

Del disco al satélite: guía breve de instrumentos para el monitoreo costero

From disk to satellite: short guide to coastal monitoring tools

César Linton-Izquierdo¹ 

Resumen

Esta revisión realiza un análisis comparativo de los instrumentos más comunes para el monitoreo costero, con el fin de identificar las ventajas y limitaciones de cada método, incluyendo sus aplicaciones, beneficios, desventajas y costos. La información se organiza mediante una revisión y clasificación temática del equipamiento y las plataformas utilizadas en las campañas de campo, que se resume en un diagrama esquemático y una tabla. El análisis describe que cada instrumento proporciona información única: el disco de Secchi permite una evaluación rápida de la turbidez; las redes de plancton y los frascos de muestreo de agua permiten obtener muestras para análisis de laboratorio de alta precisión; los instrumentos CTD, junto con sensores *in situ*, proporcionan perfiles verticales y datos continuos en el tiempo de diversos parámetros; el ADCP mide el movimiento del agua, y su señal de dispersión permite inferir cambios relativos en la concentración de partículas; la imagen de plancton proporciona información sobre la identificación y el tamaño de las especies; la difracción láser caracteriza los sedimentos finos; las estaciones fijas y los boyas de deriva proporcionan series de datos e información sobre la trayectoria; el radar costero de alta frecuencia y los vehículos subacuáticos autónomos amplían la cobertura espacial; y los satélites ofrecen la mayor cobertura espacial. En conclusión, ningún instrumento por sí solo puede abarcar todas las escalas, y la combinación de instrumentos, guiada por la pregunta de investigación inicial, mejora la interpretación de los datos.

Palabras clave: plancton, partículas suspendidas, corrientes y mareas, variables ambientales, oceanografía.

Abstract

This review uses a comparative analysis of the commonly used instruments for coastal monitoring to identify the strengths and limitations of each method, including their applications, advantages, disadvantages, and costs. The review organizes information through a review and thematic organization of the equipment and platforms used in field campaigns and summarized in a schematic diagram and table. The analysis revealed that each instrument provides unique insights: Secchi disk offers a rapid assessment of turbidity; plankton nets and water sampling bottles provide water and organisms for highly accurate laboratory analysis; CTD instruments, along with *in-situ* sensors, provide vertical profiles and temporal continuity of various parameters; the ADCP measures water movement, and its backscatter signal allows for inferences about relative changes in particle concentration; plankton imaging provides information on species identification and size; laser diffraction characterizes fine sediment; fixed stations and surface drifters provide data series and trajectory information; high-frequency coastal radar and underwater gliders extend the spatial coverage; and satellites offer the broadest spatial scale. In conclusion, no single instrument can cover all scales, and combining instruments, guided by the initial research question, improves data interpretation.

Key words: plankton, suspended particles, tides and currents, environmental variables, oceanography.

Recibido: 24 de julio de 2025.

Corregido: 26 de septiembre de 2025.

Aceptado: 21 de noviembre de 2025.

¹ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Boca del Río. Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Carretera Veracruz-Córdoba Km 12, Boca del Río, Veracruz, C.P. 94290, México.

* Autor de correspondencia: cesar.li@bdelrio.tecnm.mx

Introducción

La zona costera cambia más rápido de lo que parece: en horas la turbidez aumenta por una resuspensión, en días florece el fitoplancton y en semanas se reorganizan las corrientes, por lo que entenderla no se resuelve con un solo equipo, cada método mira una parte distinta de un sistema muy complejo, por ejemplo: unos dan "verdad de laboratorio", otros entregan continuidad temporal, y otros aportan el alcance espacial. Esta pequeña guía proporciona un resumen de algunos de los equipos más usados para medir variables oceanográficas, cómo funcionan, y cuándo conviene combinarlos para responder preguntas prácticas de calidad del agua, materia en suspensión y productividad.

