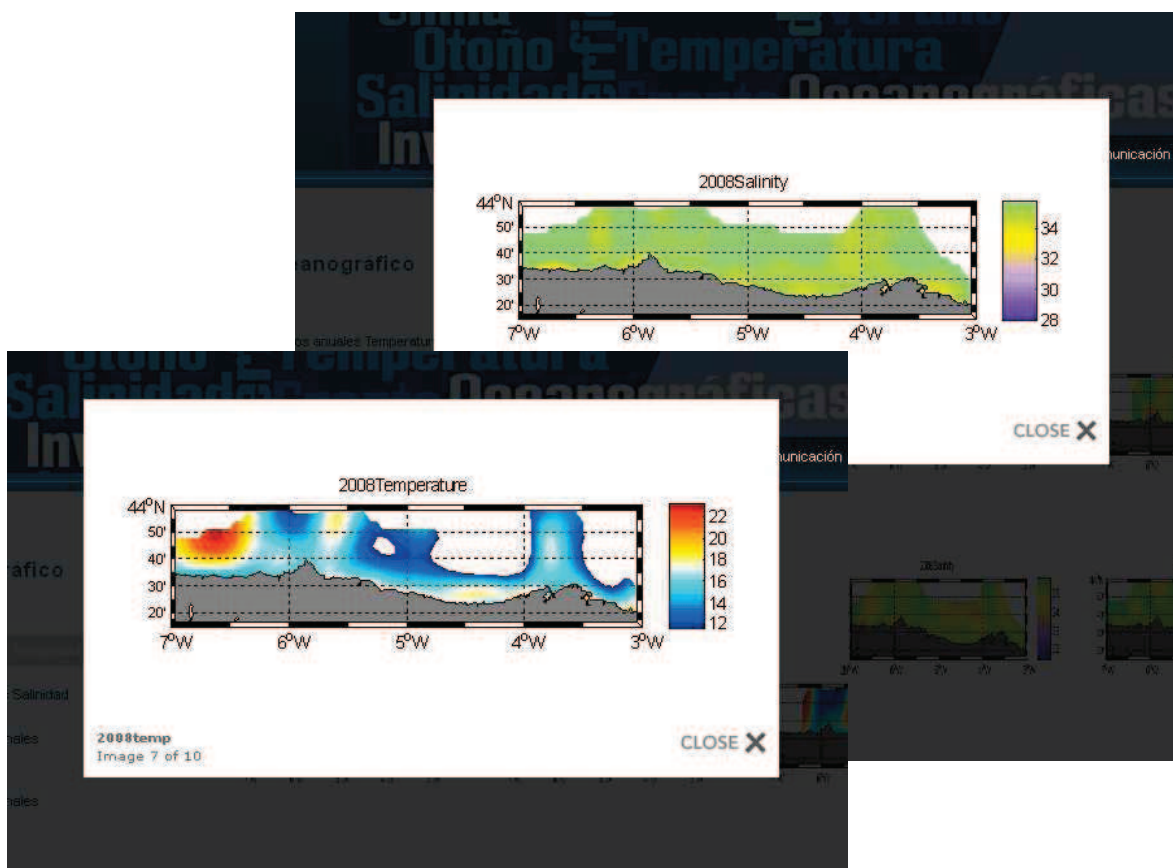


ATLAS COSTERO DE TEMPERATURA Y SALINIDAD SUPERFICIAL EN EL CANTÁBRICO



<http://www.ieo.es/tr/TSG-Rioja/index.html>

Amaia Vilorio Reparaz
Trabajo Fin de Master. Julio 2012

Universida de Vigo

Alumna

Amaia Vitoria Reparaz

Trabajo Fin de Master en Oceanografía.

Facultad de Ciencias del Mar.

Universidad de Vigo.

Julio, 2012

Tutora

Dra. Elena Tel

Instituto Español de Oceanografía (IEO)

C/Corazón de María, 8. 28002- Madrid

INDICE

1. Introducción	3
Utilidad de los mapas	
Los atlas	
Difusión de los resultados de investigación	
2. Objetivos	9
3. Material	10
Plataforma	
Instrumentación	
Cobertura espacio-temporal	
Datos	
4. Metodología.....	15
Control de calidad	
Cálculo de promedios y elaboración de series temporales	
Análisis espacial y metodología de interpolación	
Diseño y desarrollo de la página web	
5. Discusión y resultados	25
Control de Calidad	
Almacenamiento de los datos	
Variabilidad espacio-temporal de la temperatura y salinidad	
Mapas del atlas	
Difusión de los resultados	
6. Aplicaciones	41
7. Conclusiones y Trabajos Futuros	43
8. Bibliografía	45

1. INTRODUCCIÓN

La Oceanografía Física es una ciencia en constante evolución, donde la instrumentación, tipos de observaciones, metodologías de análisis y presentación de la información han mejorado significativamente en las últimas décadas. Esto lleva asociado una mejora en el conocimiento del medio marino y permite plantear nuevas teorías e hipótesis.

En los últimos años, el desarrollo de la informática y la automática así como las innovaciones constantes en el campo de los sensores, han revolucionado la forma de tomar datos y analizarlos. Desde su creación en 1999, la Comisión Conjunta para la Meteorología y la Oceanografía (JCOMM) ha impulsado distintos programas con el objetivo de mejorar la toma de datos “en continuo” del medio marino. Entre ellos, el programa de Barcos de Observación Voluntarios (VOS) y el Programa de Barcos de Oportunidad (SOOP) utilizan los barcos como plataforma para la toma de datos. El VOS está dirigido a la adquisición de datos meteorológicos, de oleaje y la temperatura superficial de mar, y el SOOP al muestreo de la capa superficial de los océanos inicialmente con batitermógrafos desechables (XBT) y actualmente también incluyen datos de otros instrumentos como los termosalinógrafos (en adelante, TSG).

A nivel europeo el Sistema Global de Observación del Océano (EuroGOOS) promueve la Oceanografía Operacional, así como, el desarrollo de políticas comunes para el tratamiento de los datos. La instalación de estaciones y sistemas de monitorización de Oceanografía Operacional ha supuesto un aumento en la demanda de protocolos de control de calidad de los datos en tiempo presente. A diferencia de los controles de calidad de los datos en diferido, en tiempo presente los datos deben estar disponibles rápidamente, por ello, se necesitan continuas mejoras en la automatización de procesos. Además el desarrollo de la tecnología da lugar a instrumentos con mayores frecuencias de muestreo lo que se traduce en un aumento del volumen de datos disponibles que también demanda tratamientos automáticos de los datos. EuroGOOS desde principios de este siglo ha trabajado en ello a través de varios programas. Los relacionados con los TSGs como sistema de medida son el Proyecto de Datos en Continuo Superficiales del Océano Global (GOSUD), y FerryBox. El proyecto GOSUD auspiciado por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (IOC), es una iniciativa para recopilar, procesar, almacenar y difundir los datos de TSGs instalados tanto en barcos oceanográficos, como



en buques de oportunidad. Por su parte, el principal objetivo de FerryBox (2002-2005) ha sido estandarizar y promover el uso de los ferrys comerciales como plataformas para la adquisición de datos de interés científico. Así, además de aprovechar estos barcos como plataformas, se obtienen series temporales de muestreos repetidos periódicamente a lo largo de una misma ruta de navegación.

El TSG del B/O José Rioja, barco del Centro Oceanográfico de Santander, se instaló en octubre de 2002 como contribución del IEO al proyecto Ferrybox y continua operativo desde entonces a pesar que el proyecto finalizó en 2005. En este trabajo se han utilizado los datos desde la instalación del TSG hasta finales de 2011 para elaborar un atlas de temperatura y salinidad superficial a lo largo de la zona de trabajo del B/O José Rioja: las costas asturianas y cántabras. Para diseñar el control de calidad aplicado a los datos se han tomado como referencia las directrices de GOSUD y FerryBox. El atlas consta de dos tipos de mapas, unos muestran los valores de temperatura y salinidad superficial a lo largo de la ruta descrita por el barco y los otros son mapas con datos interpolados en una malla de $0.05^\circ \times 0.05^\circ$. Este atlas recoge los datos mensuales de un sistema costero sometido a una alta variabilidad diaria por estar sometido a la influencia directa de las mareas y los aportes fluviales. Se han calculado las medias mensuales de las variables como información orientativa de la variabilidad de la zona y se ha diseñado una web para hacer accesible toda esta información.

1.1 Utilidad de los mapas

La presentación de los datos es una parte no desdeñable de la oceanografía, puesto que condiciona la información que podemos obtener y la idea que podemos hacernos del medio. Los datos superficiales y sub-superficiales pueden ser dibujados en mapas horizontales que muestren su variabilidad geográfica. En los comienzos este tipo de mapas se realizaban a mano alzada y los resultados dependían de la interpretación y del conocimiento del que los realizaba. A pesar de la subjetividad implícita en la elaboración de los primeros mapas oceánicos, han supuesto grandes avances en el conocimiento del comportamiento del océano. De hecho, los mapas procedentes de la Expedición Meteor (1925-1927) permitieron aventurar las primeras hipótesis sobre los movimientos de agua norte-sur en la cuenca atlántica.



