



I CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA AMBIENTAL EN SISTEMAS ACUÁTICOS, CChIASA

DESCARGAS DE LODOS HIPERCONCENTRADOS EN CUERPOS DE AGUA: FENOMENOLOGÍA Y DESAFÍOS

ALDO TAMBURRINO^{1,3}
CHRISTIAN IHLE^{2,3}

RESUMEN EXTENDIDO

Los flujos de lodos hiperconcentrados en cuerpos de agua corresponden a corrientes gravitacionales inducidas por la diferencia de densidad de la corriente y el fluido ambiente. La importancia en procesos geológicos de las corrientes de densidad se reconoce al menos desde el siglo 19 (Forel, 1885; Daly, 1936) y los primeros experimentos reportados son los de Kuenen (1938) en los que verifica la expresión para la velocidad de la corriente propuesta por Daly. A pesar del tiempo transcurrido y de los importantes avances obtenidos en el estudio de las corrientes de densidad desde el punto de vista teórico, experimental y de modelación numérica, aún existen muchos aspectos que no han sido dilucidados, tanto para corrientes generadas de manera natural como antrópica. La gran mayoría de los estudios consideran flujos turbulentos, baja concentración de sólidos y la dilución de la corriente debido a la incorporación del agua ambiente en ella (Chu et al., 1979; Parker, 1982).

Las corrientes de gravedad resultantes de la descarga de lodos industriales en cuerpos de agua ha sido objeto de atención el último tiempo, especialmente desde que el fondo marino ha sido considerado como una alternativa para el depósito de relaves mineros. En este caso el problema se complica enormemente, tanto por las características físicas y químicas del lodo descargado como por la ignorancia que se tiene respecto a cómo las descargas interactúan con el ecosistema. En la revisión de Ramírez-Llodra et al. (2015) se ejemplifica bien el problema mostrando que nuestro conocimiento del ecosistema es inversamente proporcional a la profundidad de la descarga. En general, nuestro desconocimiento se refiere tanto a los procesos abióticos como bióticos. Es notable la carencia de mediciones que se tienen de estos flujos en medios naturales. Por ejemplo, siendo la concentración de sedimentos un parámetro crítico que controla las corrientes de gravedad, ella nunca ha sido medida en cañones y abanicos submarinos (Talling et al., 2015).

Aún restringiendo el análisis a los procesos abióticos, la magnitud del problema a resolver es enorme. En general, los lodos están constituidos por material no cohesivo y cohesivo de

¹Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
atamburr@ing.uchile.cl

²Departamento de Ingeniería de Minas, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
cihle@ing.uchile.cl

³Advanced Mining Technology Center, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.



partículas finas con distintas características mineralógicas y algunas veces también incorporan material orgánico. La mezcla de este material con agua forma una mezcla con un comportamiento no-newtoniano. Al penetrar la descarga en el cuerpo de agua (especialmente si el medio está estratificado) puede producirse una separación de las partículas de menor densidad, generando un penacho ascendente, además de la corriente más densa que se desplaza en contacto con el fondo. Procesos de mezcla o difusión con el medio, junto a la segregación del material sólido (y su eventual depósito), cambia la concentración de sólidos y la reología de la corriente (Quemada 1988). Además, la interacción entre la corriente y el lecho lleva a modificaciones de éste, ya sea por procesos de depósito o degradación, incluyendo la generación de ondas sedimentarias. Aunque la presencia de dunas es rara (Arnott 2013), se observan formas de fondo que migran hacia aguas arriba (Kostic 2011). La compleja naturaleza del rol que juega la concentración, la fracción de sedimentos cohesivo/no-cohesivo y los depósitos se presenta en la Figura 1 (Talling et al. 2012).

En su propagación, los flujos de lodos hiperconcentrados pueden pasar por tres fases de desarrollo dependiendo de la fuerza motriz y la de resistencia dominantes (Yilmaz et al., 2014). En su primera fase domina la boyancia de la descarga, seguida por una fase boyante-inercial para terminar en la fase boyante-viscosa. En esta última, la reología juega un papel importante, debiendo considerarse el aspecto newtoniano (Benjamin 1968,) o no-newtoniano de las corrientes (Gratton and Minotti 1999, Didden y Maxworthy 1982; Di Federico et al. 2006, Chowdhury and Testik 2012). También ha sido atribuido a la reología de la mezcla la gran diferencia que puede existir en la movilidad y dispersión de las corrientes generadas por deslizamientos del fondo marino (Elverhoi et al., 2010).

El objetivo del trabajo es presentar el estado del arte de la descarga de lodos hiperconcentrados en cuerpos de agua, con especial énfasis en la compleja interacción fluido descargado – flujo – fluido ambiente – sedimento – morfología del lecho.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen el financiamiento otorgado por los proyectos Fondecyt 1261751 y 1160971.

