

"MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS EN ESTUARIOS Y ZONAS COSTERAS"

ESTUDIO DE LA REGION COMPRENDIDA ENTRE  
CONSTITUCION Y VALDIVIA

Luis Neyra Pulido

Ingeniero Instituto Nacional de  
Hidráulica

Chile cuenta con 4.000 Kms. de costa con unas 20 desembocaduras y con un conocimiento insuficiente de los movimientos que afectan a las formaciones sedimentarias estuariales y del ámbito costero.

Se pretende aquí esbozar los métodos "sedimentológicos", de deducción del transporte de sedimentos, a partir del análisis de las características naturales indicadoras de las acciones hidrodinámicas que ellos han soportado y exponer algunos resultados de trabajos realizados en esta línea de acción.

1. Acciones hidrodinámicas en los estuarios y zonas costeras.

1.1 Acción de la marea: La marea provoca movimientos del agua en un estuario, en los dos sentidos posibles, vale decir hacia el continente y hacia el mar. Esto implica acciones alternantes sobre los sedimentos de los fondos y sobre los sedimentos en suspensión. Ellos estarán en contacto con aguas cuya salinidad aumenta desde el continente al mar y que varía según los momentos de la marea y según la profundidad a que se encuentren las partículas.

1.2 Acción de las corrientes fluviales: En un esquema simplista, los aportes de agua dulce que llegan al mar se suman a las corrientes de marea cuando estas apuntan hacia el mar y son frenadas por la

fuerza de la marea cuando sus corrientes "llenan" el estuario. Esto da un sentido hacia el mar a las resultantes de las acciones hidrodinámicas alternantes recién citadas.

- 1.3 Acción del oleaje: Importa, sobretodo, en los extremos marítimos de los estuarios y en las zonas costeras.

Los sedimentos de los fondos no sufren la acción del oleaje en aguas profundas, desde el punto de vista de la refracción (10, 60 ó 100 m ó más, para períodos de oleaje de 4,10 - 20s ó más, respectivamente).

En tal caso, los sedimentos en suspensión son llevados hacia las costas, si se encuentran cerca de la superficie, hacia el océano si están a cierta profundidad.

En las zonas en que actúa la refracción del oleaje, los sedimentos de los fondos pueden moverse hacia las costas o hacia el océano según la capa límite sea tranquila o turbulenta.

Los sedimentos en suspensión avanzan hacia las costas si están cerca del fondo o de la superficie y hacia el océano si están a media profundidad.

Cuando las playas son de fango, las olas pueden morir sin reventar, por "absorción" de ellas por parte del fango y, si la turbulencia de la capa límite lo permite, la costa puede recibir una gran sedimentación péltica por "fijación" de partículas o flóculos en la masa sedimentaria absorbente.

Si el oleaje incide a la costa con cierta inclinación, además de los movimientos en el perfil perpendicular a la costa, se verifican movimientos sedimentarios paralelos a ella (tránsito litoral).

- 1.4 Acción de las corrientes marinas: En el ámbito marítimo se desarrollan corrientes que pueden transportar sedimentos arrojados por los estuarios o bien frenar dicha alimentación según las condiciones geométricas del sistema corriente-estuario.

///...

## 2. Condiciones de transporte de sedimentos.

2.1 Sedimentos no cohesivos: Se admite que el fenómeno del arrastre de sedimentos en los estuarios sea semejante al observado para canales experimentales.

Si se considera la dificultad para definir la condición de iniciación de arrastre aún en el laboratorio y con los sedimentos a la vista, puede preverse la dificultad que presenta la definición de tal condición en un cauce natural. No obstante esto, algunos trabajos realizados por el Instituto Nacional de Hidráulica (ref: 1) han permitido "intuir" la iniciación del arrastre en estuarios y costas y comprobar que las condiciones imperantes correspondían a las iniciales de arrastre según Shields y Bonnefille (ref: 1).

La "detección" de la iniciación del arrastre se ha realizado recurriendo al marcaje radiactivo de los sedimentos del estuario de Valdivia y de una zona costera en la Bahía de Corral durante el período de estiaje del presente año.

Resulta de cierto interés continuar verificando tal correspondencia en condiciones naturales diferentes y aún en otros estuarios para dilucidar la eventual aplicación en ellos de resultados obtenidos en los laboratorios que muestran una dispersión importante.