Por otro lado, no se debe olvidar que al realizar un mapa, la selección de una proyección particular puede influir en la idea que nos hagamos de la zona. En el pasado se han utilizado una amplia variedad de proyecciones, a veces definidas por condicionantes políticos. En la actualidad, la naturaleza del análisis, la escala y la región geográfica de interés condicionan el tipo de proyección (Bowditch, 1977). En latitudes medias como las que comprende este trabajo, lo usual es utilizar proyecciones de Mercator, donde las distorsiones en latitud y longitud son similares. Estas proyecciones son útiles para dibujar vectores y dibujar propiedades escalares, los efectos de la proyección elegida deben tenerse en cuenta siempre, especialmente en variables lagrangianas en zonas amplias. En este caso las variables estudiadas son de carácter escalar y la mayor limitación viene impuesta por la línea de costa.

1.2 Los Atlas

Una forma de sintetizar la información de los parámetros medidos en los océanos es a través de atlas. El primer atlas oceanográfico global publicado es la climatología mundial de los océanos de Levitus (1982). Basándose en ella en 1994 se publicó la primera edición del World Ocean Atlas (WOA, www.nodc.noaa.gov/OC5/indprod.html) que se actualiza cada aproximadamente 4 años. Son atlas tridimensionales de la temperatura, salinidad y otras variables medidas en todos los océanos del mundo con una resolución espacial de $1^\circ \times 1^\circ$. A escala regional se han desarrollado otros atlas de menor cobertura pero mayor resolución espacial, como por ejemplo, el atlas digital de temperatura del mar de Noruega (Ottersen, 2010) que pretende servir de herramienta para relacionar las condiciones ambientales con la presencia de poblaciones pesqueras. O el atlas climático del mar de Barents 1998 de temperatura, salinidad y concentración de oxígeno (Matishov et al., 1998). Charraudeau y Vandermeirsch (2006) han elaborado una Climatología tridimensional para la temperatura y salinidad del Golfo de Vizcaya a partir de los datos de perfiles de CTDs, botellas oceanográficas, XBTs, boyas y perfiladores desde 1862 hasta 2006. Esta climatología engloba el área de estudio de este trabajo, sin embargo al tratarse de una franja tan costera no está muy bien representada. Por lo tanto el atlas aquí desarrollado puede complementar la climatología del Golfo de Vizcaya para la zona costera de Asturias y Cantabria en su capa más superficial.



La utilidad de los atlas se basa en su capacidad de sintetizar y almacenar la información en un formato fácilmente accesible tanto para los científicos, como para el público no especializado. Todos los atlas incluyen la temperatura puesto que es una variable clave en la descripción y evolución de los procesos oceanográficos con gran influencia en la dinámica de poblaciones. La temperatura junto con la salinidad determinan la densidad del agua del mar, es decir son las responsables de la circulación de las masas de agua a escala oceánica y local, y por tanto tienen un papel principal en la distribución del calor en los océanos y la atmósfera. Además, la salinidad está directamente relacionada con el ciclo hidrológico, así, la variación de la salinidad superficial informa de la entrada y salida de agua dulce al océano resultado de la precipitación, evaporación, deshielo y escorrentía. El estudio de la temperatura y salinidad es básico para conocer la dinámica oceánica, su variabilidad a largo plazo podría indicar evidencias de cambio climático, pero también son parámetros de gran importancia desde el punto de vista de los ecosistemas.

La temperatura es una de las principales propiedades físicas que determina la distribución de los organismos marinos, su crecimiento y las zonas y épocas de puesta. Se ha observado que muchas especies se asocian a determinadas estructuras térmicas, como los frentes oceánicos (Reddy et al 1995, Bakun, 2006). Los frentes son la zona intermedia que separa diferentes masas de agua, son por tanto, zonas relativamente estrechas con marcados gradientes horizontales de sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas (Ullman & Cornillon, 1999). Los procesos que dan lugar a los frentes son diversos, pero en general se deben al encuentro de masas de agua de diferente densidad. Son estructuras de mesoescala muy comunes en el mar y su efecto en el ecosistema se debe al hecho de que cualquier frente que persiste durante un período de tiempo significativo tiene asociada una zona de convergencia (Bakun, 2006). La importancia biológica de los frentes radica en su capacidad de concentrar nutrientes y material particulado que favorecen el crecimiento fitoplanctónico. El aumento del fitoplancton no se debe únicamente a una simple acumulación en la zona frontal, sino también a que los procesos físicos asociados a la formación de frentes controlan la transferencia entre las masas de agua cada lado del frente (Pingree et al 1978), generando un aporte de nitratos en la zona frontal mucho mayor que las adyacentes (Longhurst 1998). El aumento de productividad en la zona atrae a otros organismos como peces, mamíferos y aves marinas. Los frentes térmicos también pueden actuar como



barrera limitando la dispersión de larvas de peces e invertebrados en el océano abierto (Fernández et al., 1993).

Otra estructura de mesoescala de la capa superficial de los océanos que interacciona con las comunidades planctónicas son las plumas fluviales (Santos et al., 2004). Las plumas son hábitats que también favorecen el crecimiento fitoplanctónico (Ribeiro et al. 2005, Bode et al., 2002), asegurando la supervivencia larvaria desde el punto de vista de la disponibilidad de alimento. Así, la pluma del oeste ibérico (WIBP, Peliz et al., 2002) favorece el crecimiento del fitoplancton por la presencia de nutrientes del aporte fluvial y por poseer la estabilidad necesaria para mantener al fitoplancton en la capa fótica debido a la estratificación de las aguas de tan baja salinidad. Santos et al. (2004) observaron que los huevos y las larvas se asocian a las plumas de baja salinidad, y sugirieron que las plumas pueden constituir un hábitat que favorece la retención del ictioplancton en la plataforma en condiciones de afloramiento invernal.

Los datos en continuo de los TSGs presentan una resolución espacial que permite la localización de frentes superficiales en el océano (Smith et al., 2010). La presencia de frentes determina la distribución del plancton, los huevos y larvas de peces (Fernández et al., 1993; González-Quirós et al., 2003) tanto en la costa oeste de la península ibérica como en el mar Cantábrico (Villamor et al., 2004). Así, una de las principales aplicaciones de los mapas superficiales recogidos en este atlas es la identificación de frentes térmicos y/o salinos en la región sur del mar Cantábrico, que a su vez pueden relacionarse con la presencia y/o abundancia de fitoplancton, zooplancton, ictioplancton, peces y aves marinas para la zona.

1.3 Difusión de los resultados de investigación

Desde la popularización de Internet, a finales de los 90, la investigación científica se ha visto totalmente revolucionada, no sólo porque la red ha facilitado la colaboración entre investigadores, sino porque ha supuesto un cambio en la forma de acceder a datos e información. Esta situación está obligando a la comunidad científica a continuos esfuerzos a la hora de hacer accesibles los resultados de las investigaciones a públicos más amplios. Así, la sociedad actual demanda velocidad en la transmisión de las novedades científicas y una forma visualmente cercana de presentar la información que

facilite su comprensión, también por parte de un público no especializado que cubre áreas tan diversas como las comunidades educativas, el sector turístico, o los gestores ambientales, por citar algunos ejemplos. Esto impone al científico un nuevo aprendizaje respecto a como transmitir los resultados de su investigación. Además si el científico consigue interesar a investigadores de otras áreas y gestores en su trabajo, se abrirán nuevas vías de colaboración y de desarrollo, tanto de la ciencia *per se*, como de aplicaciones que den solución a problemas concretos. Esta línea está en total concordancia con la vigente ley de la ciencia (Ley 14/2011, BOE 01/06/2011) que pretende favorecer el desarrollo de una investigación científica de calidad donde se primen la I+D+I de forma conjunta y coordinada.



2. OBJETIVOS

En este trabajo se han analizado los datos de temperatura y salinidad superficial registrados en continuo por el B/O José Rioja durante aproximadamente una década. Los objetivos que se buscan con ello son:

- Realizar el control de calidad de los datos desde el comienzo del registro con el fin de validar la serie.
- Establecer una metodología de control de calidad de los datos lo más automática posible y de sencilla aplicación a los registros que se vayan generando en el futuro.
- Incorporar los datos controlados a las bases de datos permanentes existentes asegurando, así su disponibilidad y salvaguarda actual y futura.
- Realizar mapas que muestren la variabilidad espacio-temporal de la zona costera del mar Cantábrico.
- Facilitar el acceso a la información generada a investigadores y público general a través de una página web de libre acceso.

3. MATERIAL

3.1 Plataforma

El B/O Jose Rioja es uno de los barcos del IEO, tiene su base en Santander y está dedicado a realizar los muestreos costeros en el Cantábrico. Su calendario de actividad depende de los distintos proyectos que se estén llevando a cabo, así como de los condicionantes impuestos por su mantenimiento y las condiciones meteorológicas.



Figura 1. El B/O José Rioja de 15.8 m de eslora y 1.1 m de calado realizando trabajos oceanográficos en la bahía de Santander.

3.2 Instrumentación

La temperatura y salinidad superficial del mar se mide en continuo con el TSG SBE21 (Figura 2). Este aparato tiene los sensores de temperatura y conductividad alojados en una carcasa de plástico que se conecta a la toma de agua de mar del barco. Se alimenta externamente con corriente alterna, tiene un puerto RS-232 para la comunicación y otro para conectar un sensor de temperatura secundario. Además posee una memoria interna para grabar los datos, si se desea, y un puerto NMEA 0183 para incorporar la información

de la navegación a cada una de las observaciones. Los datos se registran en tiempo presente en un ordenador del barco.



Figura 2. TSG instalado en el B/O José Rioja (cilindro blanco). Lleva un desburbujador (flecha azul) para eliminar las burbujas que se forman al pasar por el circuito de aspiración, que afectan principalmente a la determinación de la salinidad. El cilindro negro es un fluorómetro.

