

4.4. *Mare salis intellegere.* Comprender la sal de los océanos

Nina Hoareau, Mikhail Emelianov, Joaquim Ballabrera, Carolina Gabarró, Verónica González-Gambau, Maribel Lloret, Estrella Olmedo, Marcos Portabella, Jordi Salat, Joaquín Salvador, Marta Umbert, Antonio Turiel

En 1987, el Prof. Fedorov, destacado oceanógrafo soviético de la época, dedicó una de sus charlas divulgativas a la salinidad del océano y la llamó «La Cenicienta de la oceanología dinámica». Fedorov decía que «El destino de la salinidad como parámetro físico está estrechamente relacionado con la dinámica de las aguas del océano y es muy similar al destino de la pobre Cenicienta del cuento de hadas de Charles Perrault. Y, como el destino de la pobre Cenicienta, hace tiempo que la salinidad clama justicia».

De hecho, históricamente, las observaciones de salinidad han sido menos valoradas que otros parámetros físicos del océano tales como temperatura, corrientes, oleaje o nivel del mar.

Tradicionalmente, la salinidad se ha medido mediante campañas oceanográficas, empezando por la Challenger Expedition, entre 1872 y 1876 y más tarde también desde estaciones fijas. Mientras que su medida sistemática a escala global, empezó en los años dos mil, con los primeros perfiladores Argo, y mas adelante con el lanzamiento del primer satélite (Font *et al.* 2012) dedicado a medir la salinidad superficial desde el espacio, el *Soil Moisture and Ocean Salinity* (SMOS).

¿Por qué es necesario medir la salinidad?

La salinidad es una variable oceánica fundamental. Contribuye, junto con la temperatura, a la determinación de la densidad, que modula la intensidad de los procesos de mezcla en la capa superior del océano, a la formación de masas de agua y corrientes.

Los principales procesos que influyen en la variabilidad de la salinidad están relacionados con los intercambios de agua entre el océano y la atmósfera (evaporación, precipitación), y con la advección. Si observamos un mapa de salinidad superficial o un transecto del océano Atlántico de norte a sur, vemos que la salinidad varía de un lugar a otro (figura 1), con unos valores, en océano abierto, que se encuentran generalmente entre 32 y 38. Sin embargo, se ha observado que la concentración de sal en los océanos no presenta cambios notables a escala climática, y su valor medio es de 35.

Cerca de la costa, la salinidad superficial puede verse influenciada por la escorrentía de los ríos, y en las zonas polares por los mecanismos de formación y fusión del hielo marino. Esta formación de hielo marino contribuye a la formación de las aguas profundas, el principal forzamiento de la circulación general termohalina. Todo ello, junto con la evaporación y la precipitación, modifican la salinidad superficial, lo cual permite utilizarla como trazador del ciclo de agua. También, dado que solo se modifica en superficie, la salinidad se utiliza junto a la temperatura como trazador de masas de agua.

¿Cómo medir la salinidad?

Una de las principales observaciones de la primera expedición oceanográfica mundial, *Challenger Expedition* (1872-1876), fue que «la salinidad varía de un mar a otro, pero las proporciones relativas de las sales que la componen se mantienen». Gracias a esta observación clave,

medir la concentración de un único componente de las sales que contiene en el agua de mar permite recuperar la concentración de los otros y, por lo tanto, la salinidad. Hasta la primera mitad del siglo xx, la salinidad (expresada en partes por mil; ppt o ‰) se estimaba por métodos químicos a partir del contenido de cloruros, el componente mayoritario de las sales disueltas en el agua de mar (Knudsen 1901).

A partir de los años cuarenta se observó que, a una temperatura fija, la conductividad eléctrica del agua de mar dependía de la salinidad, por lo que se fue sustituyendo el método químico por la medida de la conductividad a una temperatura fija. Este método supuso la llegada de nuevos instrumentos, los salinómetros. A partir de aquí, se fijó la salinidad de una muestra de agua como la relación de conductividades a 15 °C, entre la muestra y un patrón salinidad de 35 ppt, de manera que esta nueva escala (salinidad práctica

de 1978; PSS-78 o PSU en inglés) ya no tiene unidades. Finalmente, en 2010 se vuelve también al concepto de concentración con la salinidad absoluta en g kg^{-1} (TEOS-10). Lo que hace que en la literatura la salinidad se encuentre en las diferentes unidades.