Referencias

- Arnott, R., 2013, Turbidites, and the case of the missing dunes. *J. Sed. Res.* 82: 379–384.
- Benjamin, T. 1968. Gravity currents and related phenomena. *J. Fluid Mech.* 31: 209–248.
- Chowdhury M.R. and Testik F.Y. 2012. Viscous propagation of two-dimensional non-Newtonian gravity currents. *Fluid Dyn. Res.* 44: 1-17
- Chu, F.H., Pilkey, W.D. and Pilkey, O.H., 1979. An analytical study of turbidity current steady flow. *Mar. Geol.*, 33: 205-220.
- Daly R.A. 1936. Origin of submarine canyons. *Am. J. Sci. Ser.* 31:401–420
- Di Federico, V., Malavasi, S., Cintoli, S. 2006. Viscous propagation of non-Newtonian gravity currents on a plane. *Meccanica* 41: 207–217.
- Didden, N., Maxworthy, T. 1982. The viscous propagation of plane and axisymmetric gravity currents. *J. Fluid Mech.* 121: 27–42.



Elverhoi A., Breien, H., de Blasio, F.V., Harbitz, C.B., Pagliardi, M. 2010. Submarine landslides and the importance of the initial sediment composition for run-out length and final deposit. *Ocean Dynamics*. 60:1027–1046

Forel FA. 1885. Les ravins sous-lacustres des fleuves glaciaires. *C. R. Acad. Sci. Paris* 101:725–728. Artículo en <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k30574/f725.item.zoom>

Gratton, J., Minotti, F. (1999). Theory of creeping gravity currents of a non-Newtonian liquid. *Phys. Rev. E* 60: 6960–6967.

Kostic S. 2011. Modeling of submarine cyclic steps. Controls on their formation, migration and architecture. *Geosphere*, 7:294-304

Kuenen PH. 1938. Density currents in connection with the problem of submarine canyons. *Geol. Mag.* 75:241–249

Parker G. 1982. Conditions for the ignition of catastrophically erosive turbidity currents. *Mar. Geol.* 46:307–327

Quemada D. 1988. Rheological modelling of complex fluids. I. The concept of effective volume fraction revisited. *Eur. Phys. J. AP*, 1(1):119-127

Ramirez-Llodra E, Trannum H.C., Evenset A., Levin L.A, Andersson M., Finne T.E, Hilario A., Flem B., Christensen G., Schaanning M. and Vanreusel A. 2015. Submarine and deep-sea mine tailing placements: A review of current practices, environmental issues, natural analogs and knowledge gaps in Norway and internationally. *Mar. Poll. Bull.* 97 (1–2): 13-35

Talling P.J. et al. (30 coautores). 2015. Key future directions for research on turbidity currents and their deposits. *J. Sed. Res.* 85:153-169

Yilmaz N.A., Testik F.Y. and Chowdhury M.R. 2014. Laminar bottom gravity currents: friction factor–Reynolds number relationship, *J. Hyd. Res.*, 52(4):545-558

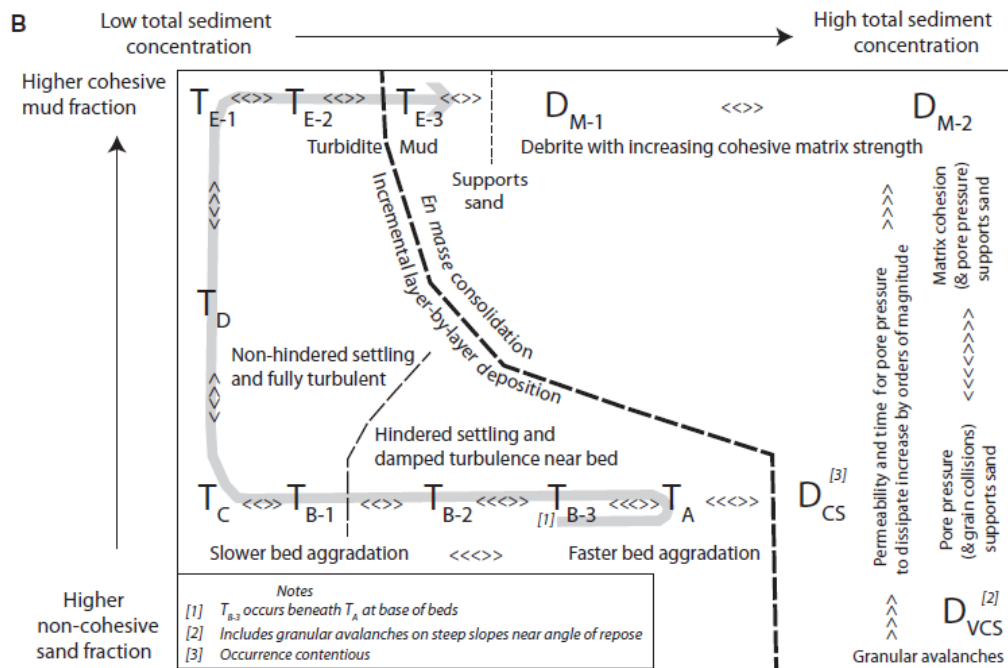


Figura 1: Relación esquemática entre el tipo de depósito, concentración de sedimento y fracción relativa de arena y barro en el flujo de una corriente de densidad, según Talling et al. (2012).