El TSG instalado a bordo del B/O José Rioja, tiene 2 sensores de temperatura, el primario alojado dentro de la carcasa del aparato junto con el sensor de conductividad (precisión inicial de 0.01°C y 0.001 S m^{-1} , resolución 0.001°C y 0.0001 S m^{-1} , estabilidad de $0.02^\circ\text{C año}^{-1}$ y 0.001 S mes^{-1} , respectivamente), y el secundario, un SBE3, situado en la entrada de agua de mar de barco (precisión inicial de 0.01°C , resolución 0.001°C , estabilidad de $0.02^\circ\text{C año}^{-1}$). El circuito del sistema es el siguiente: el agua entra por la toma de agua de mar del barco situada en la zona central del casco aproximadamente a 1 m de la superficie, pasa por el sensor de temperatura secundario y luego por la bomba de aspiración situada en la sala de máquinas que lleva el agua hasta el sensor de temperatura primario y el de conductividad dentro de la carcasa del TSG.

Se necesitan 2 termistores porque la temperatura del agua cambia durante su recorrido desde la entrada hasta el TSG, de forma que la temperatura medida por el sensor primario no representa la temperatura del agua superficial del mar. Así, el sensor de temperatura externo, el situado en la entrada de la toma de agua, nos informa de la temperatura superficial del agua de mar. Mientras que el interno, alojado dentro de la

carcasa, se utiliza para calcular la salinidad. La conductividad tiene una fuerte dependencia con la temperatura que hace necesario conocer la temperatura en el momento en que se mide la conductividad para poder calcular correctamente la salinidad.

3.3 Cobertura espacio-temporal

La cobertura del atlas está determinada por los trabajos de investigación realizados por el B/O José Rioja puesto que los datos se registran en continuo tanto durante los muestreos como en las rutas de navegación. En la actualidad, el B/O José Rioja realiza trabajos en Cantabria, para el Centro Oceanográfico de Santander y la Universidad de Cantabria, y en Asturias para el Centro Oceanográfico de Gijón y la Universidad de Oviedo.

El atlas abarca un periodo de aproximadamente 10 años, desde la instalación del TSG en octubre de 2002 hasta diciembre de 2011. En la Figura 3 se muestra la distribución temporal de los registros. La falta de datos en el periodo agosto-octubre de 2003 corresponde a una reparación del instrumento, y los periodos de octubre-2005 y mayo-2008 a varadas de mantenimiento del buque.

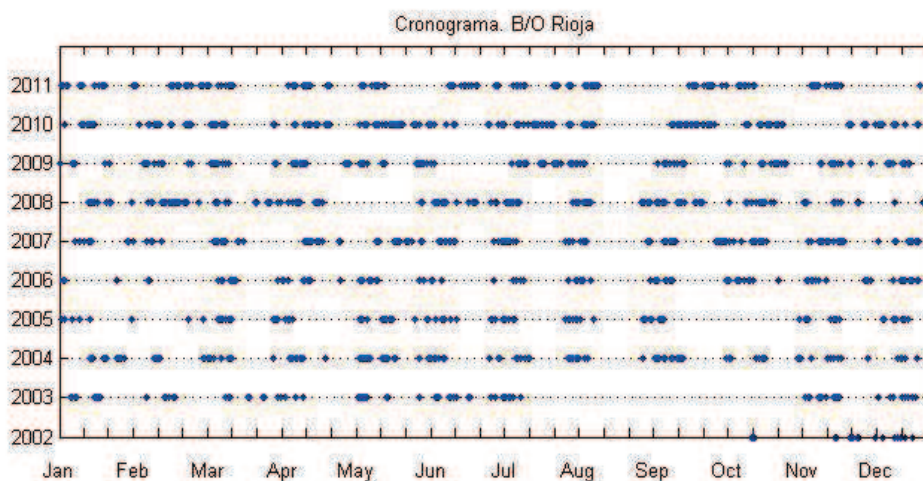


Figura 3. Distribución temporal de los registros del TSG para el periodo de estudio (octubre de 2002 – diciembre de 2011). Se puede observar que hay observaciones para prácticamente todos los meses.



La máxima área cubierta por este atlas abarca la zona costera del mar Cantábrico entre Ribadeo, al oeste de Asturias, y Castro Urdiales, al este de Cantabria (Fig. 4). Sin embargo la cobertura estándar está limitada a la zona entre Cudillero y Santander.

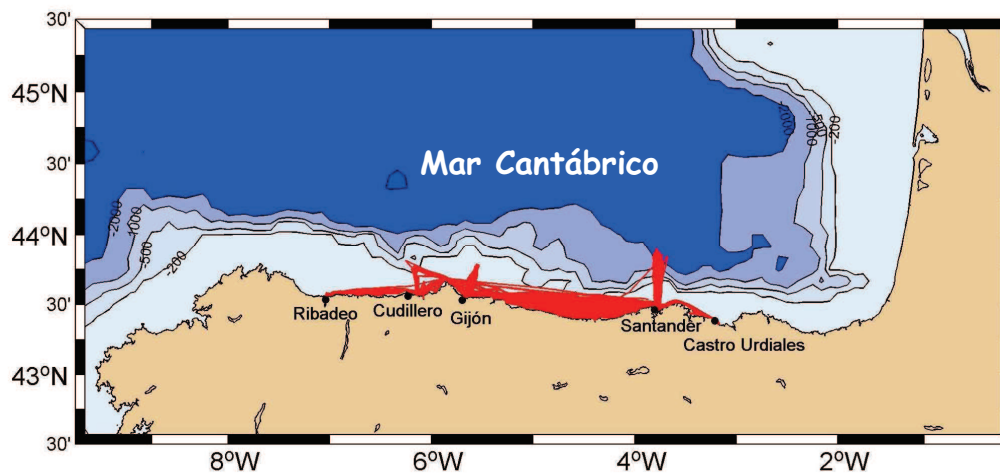


Figura 4. Mapa que muestra la posición de todas las observaciones recogidas en el atlas. En rojo los tránsitos realizados por el barco, los perpendiculares a la costa corresponden con los radiales de Cudillero, Gijón y Santander y los paralelos las rutas de navegación y los muestreos de calidad de agua que son muy costeros. Se muestran las isóbatas de 200, 500, 1000, 2000 y 5000 m.

La distribución de los registros no es temporal ni espacialmente uniforme desde el punto de vista del número de registros y área cubierta mensualmente debido a que las salidas a la mar de un barco tan pequeño están fuertemente condicionadas por el estado de la mar y la meteorología. Además hay que tener en cuenta que las prioridades de los muestreos han cambiado a lo largo de los años en el marco de los distintos proyectos de investigación que se realizan. La periodicidad establecida de los muestreos es mensual para los radiales de Santander, Gijón y Cudillero, y trimestral en los muestreos de calidad de agua.

3.4 Datos

La temperatura y salinidad superficial del agua de mar se muestrean cada 10s y se registran en tiempo presente en un ordenador a bordo. Periódicamente, generalmente a principios de mes, se graban los archivos del mes anterior para su procesado en el laboratorio.

Se han procesado 1 039 archivos, que ocupan 39.5 Mb en bruto y 119 Mb en ASCII, y contienen un total de $\sim 1.36 \cdot 10^6$ registros de datos cada 10s, es decir, alrededor de 157.5 días (0.43 años) de medidas de temperatura y salinidad superficial del mar.



4. MÉTODOLÓGÍA

Los datos registrados en formato hexadecimal por el TSG se convierten a formato ASCII con el software proporcionado por la propia casa Seabird (SBE Data Processing, v7.18c) mediante el fichero de configuración correspondiente. Los archivos ASCII del TSG contienen una cabecera que informa del contenido del archivo, y los datos registrados: tiempo transcurrido, posición, temperatura de los 2 sensores y salinidad.

Las rutinas para aplicar el control de calidad se han desarrollado con MatLab, este lenguaje también se utiliza para el tratamiento, interpolación y visualización de los datos. El archivo resultante tras el control de calidad se almacena en la base de datos del IEO y la difusión de los resultados se pretende realizar a través de Internet, utilizando los softwares gratuitos HTML-Kit y Kompozer para diseñar la web manteniendo el formato ya definido en otras webs del IEO. En la Figura 5 se muestra un esquema del tratamiento de los datos.