2.2 Sedimentos cohesivos: Conocemos las experiencias de Migniot (ref: 2) quién ha abordado el estudio del movimiento de sedimentos cohesivos en agua.

Sus resultados indican que la iniciación del movimiento depende de la granulometría, mineralogía, concentración y del contenido de arena del fango y por cierto del medio acuoso.

En general, en los estuarios, las partículas en suspensión tienen un movimiento resultante y sedimentan en el sentido de las llenantes en época de estiaje (ref: 2), (aún para vaciantes de laboratorio que duplican a las llenantes, suponiendo aportes marinos) y el de

las vaciantes en época de crecidas.

En estuarios de la Guayana Francesa (ref: 3) se ha constatado un aporte vaciante, sobretodo en creces, de arenas de origen estuarial y un aporte llenante de fangos marinos. Este hecho pone de manifiesto la diferencia de las leyes que rigen las sedimentaciones de aluviones y de sedimentos cohesivos según veremos más adelante.

### Condiciones de sedimentación.

3.1 Sedimentos no cohesivos: En un esquema simplista, los granos dejan de ser transportados y empiezan a acumularse en los fondos del estuario o de la zona costera cuando los parámetros de iniciación de arrastre pasan de valores superiores a valores inferiores respecto de las cifras críticas.

3.2 Sedimentos cohesivos: Cuando los flóculos de fango o eventualmente las partículas elementales llegan a un ambiente calmo, ellos pueden depositarse en los fondos al cabo de cierto tiempo.

La salinidad del agua marina y en menor grado la del agua de los estuarios, crea un ambiente propicio a la floculación, o sea, al aglutinamiento de las partículas elementales y a la caída de ellas.

Es así que al aumentar la salinidad aumentaría la velocidad de sedimentación, a suspensión constante, pero la influencia de la concentración puede propiciar sedimentaciones más rápidas en un estuario que en el mar.

En efecto, la velocidad de sedimentación aumenta con la concentración hasta valores que van de unos 10 a unos 25 g/l para los cuatro fangos ensayados por Migniot (ref:2). Al superarse dichos valores la velocidad de acumulación disminuye por cuanto los numerosos flóculos logrados se entorpecen en sus caídas. Al superar se estos niveles de concentración es cuando pueden darse los fenómenos vistos en el párrafo precedente.

La velocidad de sedimentación relativa crece al decrecer el diámetro medio  $D_{50}$  del fango considerado, a suspensión y salinidad del medio constante. En efecto se tiene que:

$F = K D_{50}^{-1/8}$ , en que F es el Factor de floculación definido por Migniot (ref: 2) como la razón entre la velocidad de caída mediana de un fango diluido en un medio acuoso floculante y dicha velocidad con las partículas al estado elemental.

Para suspensiones de 10 g/l floculadas en agua marina y expresando el diámetro en micrones se cumple:

$$F = 250 D_{50}^{-1/8}$$

#### 4. Características de los sedimentos que permiten reconocer movimientos de ellos.

##### 4.1 Características granulométricas

4.1.1 Sedimentos no cohesivos: La huella que deja un movimiento predominante en una superficie sedimentaria es una ordenación de los tamaños tal, que estos decrecen en el sentido de la acción del agua.

Al encontrar curvas de frecuencia de los diámetros plurimodales se puede deducir, según las magnitudes de las frecuencias de los modos, que el sedimento provenga de una mezcla de dos o varios sedimentos que han evolucionado separadamente.

Por otra parte se ha constatado que los sedimentos que han llegado a su sitio por la acción de carácter unívoco de un número pequeño de mecanismos netamente dominantes (transporte por corrientes, sedimentación por exceso de carga o por decantación) exhiben granulometrías marcadas de tal forma que los porcentajes de granos inferiores a cierto diámetro, son expresables como funciones potenciales o logarítmicas de dicho diámetro (granulometrías causales).

Cuando el sedimento es colocado bajo varias acciones de importancia comparables, de sentido variable y carácter más o menos aleatorio (caso de las acciones litorales), sus granulometrías se acercan a distribuciones de Gauss de una potencia o un logaritmo del diámetro de los elementos sedimentarios (granulometría aleatoria).