Mirar no es lo mismo que medir, por eso el primer reto es convertir lo visible en números, y para ello se han desarrollado distintas metodologías con el paso del tiempo. Dentro de los métodos más sencillos se encuentra el disco de Secchi. Se trata de un disco hecho usualmente de acrílico que se baja atado a una cuerda marcada, posteriormente se anota la profundidad a la que deja de observarse, el dato se refiere a la transparencia/turbidez del agua. Es muy útil para comparar sitios y temporadas, aunque no distingue si la baja visibilidad se debe a sedimentos o a otras partículas como fitoplancton; hoy se usa como contexto para lo demás, es decir, una medida indirecta de concentración (Tyler 1968). Las ventajas que este equipo tiene son su fácil manipulación, así como su bajo costo, lo que lo convierten en una herramienta útil si no se tiene equipo demasiado sofisticado.

Por otra parte, cuando la pregunta es “¿quién está presente?”, las redes de plancton siguen siendo tal vez el método más confiable. Una malla en forma de cono deja pasar lo pequeño y colecta lo de igual

o mayor al tamaño de los orificios que tiene (luz de malla). También existen las redes bongo, que permiten hacer réplicas simultáneas y con sistemas de apertura/cierre como MOCNESS, donde se “rebanan” capas de la columna, añadiendo resolución vertical (Wiebe *et al.* 1976).

Otros métodos que también involucran colecta directa son el uso de botellas Niskin o Go-Flo que se cierran a una profundidad exacta, colectando la muestra de agua que necesitamos, la cual posteriormente es analizada con precisión en el laboratorio. Cuando se trata de ambientes someros, la botella *Van Dorn* horizontal, evita arrastres indeseados (Parsons *et al.* 1988).

Las ventajas de estos métodos son, primero; el costo, el cual es medio-bajo comparándolo con otros equipos, además se puede obtener una muestra real, por lo que, con las redes por ejemplo, el biovolumen medido es muy preciso, sumado a que se puede obtener la resolución taxonómica en el laboratorio de manera detallada. Además, con las colectas de agua en botellas se puede obtener un análisis preciso de nutrientes, salinidad, oxígeno, pH, entre otras variables. Sin embargo, la parte negativa es que ambas requieren cierta complejidad logística para su implementación, pues ambas son manipuladas desde una embarcación, además de que no podemos tener una resolución temporal muy alta, dado que, utilizando estos métodos, obtenemos “escenarios aislados” por muestreo, por lo que se pueden perder episodios importantes entre campañas.

Si queremos saber exactamente cómo se comportan nuestros datos en la vertical, usamos un equipo llamado CTD. Este es un paquete de sensores que baja y sube en el agua registrando conductividad (de ahí se calcula la salinidad), temperatura y presión (que nos da la profundidad), de

ahí sus siglas. Muchas campañas usan un CTD montado en una estructura circular llamada "roseta" que sostiene varias botellas para cerrarlas a la profundidad elegida y traer agua a laboratorio. Pero no todos los CTD van en roseta, también existen CTD compactos pensados para muestreos rápidos desde muelles, lanchas pequeñas o boyas.

Estos equipos, pueden medir algunas otras variables si se les añaden distintos sensores. Por ejemplo, para fitoplancton, un fluorómetro ilumina la clorofila con luz azul/UV y mide la fluorescencia roja, es un indicador rápido, pero conviene confirmarlo en laboratorio con filtros para evitar sobreestimaciones por color disuelto o sedimento (Bushnell *et al.* 2017). Por otra parte, para la turbidez, el equipo cuantifica cuánta luz se dispersa lateralmente por las partículas suspendidas; imaginemos una linterna bajo el agua; cuantas más partículas hay, más se "nubla" el haz y más señal capta el sensor. Por eso es ideal para seguir plumas y resuspensiones, aunque requiere limpieza y mantenimiento porque la bioincrustación puede falsear las lecturas (Bushnell *et al.* 2017). Si nos vamos a la parte química, un óptodo de oxígeno usa un tinte que "brilla" menos cuando hay más O₂ (oxígeno); el pH ISFET (SeaFET/DuraFET) es un sensor electrónico sensible a H⁺ (iones de hidrógeno); y el nitrato por UV (SUNA/ISUS) aprovecha que NO₃⁻ (nitrato) absorbe fuertemente en ~210–220 nm (Johnson & Coletti 2002, Martz *et al.* 2010). Todos estos sensores necesitan recalibraciones y compararlos con botellas para controlar posibles derivas. La gran ventaja es la continuidad y la sensibilidad a eventos; el problema es que, sin controles de calidad constantes, la calidad del dato baja notablemente (Bushnell *et al.* 2017). El costo típico de estos equipos es medio, aunque puede elevarse considerablemente