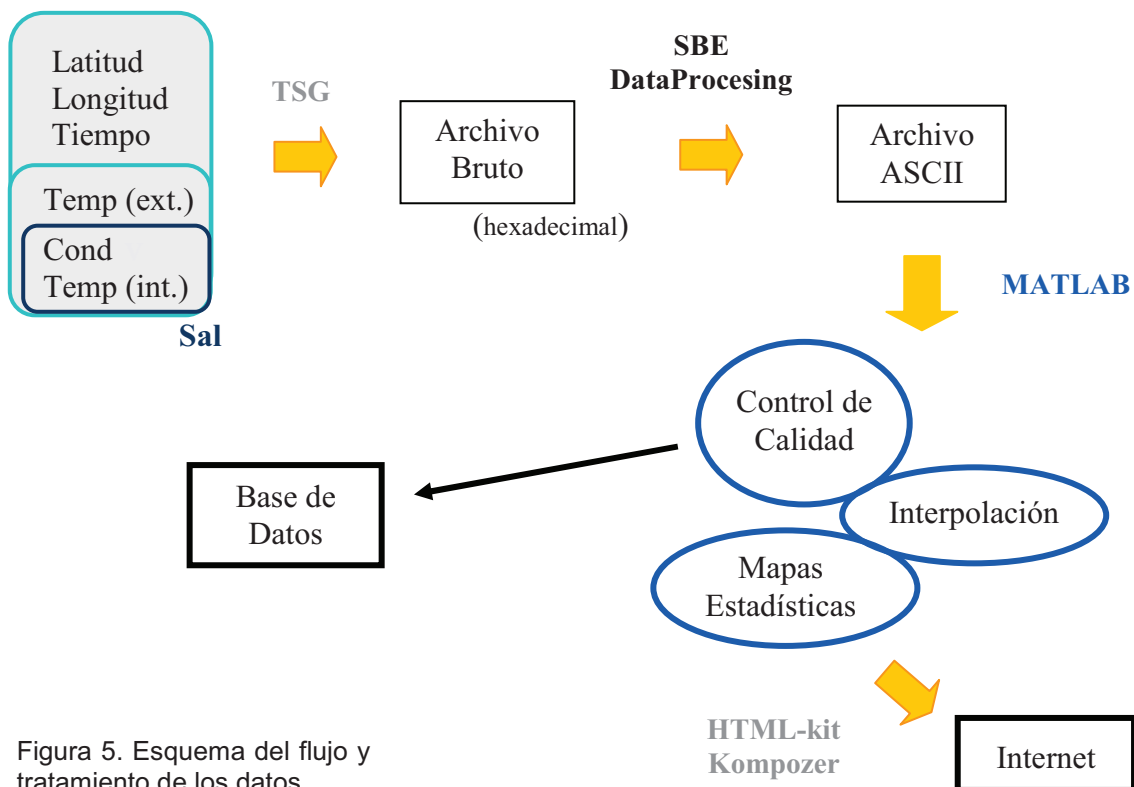


Figura 5. Esquema del flujo y tratamiento de los datos.

4.1 Control de Calidad

El diseño del control de calidad se ha basado en los test establecidos por GOSUD y Ferrybox. Este proceso consiste en aplicar una serie de tests al conjunto de los datos para asignar a cada observación un código ('flag' de calidad) que nos informa de la validez de esa observación. Los 'flags' o marcadores del control de calidad son imprescindibles para la difusión de los datos porque informan de su fiabilidad, facilitando así el uso de los datos por terceros. Se utiliza la misma escala que la recomendada por SeaDataNet para el procesado de datos en modo diferido (Tabla 1), puesto que es ampliamente empleada en oceanografía (UNESCO-IOC, 2010; CEC/DG XII, MAST y IOC/IODE, 1993).

Tabla 1. Significado de los códigos de calidad estándar de SeaDataNet basados en los utilizados por IGOSS/UOT/GTSPP y Argo.

Código	Significado
0	Sin control de calidad
1	Dato bueno
2	Dato probablemente bueno
3	Dato erróneo, pero probablemente corregible
4	Dato erróneo
5	Dato Cambiado
6 - 7	Valores no utilizados
8	Valor interpolado
9	Dato perdido



El Control de Calidad se ha diseñado en 2 etapas. En la primera se somete a los datos a un control preliminar básico totalmente automático, a continuación se aplican otra serie de tests más específicos de la región de estudio y entre ellos, algunos requieren la inspección visual para determinar la calidad de las observaciones. Un paso previo a la aplicación de los test consiste en eliminar los primeros minutos del registro ya que corresponden con el periodo de atemperamiento de los sensores.

Control de calidad preliminar

El control preliminar se considera básico porque si alguno de los test falla indica que hay un error grave en el registro y por tanto hay que descartarlo en su totalidad. Su objetivo es eliminar errores en la fecha, en la posición y en el funcionamiento general de los sensores. En este primer paso se aplican los siguientes tests:

1. **Test de fecha**: verifica que todas las observaciones llevan asociados los datos de hora y día del muestreo y que la hora de muestreo va aumentando 10s entre observaciones consecutivas. Es un control que corrige errores en el reloj del TSG. Si falla hay que eliminar todo el registro porque los datos no tienen una referencia temporal válida.
2. **Test de posición**: como es esencial que las medidas de temperatura y salinidad estén correctamente georreferenciadas, primero comprueba que todos los datos tienen asociada una posición, eliminando los registros que carecen de ella. A continuación se realiza otro test para detectar si la posición permanece constante durante varias observaciones consecutivas, si es así se eliminan los registros porque indican un mal funcionamiento del GPS o que el barco está parado en puerto y el TSG se ha quedado encendido.
3. **Test del rango global de las variables**: determina que las observaciones tienen unos valores físicamente posibles para la variable medida. Se eliminan los registros que tienen valores de las variables fuera de los siguientes rangos:

Latitud: $\pm 90^\circ$

Temperatura: -3° y 35° C

Longitud: $\pm 180^\circ$

Salinidad: 0 y 40 psu



4. **Test de Duplicados:** localiza registros con la misma hora y posición y elimina todos excepto el primero.
5. **Test de valores constantes:** localiza registros consecutivos con idéntico valor para las observaciones de los 2 sensores de temperatura y el de conductividad y elimina todos excepto el primero.

El procedimiento de eliminación del registro cuando falla alguno de los test anteriores consiste en asignar el código de dato erróneo, 4 (ver Tabla 1) a todas las variables, porque estos controles son básicos. Conviene aclarar que a lo largo del texto cuando se habla de eliminar registros se refiere a que se inutilizan para los siguientes análisis, pero los datos no se borran.

Control de calidad secundario

En esta segunda etapa del control de calidad los 3 primeros test también son básicos, es decir que si fallan hay que eliminar toda la línea de registro ('flag' 4 para todas las variables) porque evalúan la posición de las observaciones. Sin embargo en los demás solo se asigna el código de dato malo a las variables que no superan el test porque estos últimos están dirigidos a verificar el comportamiento de los sensores.

1. **Test regional de la posición:** comprueba que la posición de las observaciones está dentro de los límites del área de trabajo del barco: entre 43° y 44° N de latitud y entre 3° y 8° W de longitud.
2. **Test de velocidad:** la distancia recorrida entre 2 observaciones no puede ser mayor a la permitida por la máxima velocidad que puede alcanzar el barco. Mediante este test se eliminan los registros en los que se sobrepasa la distancia correspondiente a una velocidad de 14 kn.
3. **Test de la trayectoria:** mediante este test se verifica que la trayectoria del barco es posible, es decir que la posición de las observaciones está en el mar y que coincide con la ruta del barco, por tanto requiere inspección visual. Para determinar si las posiciones están sobre tierra o mar se utiliza la línea de costa de alta resolución



GSHHS (Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Shoreline Database, Wessel and Smith, 1996)

4. **Test de revisión del atemperamiento:** consiste en una inspección visual de la evolución temporal de los datos de temperatura y salinidad para ver si es necesario eliminar más observaciones al comienzo del registro a causa del atemperamiento de los sensores.
5. **Test regional de temperatura y salinidad:** evalúa la validez de los valores de temperatura y salinidad para la zona, se realiza mediante inspección visual determinando los valores máximos y mínimos a partir de la posición y época de las observaciones.
6. **Test de 'spikes':** identifica valores de temperatura o salinidad muy distintos en comparación con el valor anterior y el posterior y los elimina porque no es posible que esa diferencia sea real. Este test se define mediante la siguiente expresión:

$$\left| V_i - \frac{(V_{i+1} + V_{i-1})}{2} \right| - \left| \frac{V_{i+1} - V_{i-1}}{2} \right|$$

donde i es la observación que está siendo evaluada, $i+1$ la siguiente y $i-1$ la anterior.

Se considera que falla si es mayor de 6° C para la temperatura, y de 0.9 psu para la salinidad.

7. **Test de gradiente:** identifica diferencias demasiado grandes entre observaciones consecutivas que no pueden explicarse por la existencia de un gradiente en la zona. Este test se define mediante la siguiente expresión:

$$\left| V_i - \frac{(V_{i+1} + V_{i-1})}{2} \right|$$

donde i es la observación que está siendo evaluada, $i+1$ la siguiente y $i-1$ la anterior.

Se considera que falla si es mayor de 9° C para la temperatura y de 1.5 psu para la salinidad.

8. **Test de comparación con la media:** este test compara el valor de cada observación con el de la media de las observaciones de ± 3 intervalos de muestreo. Se considera que falla si la diferencia es mayor de 2 veces la desviación estándar del mismo periodo (± 3 intervalos de muestreo).
9. **Test de valores aislados:** elimina las observaciones que han quedado aisladas después de aplicar todos los test. Se considera que un valor está aislado si las 3 observaciones anteriores y posteriores han sido eliminadas.

Realizados todos los test del control de calidad se aplica a los datos un filtro para suavizar la señal y eliminar las altas frecuencias. Se ha utilizado el filtro de Godin (1972), que es uno de los filtros de medias móviles más sencillos y a la vez más utilizados en oceanografía física. Se aplica el filtro A_3A_3 para obtener los datos filtrados a 30s y se les vuelve a ejecutar el control de calidad completo para corregir posibles errores debidos al cálculo de la media móvil.