Lafond (ref: 3) ha estudiado las propiedades de las distribuciones granulométricas en el estrán de la costa de Madagascar a partir de los estuarios de Ivolrina y Mahoriva y ha encontrado que aquellos sedimentos presentan una clara convergencia del porcentaje causal de sus granulometrías.

En estos casos, las granulometrías mostraban un carácter logarítmico para los granos medianos y un carácter gaussiano en potencias o logaritmos del diámetro para los elementos finos y gruesos.

Esto implica cierta extensión a los sedimentos aluviales de las teorías de Riviere (4) y (5) para sedimentos cohesivos; en efecto la causa estuarial habría impuesto a los sedimentos una distribución logarítmica que las acciones litorales van transformando gradualmente en gaussiana.

4.1.2 Sedimentos cohesivos: La experiencia acumulada en los estudios granulométricos de fangos arroja interesantes relaciones entre sus distribuciones y la forma en que ellos fueron colocados en el sitio que ocupan.

Si se asimila la proporción porcentual en peso inferior a la dimensión "x" a funciones potenciales o logarítmicas, o sea a una función general " $\int_a x^n dx$ ", se observa una relación directa entre la historia del sedimento y el índice de evolución "n".

En efecto, los sedimentos depositados por disminución progresiva de la competencia y de la capacidad de transporte de las corrientes mues

tran índices de evolución entre 0 y -1 ( $y = ax + b$  y  $ey = \log cx$ ).

Los sedimentos estuariales y litorales presentan distribuciones aproximadamente logarítmicos, es decir, el último estado de la evolución ya citada.

Los sedimentos de lagos o de cubetas oceánicas que decantan en un medio calmo - muestran índices de evolución inferiores a -1 (potencias de exponentes negativos) y tanto mayores en valor absoluto cuanto la evolución granulométrica sea más pronunciada.

4.2 Características mineralógicas. Como indicadores mineralógicos de los sedimentos gruesos, podemos citar el contenido de feldespatos y el de ferromagnesianos.

En el sentido del transporte de los sedimentos los feldespatos van disminuyendo en los fondos aluviales a causa de su fragilidad.

A su vez, los ferromagnesianos van quedando en el camino a causa de su peso específico grande en relación al total de la masa sedimentaria.

En los sedimentos finos se analiza, sobre todo, la presencia de minerales arcillosos (Kaolinita, Illita, etc.). La presencia de tales minerales permite ratificar movimientos sedimentarios por identidad de distintos fangos o de fangos y sedimentos gruesos que los originan.

4.3 Características morfométricas. Las arenas de origen marino se caracterizan por su forma angulosa, subangulosa y a veces subredondeada. Es característico el brillo de sus granos.

Las arenas fluviales tienen forma angulosa, sin desgaste y son más bien opacas.

En las arenas eólicas los granos de tamaño medio son muy redondeados y de superficie de aspecto esmerilado, los granos pequeños carecen de mar-

cas en sus superficies y son muy poco redondeados.

En general, donde prima la acción fluvial, los granos pequeños son poco trabajados, al contrario de lo que ocurre con acciones marinas.

#### Estudios sedimentológicos realizados por el Instituto Nacional de Hidráulica.

5.1 Estuario del río Valdivia (ref.1): Este estuario se caracteriza por una marea - promedio nocturna de 1,50 m en sicígias que penetra unos 50 kms. por los brazos paralelos Valdivia y Tornagaleones, abarcando unos 150 kms<sup>2</sup> que incluye una compleja red de afluentes. Hay un volumen oscilante de unos 80 millones de m<sup>3</sup> por metro de marea (120 millones para 1,50 m de marea) desde y hasta la Bahía de Corral. El caudal fluvial que pasa por el río Valdivia es de 1.000 m<sup>3</sup>/s que aportaría un 25% al volumen oscilante unitario de todo el sistema.

Los sedimentos son del tamaño arena (mayores que 0.04 mm) en el río Valdivia y en parte de la Bahía de Corral e incluyen un 20% de elementos pelíticos (menores que 0.04 mm) en la zona profunda adyacente a la costa SE de la bahía (Fosa de Corral), en la Ensenada de San Juan y en los últimos 5 kms del brazo Tornagaleones.