Así desde finales de los años sesenta hasta hoy, el desarrollo instrumental incluye un sensor de temperatura y de presión, junto al de conductividad, llegando al famoso Conductividad-Temperatura-Profundidad (CTD en inglés), capaz de medir continuamente perfiles verticales u horizontales de temperatura y salinidad. En base a esta tecnología, se desarrollaron otros instrumentos autónomos, los llamados termosalinógrafos (TSG), instalados en buques, que proporcionan mediciones continuas de temperatura y salinidad superficial durante la navegación. La mayoría de esos instrumentos se utilizan comúnmente durante las campañas

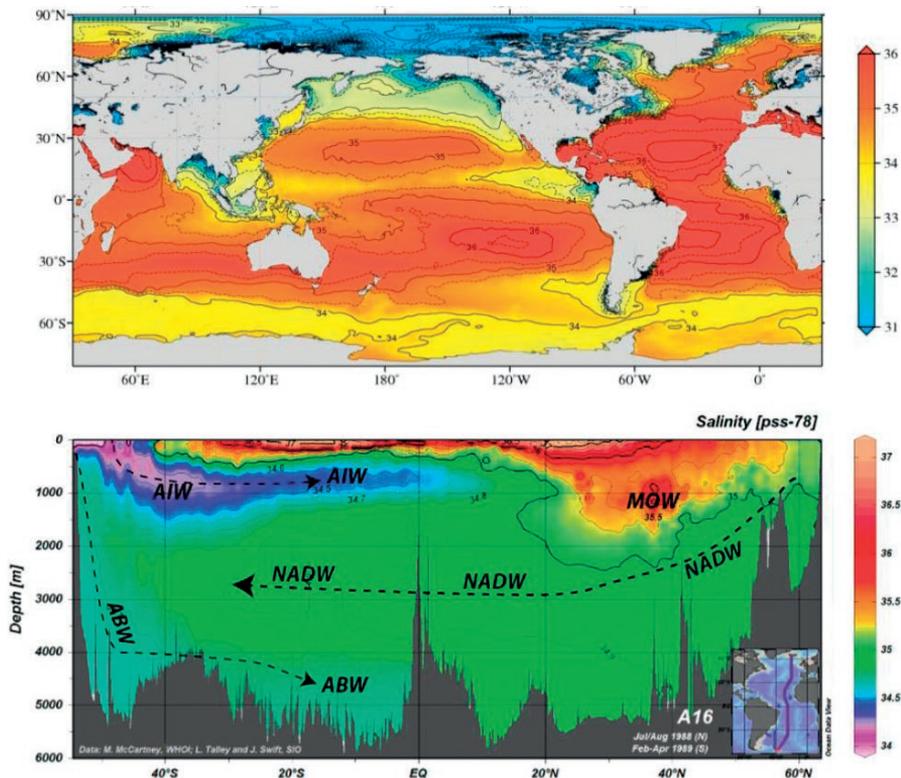


Figura 1. Arriba: salinidad superficial anual media (World Ocean Atlas 2018). Abajo: transecto de salinidad del Atlántico - Agua Antártica de Fondo (ABW), Agua de Antártica Intermedia (AIW), Agua Profunda del Atlántico Norte (NADW) y Agua Originada en el Mediterráneo (MOW).