Comparación con otros datos

A continuación se procede a comparar los valores registrados por el TSG con las muestras de salinidad y las estaciones de CTD disponibles. Durante la vigencia del proyecto Ferrybox periódicamente se tomaron muestras para la determinación de salinidad, mayoritariamente en las rutas de navegación, sin embargo una vez que finalizó también cesó la toma de muestras. Como resultado entre mayo de 2003 y agosto de 2005 se tomaron 588 muestras de salinidad, y el resto un total de 10 corresponden a abril y noviembre de 2011. La comparación es directa entre el resultado de las determinaciones de salinidad y el valor de salinidad registrado por el TSG en el momento de la toma de muestra.

Para la comparación con los perfiles del CTD se han utilizado los archivos disponibles de las estaciones de la sección de Santander tomando los valores de temperatura y salinidad a 1m de profundidad, ya que la toma de agua del barco está aproximadamente a esa distancia de la superficie del mar. En este caso la elección de la pareja de valores para la comparación se ha hecho a partir de la posición de las estaciones, principalmente



debido a que hasta diciembre de 2006 los muestreos con el CTD y el TSG no eran simultáneos en el tiempo, las estaciones de CTD se realizaban a la ida y el TSG se encendía a la vuelta. Aunque los resultados hasta diciembre de 2006 no se sirven para calibrar el sensor, sí permiten detectar comportamientos anómalos de los sensores.

A partir de los resultados de las comparaciones se determina si los registros se consideran válidos, si se pueden corregir tras aplicar un *offset* o por el contrario si hay que descartarlos; y se les asignan los correspondientes marcadores de calidad (1, 3 ó 4, respectivamente - tabla1). El archivo resultante con la información de la fecha, latitud, longitud, temperatura, incluyendo la del sensor interno, y salinidad de todas las observaciones del TSG desde octubre de 2002 hasta diciembre de 2011 se transforma al formato MEDAR para almacenarlo en la base de datos del IEO que está estandarizada a nivel europeo.

4.2 Cálculo de promedios y elaboración de series temporales

A pesar de la naturaleza tan costera de este altas, se ha considerado interesante calcular los promedios mensuales de la temperatura y salinidad superficial para tener una idea de la variabilidad temporal y espacial. Para ello se han calculado los promedios mensuales, y su desviación estándar, para cada año considerando 3 zonas: el área total cubierta por atlas, la región del radial de Santander para representar la zona Este y la región de los radiales de Cudillero y Gijón, representando la zona Oeste.

4.3 Análisis espacial y metodología de interpolación

La presentación de los resultados se realiza a través de mapas horizontales que permiten observar las variaciones espaciales de la temperatura y salinidad superficial del mar. Se han elaborado 2 tipos de mapas unos representan los valores observados a lo largo de la trayectoria del barco, y los otros los valores interpolados para la zona de estudio. Se ha utilizado la proyección Mercator para construir los mapas, y los valores de las variables se muestran mediante una escala de color.

Los mapas de valores observados agrupan los datos registrados durante cada mes. La escala de color es fija en los mapas mensuales de salinidad superficial de mar para facilitar la comparación visual. La alta variabilidad anual de la temperatura ($\sim 14^\circ \text{C}$) no permite identificar estructuras si se mantiene una escala anual, por ello, en los mapas mensuales de temperatura superficial del mar se han definido escalas de color estacionales. Para los mapas interpolados la escala de color es variable, se define para cada uno de forma individual. Mediante Análisis Objetivo (en adelante, AO) se han obtenido mapas anuales y estacionales de la temperatura y salinidad superficial del mar, así como los correspondientes mapas de errores de las estimaciones. Para el 2002 no se han creado los mapas anuales puesto que solamente hay 3 meses de registros. Como no hay datos suficientes para obtener un buen resultado en la representación de mapas mensuales de cada año, se ha elaborado mapas mensuales agrupando los datos para ese mes de los distintos años.

Metodología de interpolación

Una cuestión clave en la elaboración del atlas es cómo transformar la información de la trayectoria seguida por el barco en una malla sistemática con un valor para cada celda o cuadrícula. Dada la distribución de los datos del TSG del B/O José Rioja se ha optado por utilizar el AO.

El AO es una técnica que partiendo de datos con distribución heterogénea, obtiene el valor estimado para cada una de las cuadrículas de la malla que va a dar lugar al mapa. La base de este método es el teorema de Gauss-Markov que proporciona una forma sistemática de producir mapas en rejilla, utilizando la función de covarianza del campo de datos observados. El suavizado de Gauss-Markov es óptimo en el sentido en que minimiza el error cuadrático medio entre las observaciones y las estimaciones. Este método fue utilizado por primera vez por Gandin (1965) para analizar campos de presión atmosférica y de viento. En oceanografía, esta técnica fue introducida por Bretherton et al (1976) para determinar mapas de temperatura óptima y velocidad de corriente. Posteriormente fue aplicada para producir mapas de corrientes del Atlántico Noroccidental (Freeland y Gould, 1976) entre otras. Carter (1983) extendió el uso del AO al considerar de forma separada las distancias en el eje X y en el eje Y, así como



incorporando la componente temporal, lo cual permitió realizar mapas a partir de observaciones de diferentes lugares y tomadas en momentos diferentes.

Como el estimador utilizado es lineal y consiste en una suma ponderada en función de la distancia entre el nodo y las observaciones dentro de un radio de influencia, el AO produce mapas que suavizan las características del campo original. Esto es, si un punto observado coincide con un nodo de la rejilla, el valor observado y el interpolado probablemente no sean iguales debido a la presencia de ruido en los datos. El grado de suavizado viene determinado por las características de la señal y el error de las funciones de covarianza. La teoría del AO además permite conocer, de forma específica el error cometido al interpolar los valores en un punto dado. El desarrollo matemático completo de la teoría puede consultarse en Emery y Thompson (2001).

La elección del tamaño de las cuadrículas de la malla de interpolación siempre es un compromiso entre el área a interpolar y la información disponible, si es demasiado grande las estimaciones obtenidas no representan la realidad, pero si es muy pequeño muchas celdas quedarían vacías. Para este trabajo se ha escogido un tamaño de malla de $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ (que corresponde aproximadamente a 4×5.5 km). La malla resultante para la zona de estudio se muestra en la Figura 6.

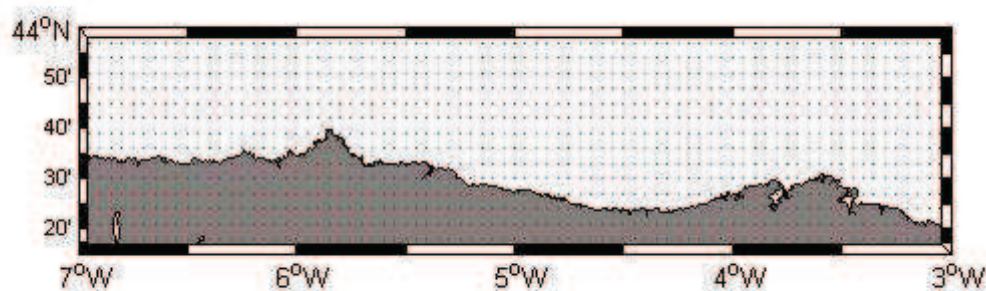


Figura 6. Malla de interpolación aplicada a los datos ($0.05^\circ \times 0.05^\circ$)

4.4 Diseño y desarrollo de la página web

Aunque los comienzos del desarrollo de las páginas web fueron ligeramente diferentes, en la actualidad la tendencia más seguida es separar totalmente el contenido de la página web (hospedado en uno o varios documentos HTML) del formato, que se aloja en las llamadas hojas de estilo (CSS). Esto permite actualizar los formatos de la web sin tener que reescribir todo el código, permite estilos uniformes y más sencillos de depurar y hace que las páginas web pesen menos, facilitando su carga por parte del usuario.

Se pretende alojar los resultados de este trabajo en la web del IEO, origen de los datos utilizados en este trabajo, por ello se ha mantenido el formato ya definido y que se está implantando en distintas webs institucionales. Así se ha simplificado la tarea de diseño de la web, lo que ha permitido agilizar su desarrollo. No se ha modificado la hoja de estilo existente y se ha buscado un diseño de la web que permita cumplir con la *regla de los tres clicks*, que sostiene que cualquier persona que pretenda usar nuestra página debería ser capaz de acceder a la información que busca en tan sólo tres clicks desde la página de inicio (Zeldman, J 2001). Esta regla ayuda a crear sitios web intuitivos y con estructuras bien jerarquizadas, aunque haya diversas opiniones sobre si ayuda o no a realizar búsquedas *on-line* exitosas.



5. DISCUSIÓN y RESULTADOS

Los TSGs son instrumentos diseñados para trabajar en continuo mientras los barcos navegan, por tanto la cobertura del atlas está condicionada a los trabajos realizados por el B/O José Rioja. La Figura 7 refleja claramente que hay aproximadamente el triple de observaciones en las longitudes que corresponden con los radiales de Cudillero, Gijón y Santander (en torno a 6.2° W, 5.7° W y 3.8° W, respectivamente) que las de las rutas de navegación. El radial de Santander es el que tiene mayor número de datos porque es el más extenso, mientras que los otros dos son similares. También se observa que la frecuencia de los muestreos de calidad de agua es mucho menor, debido a que su periodicidad es trimestral y no comenzaron hasta finales de 2006. Además en el caso del muestreo de Asturias que llega hasta Ribadeo, finalizó en 2010.