Los elementos finos superan el 50% en la zona más profunda de la Fosa de Corral y en la desembocadura del brazo Tornagaleones.

Los tamaños medios del sedimento del río Valdivia van de 0,4 a 0,6 mm y esto va disminuyendo gradualmente hacia el mar.

Analizando la sedimentación conocida la Bahía de Corral, con su máximo en la zona del Banco de las Tres Hermanas, hemos estudiado las distribuciones de tipos de sedimentos, de los tamaños, del contenido de feldespatos, del contenido de los ferromagnesianos, del contenido de cuarzo y hemos llegado a la conclusión que es el río Valdivia el que aporta unos 200 mil m<sup>3</sup>/año de arena que están sedimentando la Bahía de Corral y descartamos una entrada importante de arenas a la Bahía desde el mar.



Subsiste el interés a cadémico de conocer el origen de los sedimentos finos que tapizan algunos fondos del complejo Corral - Valdivia.

5.2 Estuario del Maule: Se caracteriza por una marea promedio nocturna de 1,50 m en sicígios que penetra unos 15 kms, "inundando" unos 5 km<sup>2</sup> y que hace oscilar 5 millones de m<sup>3</sup>. El río Maule aporta 700 m<sup>3</sup>/s en término medio triplicando tal volumen oscilante (las inversiones de corriente son mucho mas frecuentes que en el estuario valdiviano).

El tapiz sedimentológico presenta elementos pelíticos en su parte más honda que van aumentando al disminuir la profundidad para encontrar ripios en muchas zonas emergentes.

La desembocadura del estuario presenta dos formaciones sedimentarias de interés:

- La Punta de Quivolgo, formación emergente, que es una flecha apuntando en sentido contrario al tránsito litoral - resultante compuesta de ripios y arenas en proporción variable a lo largo del año y,
- La barra, umbral que sólo permite la pasada de botes, - siempre y cuando no hayan problemas de agitación. Los sedimentos que la constituyen poseen diámetros medios de 0,4 a 0,6 mm.

Ambas formaciones crecen con sedimentos traídos por el oleaje, desde el SW en verano. La difracción que ocasiona el Cabezo del Molo Rebock provoca, primero, la alimentación de la Barra y en seguida, la inversión del tránsito litoral y la formación de la flecha.

Presenta cierto interés sobretodo didáctico, por el momento, la investigación del origen de los sedimentos cohesivos del estuario.

5.3 Zona costera de Concepción a Constitución: El estudio de algunos sedimentos de esta zona muestra sedimentos fluviales, mal clasificados y probablemente producto de mezclas en los ríos que desembocan al litoral aludido.

Al norte del río Itata se ve una huella en los tamaños del sentido hacia el Norte del tránsito litoral resultante.

La Bahía de Talcahuano protege sus costas hasta Dichato, de los aportes del Bío-Bío que podrían alimentar las costas al norte del Itata y en suma con este.

Conclusiones. Lo realizado hasta la fecha puede considerarse como etapa preliminar.

Al disponerse de nuevos equipos e instrumental investigación, se abrirá un campo de acción interesantísimo e brindará valiosos antecedentes de orden práctico para proyectos portuarios, planes de dragado, etc. además del interés dático que significa conocer la historia de los conjuntos dimentarios que se han situado en nuestro litoral.

\*\*\*\*\*

## REFERENCIAS

1. ESTUDIO SEDIMENTOLOGICO DEL RIO VALDIVIA Y LA BAHIA DE CORRAL. INSTITUTO NACIONAL DE HIDRAULICA.
2. ETUDES DES PROPRIETES PHYSIQUES DE DIFFERENTS SEDIMENTS TRES FINS ET DE LEUR COMPORTEMENT SOUS DES ACTIONS HYDRODINAMIQUES. C. MIGNIOT LA HOUILLE BLANCHE N°7/1968.
3. ETUDES LITTORALES ET ESTUARIENNES EN ZONE INTER TROPICALE HUMIDE. L.R. LAFOND.
4. METHODE GRANULOMETRIQUES EN GEOLOGIE. A. RIVIERE
5. METHODES D'INTERPRETATION DE LA GRANULOMETRIE DES SEDIMENTS MEUBLES. A. RIVIERE