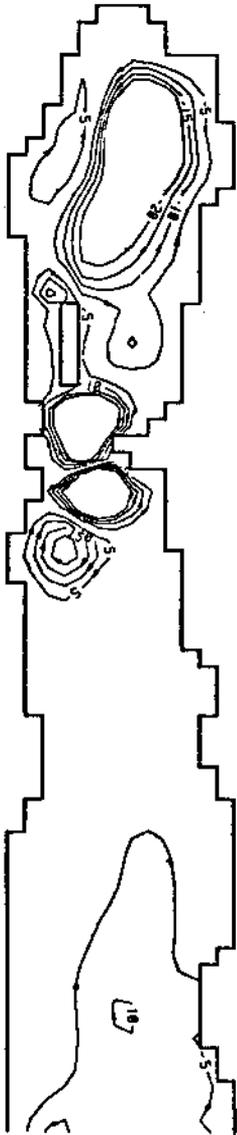


Figura N<sup>o</sup>.4

Golfo de California. Flujo residual ( $\times 10^3$   $m^3 \text{ seg}^{-1}$ ). La intensidad es inversamente proporcional al espaciamento entre isolíneas.

pendientes a las corrientes causadas por la onda de marea directamente. Por ello las escalas temporales del transporte de contaminantes y larvas, entre otros, son cientos de días en vez de semanas, cual es el período típico de un arrastre de marea.

En las figuras Nos. 3 y 4 se presentan resultados obtenidos para el Golfo de California (Quirós, 1983).

Nótese cómo en la vecindad del meso-golfo, donde confluyen factores físicos favorables, se lleva a cabo la más notoria circulación residual. De los resultados obtenidos se estimó, por ejemplo, que un derrame de petróleo ocurrido en el alto golfo, donde existen plataformas petroleras, tarda 17 meses en afectar la rica zona pesquera de Guaymas, situado en el tercio medio inferior.

\*\*\*

Este tipo de estudios puede ser llevado a cabo en costas costarricenses y servir de base para determinar, por ejemplo, el impacto ecológico de los pesticidas utilizados en el Distrito de Riego de Moracia sobre el Golfo de Nicoya.

#### ABSTRACT

*It is known that residual flow, established as a consequence of the interaction between the wave and the bottom profile, plays a relevant roll in the transport of particles in suspension: larvae and some pollutants, mainly.*

*The most meaningful analysis have been carried out, successfully, employing non linear numerical models, the most of them barotropic.*

## REFERENCIAS

- Groen, P. y Groves, G. W. 1961. Surges. *The sea* (N. N. Hice, ed.). Interscience Publ. New York. Vol. I: 611-646.
- Ianniello, J. P. 1979. Tidally induced residual currents in estuaries of variable breadth and depth. *J. Phys. Oceanogr.* Vol. IX: 962-974.
- Nihoul, J. C. J. y Runfola, V. 1981. The Residual Circulation in the North Sea. *Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Liège Colloquium on Ocean Hydrodynamics*. (J. C. J. Nihoul, ed.). Elsevier Publ. Co. Amsterdam. Pp. 219-270.
- Quirós, G. E. 1983. Circulación Residual en el Golfo de California. Un Modelo Numérico. Tesis de Maestría. CICESE. Ensenada, B. C. Méjico. 98 pp.
- Tee, K.J. 1976. Tide induced residual currents, a 2-D nonlinear numerical tidal model. *Jour. Mar. Res.* Vol. XXXIV: 603-628.
- Zimmerman, J. T. F. 1978. Topographic generation of residual circulation by oscillatory (tidal) current. *Geophys. Astrophys. Fluid Dyn.* Vol. XI: 33-47.