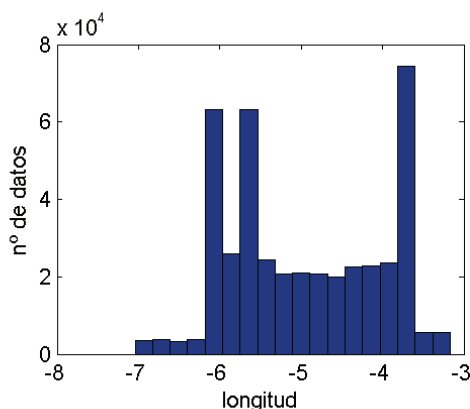


Figura 7. Distribución espacial de la cobertura del atlas respecto a la longitud desde octubre de 2002 hasta diciembre de 2011.

En la Figura 8 se muestra la distribución temporal de atlas, si se observa la anual llama la atención que a partir de 2007 se duplican los registros. Esto es debido a que hasta ese momento solo se muestreaba con el TSG en el trayecto de ida o en el de vuelta del los radiales, aquel en el que no se trabajaba con el CTD. El año con mayor frecuencia de muestreo ha sido el 2010, probablemente debido a que se realizaron una serie de campañas adicionales enfocadas al estudio de la abundancia y distribución de huevos y larvas de anchoa. En cuanto a la distribución mensual se observa que los meses con

menor intensidad de muestreo son enero, febrero y diciembre puesto que las condiciones oceanográficas y meteorológicas suelen ser adversas. Los valores de agosto son comparables a los de diciembre probablemente debido a que es el periodo de vacaciones de la dotación y el barco solo está operativo una quincena del mes.

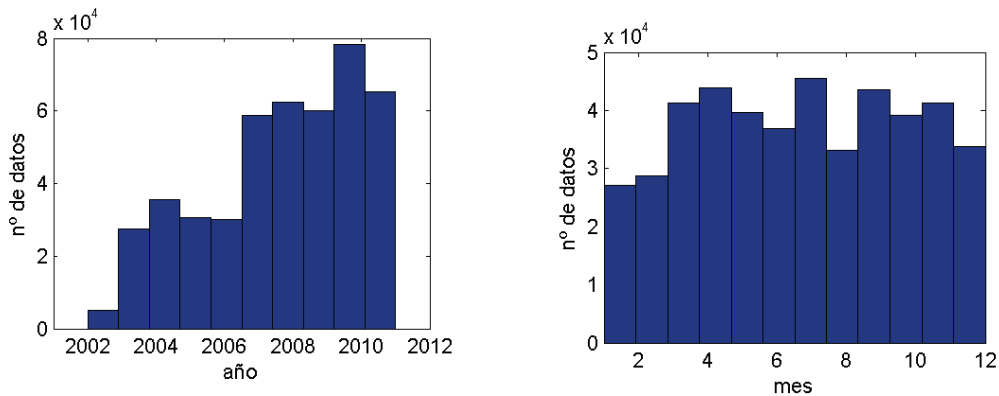


Figura 8. Distribución temporal anual (izquierda) y mensual (derecha) de los datos desde octubre de 2002 hasta diciembre de 2011.

5.1. Control de Calidad

En la difusión de datos oceanográficos resulta imprescindible que estos se hayan sometido a un control de calidad que asegure su validez. El control de calidad aplicado en este trabajo se ha desarrollado a partir de las recomendaciones de GOSUD puesto que uno de sus objetivos es establecer un protocolo internacional de control de calidad para los datos superficiales registrados desde barcos en movimiento. Las recomendaciones se han adaptado a las necesidades particulares del estudio (Figura 9), así la identificación de la plataforma no ha sido necesaria porque solamente disponemos de datos de un único barco, el B/O José Rioja.

Se ha optado por dividir el control de calidad en 2 etapas para separar las rutinas totalmente automáticas, que no precisan revisión, de las que requieren una intervención manual e inspección visual para determinar la calidad de las observaciones. En el control preliminar se revisa el comportamiento de los sensores, del GPS y del reloj desde un



punto de vista general para determinar si los valores son físicamente posibles, por eso si alguno de ellos falla, invalida toda la línea de registro. El control de calidad secundario está enfocado a evaluar si los valores registrados, a pesar de ser físicamente válidos, son posibles para la zona y época de estudio.

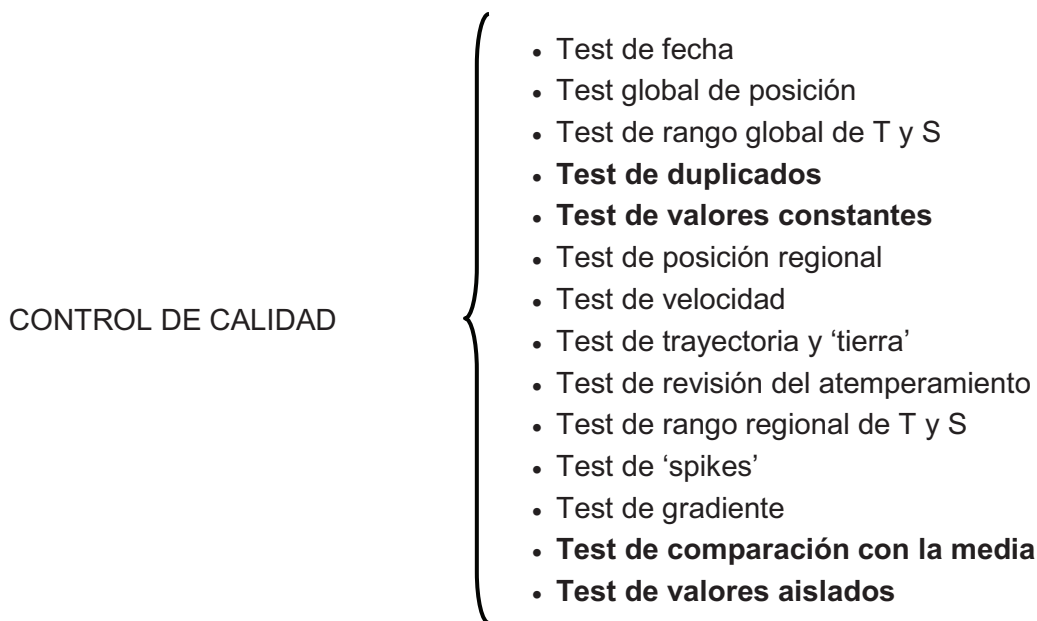


Figura 9. Esquema del control de calidad aplicado, se han resaltado en negrita los controles adicionales a los recomendados por GOSUD.

Antes de aplicar los controles de calidad se procede a eliminar los registros correspondientes al periodo de atemperamiento de los sensores, ya que la señal tarda unos minutos en estabilizarse. Se ha observado que cada uno de los sensores tiene un comportamiento diferente, por ello se ha adaptado el número de datos eliminados al tiempo de respuesta del sensor. Hay que eliminar aproximadamente el doble de datos de salinidad superficial del mar que de temperatura (Figura 10a). Aunque el sensor de temperatura primario atempera antes que el de conductividad se elimina el mismo número de registros para ambos porque los datos de este sensor de temperatura solo se utilizan para calcular la salinidad. En ocasiones, se ha observado que es necesario eliminar más datos de salinidad al comienzo del registro. Esto puede deberse a que la limpieza del TSG con agua dulce tras su uso no se ha realizado correctamente o no ha sido suficiente

para eliminar totalmente el agua salada, de forma que al evaporarse el agua, la sal cristaliza en la célula de conductividad impidiendo una lectura correcta en el siguiente muestreo hasta que no se elimina completamente el resto de sal depositado. Como consecuencia de esto, el sensor necesita más tiempo para dar una medida coherente (Figura 10b). En ocasiones se ha observado lo contrario, queda agua dulce en la célula que provoca que el sensor tarde más en medir la salinidad correctamente (Figura 10c). Para corregir este comportamiento anómalo principalmente del sensor de conductividad se ha implementado el test de revisión del atemperamiento.

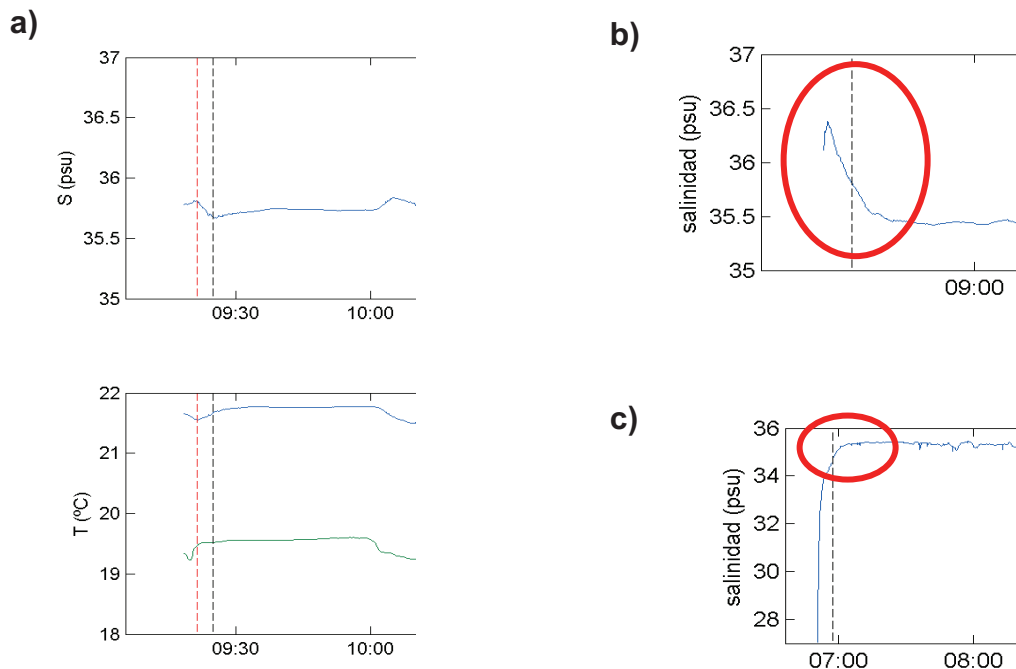


Figura 10. Detalle de los primeros minutos de muestreo del TSG antes del control de calidad. (a) Registro del sensor de salinidad (arriba) y de los sensores de temperatura (abajo, en verde el externo y en azul el interno), (b) y (c) solo el registro de salinidad. La línea discontinua roja vertical indica que han pasado 3min desde la puesta en marcha del TSG y la negra ~ 6.5min.