según los sensores que se le añadan.

Otro de los enfoques incluye la acústica, la cual se ha desarrollado para "medir" el movimiento. El Perfilador de Corriente Acústico *Doppler* (ADCP), es un equipo originalmente diseñado para medir la velocidad de las corrientes que emite "pings" y escucha el eco que regresa una vez que rebota en los objetos, si el eco vuelve con un pequeño cambio de frecuencia (efecto *Doppler*), el equipo calcula la velocidad del agua por capas, es decir, en un agua completamente clara (sin partículas) este equipo no tendría sentido. Los equipos de frecuencias altas (600–1200 kHz) ofrecen detalle a corta distancia, ideales para un estuario o puerto, por otra parte, con frecuencias más bajas (75–300 kHz) alcanza más distancia con menos resolución (Gordon 1996). La intensidad de la retrodispersión aumenta con la cantidad de materia; por lo que con datos locales "tradicionales" puede usarse como proxy de sólidos suspendidos y capas de plancton (Gartner 2004).

Para brindarnos "rostro y tamaño", la imagenología facilita el trabajo. Opciones como *FlowCam* e IFCB hacen pasar el agua por una celda transparente y toman miles de microfotografías. Posteriormente realizan la clasificación, y entregan tallas, formas y biovolumen casi en tiempo real, dándonos un puente entre la señal y el "quién" está allí. Por otra parte, ZooScan, digitaliza bandejas de muestra de red para una taxonomía asistida muy limpia. En el caso de UVP, toma imágenes *in situ* de partículas y zooplancton grande, llenando el hueco entre acústica y tipo de partículas (Lombard *et al.* 2019). Las virtudes de estos métodos es que pueden identificar grupos de especies y tamaños, sin embargo, requieren un trabajo previo de curación de clases, y un riguroso mantenimiento óptico, sumado a que son métodos con

un costo medio-alto. Además, cubren con precisión la parte biológica, pero no sustituyen la química o la física, sumado a que no son útiles para series temporales grandes.

Cuando lo que nos importa es el tamaño del sedimento fino, la difracción láser (familia LISST) ilumina con un láser y mide en anillos la luz difractada; de ese patrón se reconstruyen tamaños y concentraciones. Este método permite traducir "turbidez alta" o "eco fuerte" en qué tamaños y cuánta materia hay (Agrawal & Pottsmith 2000), por lo que le "pone cara" a lo que estamos observando con otros métodos, sin embargo, su costo es alto.

Para sostener el monitoreo en el tiempo y en distintas zonas, lo clave es cómo colocamos los instrumentos. Por ejemplo, una estación fija con una boyas o un flotador subsuperficial conectados por una línea con sensores y un lastre en el fondo puede registrar datos en un punto cada pocos minutos permitiendo ver con nitidez los ciclos de marea y los cambios estacionales. También tenemos las opciones como las boyas de deriva, las cuales no están fijas, sino que viajan con la corriente. Actualmente se usa un gran número de ellas para construir series globales de temperatura y velocidad, por ejemplo (Centurioni *et al.* 2019).