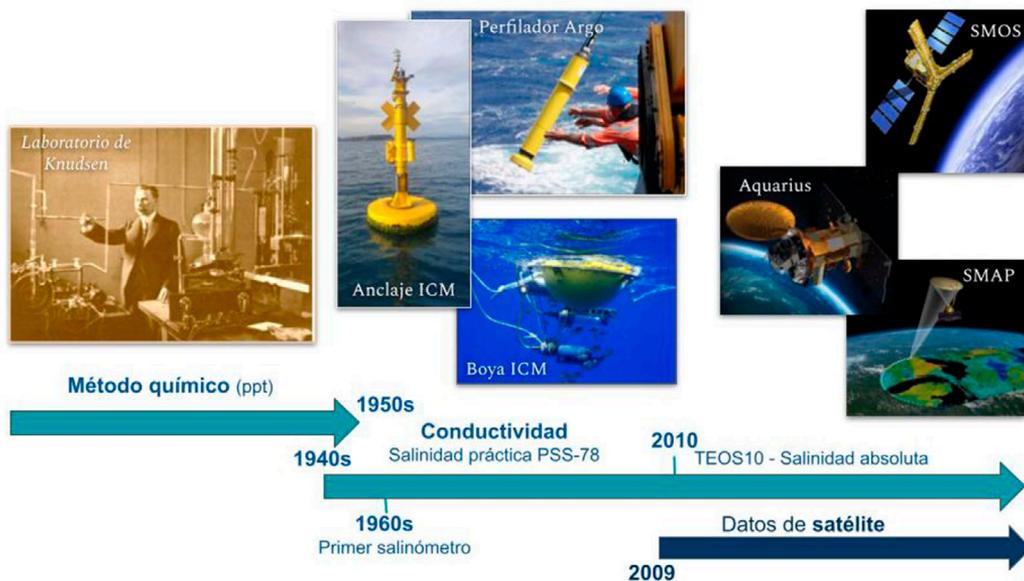


Figura 2: Cronología de los métodos de medición de la salinidad del mar. Fotos de izquierda a derecha: Martin Knudsen (1901); instrumentos basados en la tecnología CTD; los satélites SMOS, Aquarius y SMAP.

oceanográficas desde los años 70, pero también se utilizan en anclajes, estaciones fijas o boyas a la deriva, como por ejemplo el anclaje de L'Estartit o la boya ICM (Salvador *et al.* 2010), diseñados en el Institut de Ciències del Mar (ICM-CSIC). Con el objetivo y la necesidad de medir la salinidad de manera sistemática y global, la comunidad científica inició a principios de los dos mil, el programa internacional Argo que realiza mediciones rutinarias en la columna de agua, proporcionando un seguimiento continuo de los océanos mediante unos cuatro mil perfiladores autónomos Argo activos.

En paralelo, la comunidad científica perfeccionó las técnicas para poder medir la salinidad superficial desde el espacio. Una nueva generación de satélites en banda L (1.4 GHz) llegó 40 años después de los primeros satélites oceanográficos (1970). SMOS fue el primer satélite diseñado para medir la salinidad superficial. Fue lanzado por la Agencia Espacial Europea (ESA) en 2009, en colaboración con varias instituciones europeas, y el *Barcelona Expert Center* del ICM-CSIC que lideró la parte científica. Actualmente, junto

con la llegada posterior de las misiones Aquarius (2011-2015) y SMAP (2015) de la NASA, ya se dispone de más de 10 años de datos de la salinidad superficial del océano.

Al final gracias al esfuerzo continuo de la comunidad científica, la «Cenicienta-salinidad» tiene la relevancia que merece, con un amplio rango y diversidad de instrumentación para medirla a diversas escalas (figura 2). Y hoy en día, las observaciones de salinidad siguen aumentando en todos los océanos incluyendo las zonas polares, que a pesar de su influencia en el clima siguen estando poco estudiadas.

Referencias

- Font J., Ballabrera-Poy J., Camps A., *et al.* 2012. A new space technology for ocean observation: the SMOS mission, *Sci. Mar.*, vol. 76S1: 249-259.
- Knudsen M. 1901. *Hydrographical tables*, Copenhagen, 63 pp.
- Salvador J., Fernández P., Julià A., *et al.* 2010. A new buoy for measurement and real time transmission of surface salinity, *CIESM 2010*, Venice, Italy.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14089>