En el test de duplicados y de valores constantes se mantiene el primer registro porque *a priori* se considera que el reloj, GPS y/o los sensores han fallado después. En caso contrario, que ese registro también fuera erróneo, se puede corregir durante la aplicación de posteriores test. En el test de velocidad se han tomado 14 kn como el límite máximo que puede alcanzar el barco, para tener en cuenta el efecto de las corrientes y el viento, que pueden actuar en la dirección de avance del barco aumentando la velocidad máxima que puede alcanzar la máquina. Los valores límites para determinar 'spikes' y gradientes de temperatura y salinidad superficial no válidos son los mismos que los utilizados por la AOML/NOAA para controlar los datos de los TSG instalados en su flota y en los barcos del programa oportunidad (SOOP).

Los 2 últimos tests de control de calidad no aparecen en las recomendaciones de GOSUD, pero dada la naturaleza tan costera de la zona de estudio, se ha considerado necesario implementarlos, en particular el test de la comparación con la media. En último lugar se aplica el test de valores aislados porque, tras ejecutar todos los test, se considera de validez dudosa un valor que haya quedado aislado de otras observaciones válidas. El filtro de Godin se aplica después del control de calidad para evitar tomar como válidos datos erróneos, puesto que el filtro podría suavizar datos anómalos.

En la Figura 11 se muestra el resultado del control de calidad, como se puede observar la salinidad es la variable con mayor número de datos erróneos de todas las medidas. Aproximadamente el 20 % de los datos de salinidad no superan el control de calidad frente al 5% para la latitud, longitud y temperatura externa y 6% de la temperatura interna. Cabe resaltar que no se han detectado fallos en el reloj.

El relativamente elevado número de datos erróneos de salinidad refleja la sensibilidad de la célula de conductividad. De hecho, al trabajar con equipos que también tienen sensores de conductividad, como los CTDs, el fabricante aconseja evitar el muestreo en los primeros metros de la columna de agua por la posible presencia de compuestos, como hidrocarburos y aceites, que ensucian el sensor. Debido a ello, el atemperamiento de los CTDs suele realizarse a unos 3m de profundidad. En general, la acumulación de sustancias que pueden alterar el correcto funcionamiento del sensor de conductividad es mayor en las zonas costeras por la proximidad a los núcleos urbanos. De ahí, la importancia de no poner en marcha el aparato en el puerto o en el interior de bahías o

ríos. La interfase agua-aire es otra zona de potencial presencia de contaminantes que pueden entrar en el circuito del TSG del Rioja, durante el cabeceo de un barco de tan poco calado (1.1m máximo) a causa del oleaje.

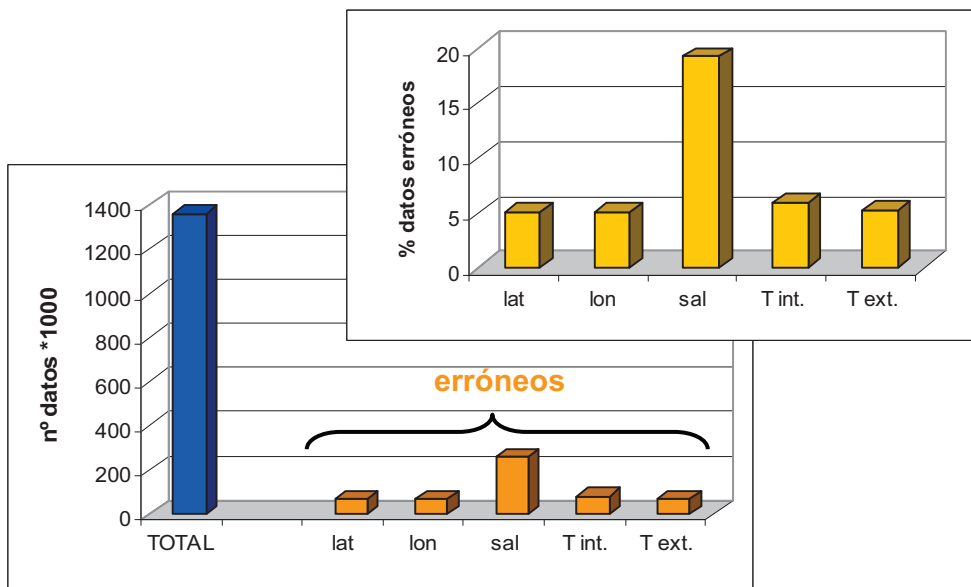


Figura 11. Gráfico que refleja el número total de observaciones analizadas (barra azul) y el número de datos erróneos para las distintas variables (naranja). En el gráfico superior se ha representado en detalle el porcentaje de datos no válidos para cada variable.

La sensibilidad de sensor de conductividad se manifiesta mediante la deriva de las medidas de salinidad hacia valores cada vez más bajos (Figura 12). Fenómeno que se ha observado principalmente en las navegaciones entre Santander y Gijón, y podría deberse a que durante este recorrido el barco atraviesa las plumas de ríos que contienen sustancias que interfieren en la medida del sensor. Así, en la validación de datos de salinidad de zonas tan costeras es importante tener presente que la influencia de las plumas de los ríos puede extenderse hacia mar adentro más de lo habitual debido al efecto de las mareas y/o el viento.

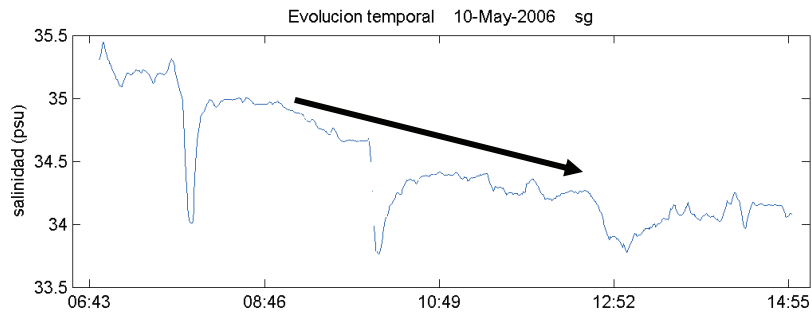


Figura 12. Registro de salinidad durante la navegación de Santander a Gijón que muestra la deriva hacia valores cada vez más bajos.

Los resultados de la comparación de los datos del TSG con las muestras de salinidad (Figura 13a) y estaciones de CTD (Figura 13b) disponibles no muestran un patrón o tendencia que permita aplicar la misma corrección a todo el conjunto de los datos. Nuevamente, esto es debido a que la naturaleza tan costera de las medidas junto con la toma de agua tan somera del barco (entre 0.5 y 1m de la superficie) limitan el buen funcionamiento del sensor de conductividad.

Dada la variabilidad de las diferencias y la ausencia de una tendencia clara que permita establecer una línea de calibrado, se recomienda corregir los archivos de forma individualizada por zonas de muestreo. En un futuro, puesto que escapa al ámbito de este trabajo, habría que recopilar los perfiles de los CTDs realizados en los radiales de Cudillero y Gijón para realizar las correspondientes comparaciones. De forma que las aplicaciones del presente atlas se limitan a la identificación de las principales estructuras horizontales de la zona, los frentes térmicos y las plumas fluviales, y a una descripción cualitativa de la variabilidad geográfica.