Desde la costa, los radares de alta frecuencia funcionan como "mapas de tráfico" del mar, donde varias antenas miden el movimiento de la superficie hasta decenas o cientos de kilómetros. Son muy útiles para seguridad marítima y para validar modelos (Paduan & Washburn 2013). Por otra parte, bajo la superficie, los gliders (equipos autónomos operados remotamente) cambian su flotabilidad y avanzan en zigzag durante semanas, uniendo el detalle por capas que

nos da el CTD, con un alcance espacial mucho mayor (Rudnick *et al.* 2004). Sin embargo, el costo de estos equipos es muy elevado comparándolos con los sensores que se compran por separado, aunque las ventajas que ofrece son claras.

Si todo lo dicho nos queda "corto", desde arriba, los satélites dan la escena completa. Estos equipos usan un sensor que mide la luz que devuelve la superficie del planeta y, tras una corrección atmosférica, esa señal se convierte en temperatura, clorofila o turbidez (entre otras variables) según distintos algoritmos. Con píxeles kilométricos, MODIS, VIIRS y OLCI se usan, por ejemplo, para seguir plumas y surgencias, por otra parte, con decenas de metros Sentinel-2 y Landsat suelen usarse más para bahías y arrecifes. En zonas cercanas a la costa, las cuales son ópticamente complejas los algoritmos de mar abierto tienden a sobreestimar clorofila si no se usan correcciones y modelos adaptados; la práctica fiable es optar por procesamientos costeros validados y anclarlos con datos *in situ* (Vanhellemont 2019). La ventaja de este método es, por supuesto, su gran escala, además de que los datos suelen ser gratuitos, sin embargo, dado que están en órbita, no tienen la resolución temporal de los otros equipos mencionados.

La tabla I y figura 1, muestran algunos de los métodos que se pueden usar si queremos observar el mar "con lupa", pero es claro que cada uno tiene sus virtudes, por ello, la decisión no es "qué equipo es el más moderno", sino "qué combinación responde nuestra pregunta en la escala correcta". Las redes y botellas anclan la interpretación; los sensores *in situ* sostienen el entretiempo; la acústica muestra el movimiento y, con calibración local, orienta sobre cuánta materia hay y cómo cambia; la imagenología pone

Tabla I. Resumen de los equipos utilizados para el monitoreo costero, sus ventajas y limitaciones principales.

Método/Equipo	¿Qué entrega?	Ventajas clave	Limitaciones principales
Disco de Secchi	Transparencia/turbidez	Simple, rápido, barato	No distingue dependiente de luz
Redes de plancton	Organismos, tallas, biovolumen	Taxonomía detallada; “distingue” capas	Requiere barco; baja resolución temporal
Botella Niskin	Agua a profundidad específica	Parámetros precisos (laboratorio)	Logística embarcación; baja resolución temporal
CTD	Perfiles de S-T-P (entre otros)	Detalle vertical; coordina muestreo	Con roseta: voluminoso/caro; sin roseta: no colecta agua
ADCP	Corrientes por capas; retrodispersión	No invasivo; series densas	No distingue entre partículas; requiere limpieza
Imagenología	Imágenes, tamaños, biovolumen	Diferenciación detallada de plancton	Curación de clases; mantenimiento óptico
LISST	Tamaño y concentración de sedimentos	Traduce turbidez/eco a tamaños	Sensible a burbujas/bioincrustación, limitado en sedimentos gruesos
Boyas	Serie en un punto / trayectorias	Muchas variables; buena cobertura	Mantenimiento y seguridad
Radar HF / Glider	Corrientes/ datos y perfiles de semanas	Gran alcance espacial	Infraestructura/ operación especializada; costo elevado
Satélites	Escena regional (TSM, Chl, turbidez)	Amplia cobertura; datos gratuitos	Costero complejo requiere corrección; menor precisión local

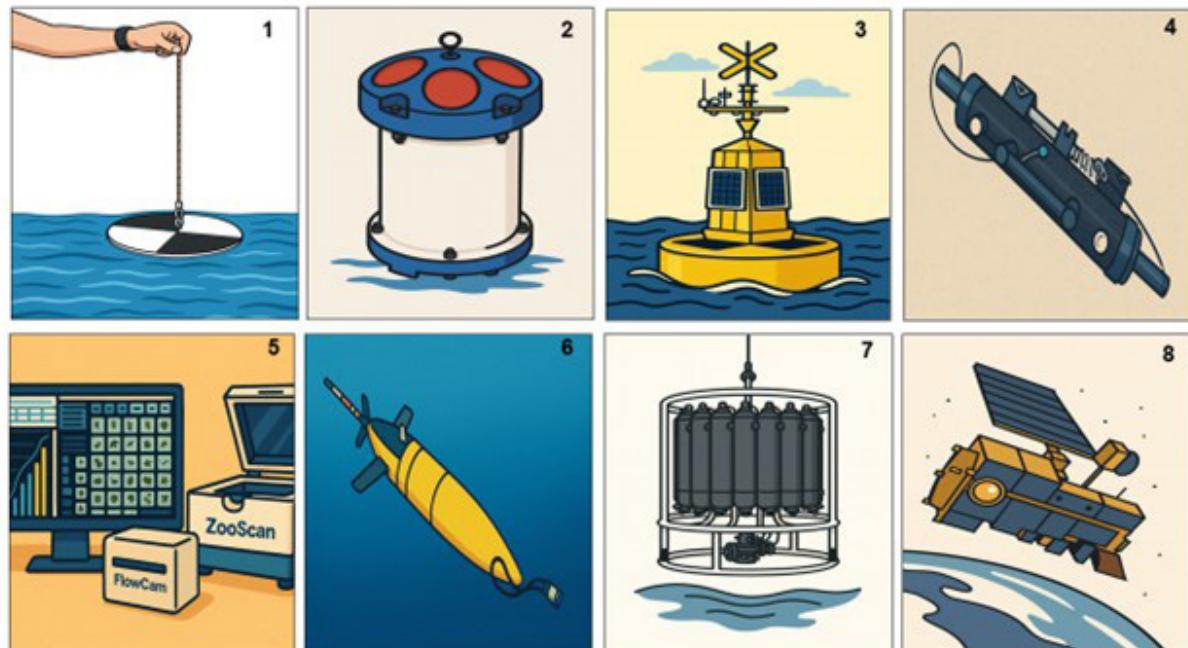


Figura 1. Instrumentos y plataformas para monitoreo costero. (1) Disco de Secchi; (2) ADCP; (3) estación fija/boya instrumentada; (4) Botella Niskin; (5) Imagenología de plancton; (6) Glider; (7) CTD con roseta; (8) Satélite. Las ilustraciones presentadas fueron modificadas con asistencia de IA.

cara y talla; las plataformas extienden el alcance; y el satélite aporta el contexto espacial. Cuando dos métodos diferentes coinciden, la señal deja de ser sospecha y se vuelve evidencia para decidir.

Agradecimientos

A dos revisores anónimos por sus valiosas sugerencias para mejorar el manuscrito.

Referencias

- Agrawal, Y.C. & H.C. Pottsmith.** 2000. Instruments for particle size and settling velocity observations in sediment transport. *Marine Geology* 168: 89–114. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(00\)00044-X](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(00)00044-X)
- Bushnell, M., C. Kinkade & H. Worthington.** 2017. Manual for Real-Time Quality Control of Ocean Optics Data: A Guide to Quality Control and Quality Assurance of Ocean Optics Observations. U.S. Integrated Ocean Observing System, Silver Spring, Estados Unidos de América. Consultado el 1 octubre 2025. Disponible en: <https://ioos.noaa.gov/project/qartod/>.
- Centurioni, L. R., Turton, J., Lumpkin, R., Braasch, L., Brassington, G., Chao, Y., Charpentier, E., Chen, Z., Corlett, G., Dohan, K., Donlon, C., Gallage, C., Hormann, V., Ignatov, A., Ingleby, B., Jensen, R., Kelly-Gerreyn, B. A., Koszalka, I. M., Lin, X., Lindstrom, E., Maximenko, N., Merchant, C. J., Minnett, P., O'Carroll, A., Paluszakiewicz, T., Poli, P., Poulain, P.-M., Reverdin, G., Sun, X., Swail, V., Thurston, S., Wu, L., Yu, L., Wang, B., & Zhang, D.** 2019. Global in situ observations of essential climate and ocean variables at the air-sea interface. *Frontiers in Marine Science*, 6: 419. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00419>
- Gartner, J.W.** 2004. Estimating suspended solids concentrations from backscatter intensity measured by acoustic Doppler current profiler in San Francisco Bay, California. *Marine Geology* 211: 169–187. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2004.07.001>
- Gordon, R.L.** 1996. Acoustic Doppler Current Profiler: Principles of Operation—A Practical Primer. RD Instruments, San Diego, Estados Unidos de América, 54 pp.
- Johnson, K.S. & L.J. Coletti.** 2002. *In situ* ultraviolet spectrophotometry for high-resolution and long-term monitoring of nitrate, bromide and bisulfide in the ocean. *Deep-Sea Research Part I* 49: 1291–1305. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(02\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(02)00020-1)
- Lombard, F., Boss, E., Waite, A. M., Vogt, M., Uitz, J., Stemmann, L., Sosik, H. M., Schulz, J., Romagnan, J.-B., Picheral, M., Pearlman, J., Ohman, M. D., Niehoff, B., Möller, K. O., Miloslavich, P., Lara-López, A., Kudela, R., Lopes, R. M., Kiko, R., Karp-Boss, L., Jaffe, J. S., Iversen, M. H., Irisson, J.-O., Fennel, K., Hauss, H., Guidi, L., Gorsky, G., Giering, S. L. C., Gaube, P., Gallager, S., Dubelaar, G., Cowen, R. K., Carlotti, F., Briseño-Avena, C., Berline, L., Benoit-Bird, K., Bax, N., Batten, S., Ayata, S. D., Artigas, L. F., & Appeltans, W.** 2019. Globally consistent quantitative observations of planktonic ecosystems. *Frontiers in Marine Science* 6: 196. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00196>
- Martz, T.R., J.G. Connery & K.S. Johnson.** 2010. Testing the Honeywell Durafet® for seawater pH applications. *Limnology and Oceanography: Methods* 8: 172–184. <https://doi.org/10.4319/lom.2010.8.172>
- Paduan, J.D. & L. Washburn.** 2013. High-frequency radar observations of ocean surface currents. *Annual Review of Marine Science* 5: 115–136. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-121211-172315>
- Parsons, T.R., D.G. Webb, H. Dovey, R. Haigh, M. Lawrence & G.E. Hopky.** 1988. Production studies in the Mackenzie River–Beaufort Sea estuary. *Polar Biology* 8: 235–239.
- Rudnick, D.L., R.E. Davis, C.C. Eriksen, D.M. Fratantoni & M.J. Perry.** 2004. Underwater gliders for ocean research. *Marine Technology Society Journal* 38(2): 73–84. <https://doi.org/10.4031/002533204787522703>
- Tyler, J.E.** 1968. The Secchi disk. *Limnology and Oceanography* 13(1): 1–6. <https://doi.org/10.4319/lo.1968.13.1.0001>
- Vanhellemont, Q.** 2019. Adaptation of the dark spectrum fitting atmospheric correction for aquatic applications of the Landsat and Sentinel-2 archives. *Remote Sensing of Environment* 225: 175–192. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.010>
- Wiebe, P.H., K.H. Burt, S.H. Boyd & A.W. Morton.** 1976. A multiple opening/closing net and environmental sensing system for sampling zooplankton. *Journal of Marine Research* 34(3): 313–326.