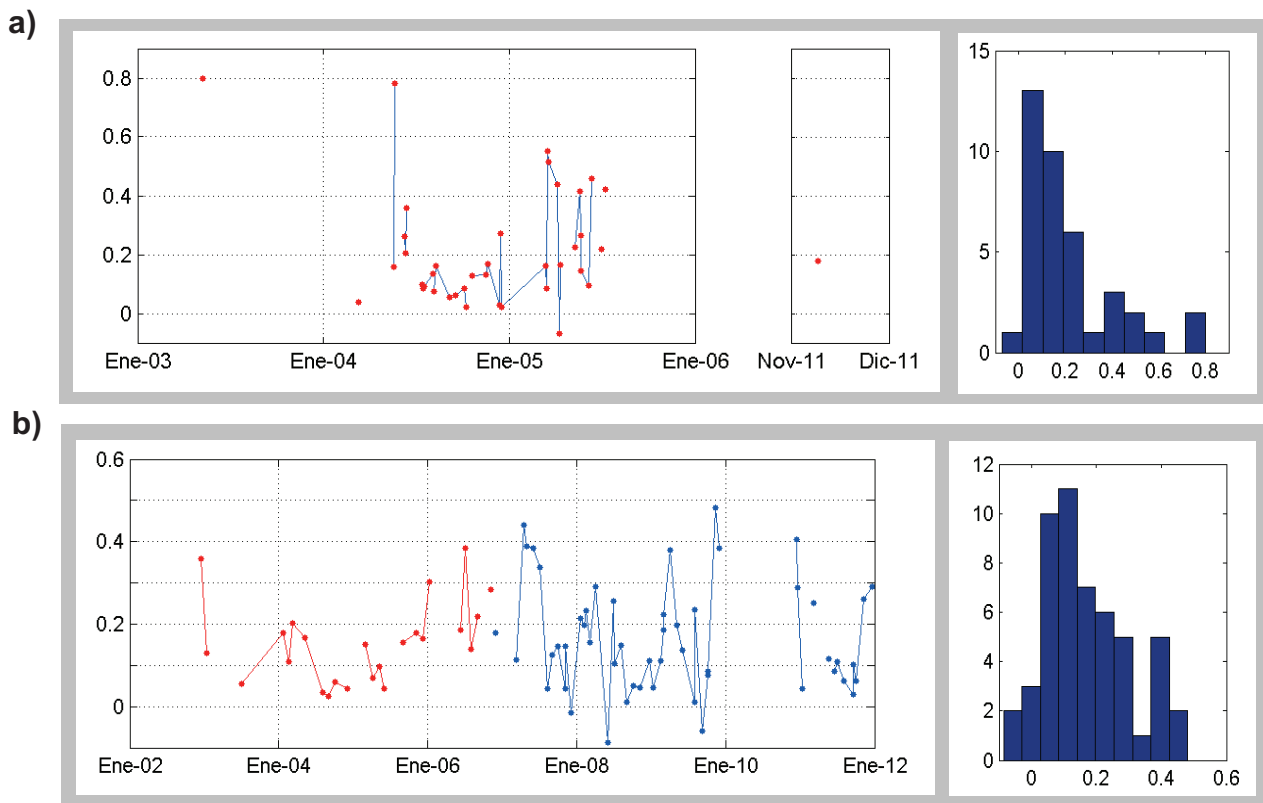


Figura 13. Resultados de la comparación de los datos de TSG con las muestras de salinidad (a) y estaciones de CTD del radial de Santander (b). Los gráficos de la derecha muestran la evolución temporal de la media de las diferencias encontradas para los trayectos con datos para comparar, y los de la izquierda son los histogramas de dichas medias.

En mayo, julio y septiembre de 2010, hay datos de salinidad inusualmente bajos para la zona de estudio, <20psu, que son validados porque corresponden con los registros tomados durante una serie de campañas en las que el barco se introdujo en los ríos para estudiar la presencia de huevos y larvas de anchoa (Figura 14). Se validan asignándoles el código 3 (dato probablemente bueno), porque se duda de la precisión del sensor de conductividad frente a valores que se salen de su rango habitual de medida. Por experiencia se sabe que, aunque las especificaciones del sensor indican que puede trabajar en un amplio rango de valores, en realidad la precisión disminuye al alejarnos del rango óptimo y habitual de trabajo.



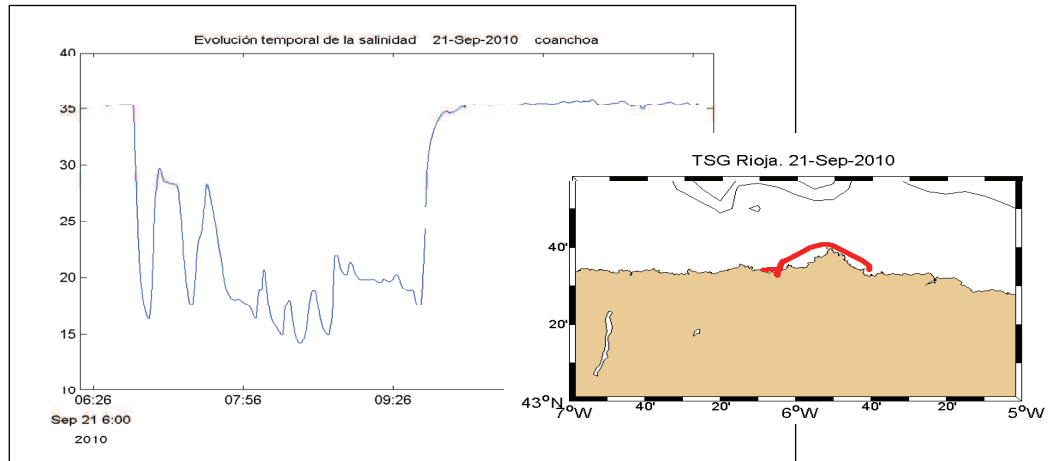


Figura 14. Registro de la salinidad durante la trayectoria mostrada en el mapa el 21 de septiembre de 2010. Se observa como al comienzo del registro parece que el barco está sobre tierra, pero en realidad está dentro del río.

Aunque estos datos se validan, no se consideran en el cálculo de promedios ni en la interpolación, porque no corresponden a la zona de muestreo habitual del barco, de forma que introducirían una gran varianza al tratarse de valores de salinidad más próximos a aguas de tipo continental que marinas. En el mapa que muestra los valores de salinidad a lo largo de la trayectoria del barco (Figura 15) es evidente cómo valores puntuales tan bajos enmascaran la variabilidad de la zona.

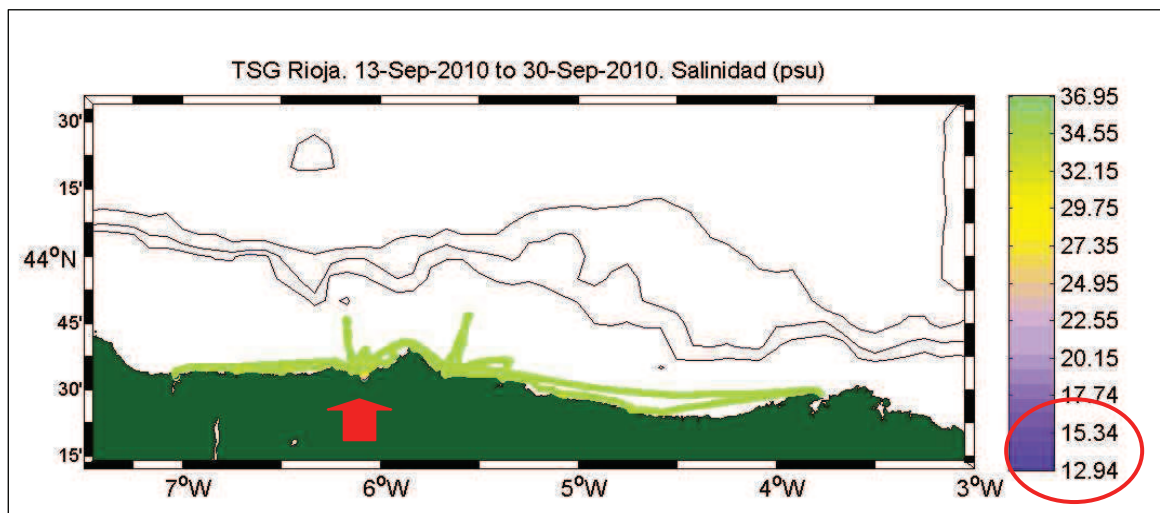


Figura 15. Mapa que muestra los valores de salinidad para el mes de septiembre de 2010, la flecha roja indica el muestreo del día 21, reconocible por los bajos valores de salinidad.

5.2. Almacenamiento de los datos

El criterio de almacenamiento es no eliminar datos, puesto que podrían aportar información valiosa en el futuro y si se elimina no hay forma de recuperarla. Esto es posible gracias a que tras el control de calidad cada observación tiene asociado un código que informa de la validez de ese dato. De forma que los usuarios pueden determinar que datos aceptar o rechazar en función del objetivo del estudio.

Los archivos de datos convenientemente formateados y manteniendo el control de calidad se van a incorporar a la base de datos oceanográficos del IEO, que es una base de datos estandarizada a nivel europeo. Esto permitirá que sean accesibles a través del portal Seadatanet (www.seadatanet.org). Este proyecto incorpora bases de datos nacionales a las grandes redes de difusión de datos e información marina existentes en Europa en este momento y asegura la salvaguarda de los datos para usos futuros. Los datos serán accesibles previa petición del usuario, para usos no comerciales y manteniendo la referencia de la fuente de datos.

5.3 Variabilidad espacio-temporal de la temperatura y salinidad

Se han elaborado las series temporales de temperatura y salinidad superficial del mar, así como gráficos que muestran la variabilidad intra-anual, para las 3 zonas consideradas: la cobertura total del atlas, la región Este (representada por el radial de Santander) y la región Oeste (representada por los radiales de Gijón y Cudillero). El estudio de la variabilidad la capa superficial de los océanos es interesante puesto que refleja el resultado de la interacción con la atmósfera, ya que al estar en contacto directo intercambian agua y calor, entre otros.

Las series temporales elaboradas para las 3 zonas diferenciadas reflejan la marcada estacionalidad de la variabilidad de la temperatura asociada al ciclo anual de insolación (Figura 16). La diferencia media entre el calentamiento estival y el enfriamiento invernal del agua superficial es de alrededor de 8° C para toda la zona, ligeramente inferior, 7.5° C, para la zona W y superior, 9° C, para la E. En el caso de la salinidad no se observa el ciclo estacional, lo que señala la sensibilidad de esta capa superficial a eventos de



precipitación, a la advección de plumas, etc. Parece identificarse un aumento en la salinidad durante 2011 para las 3 zonas, que podría relacionarse con la menor precipitación de ese año.

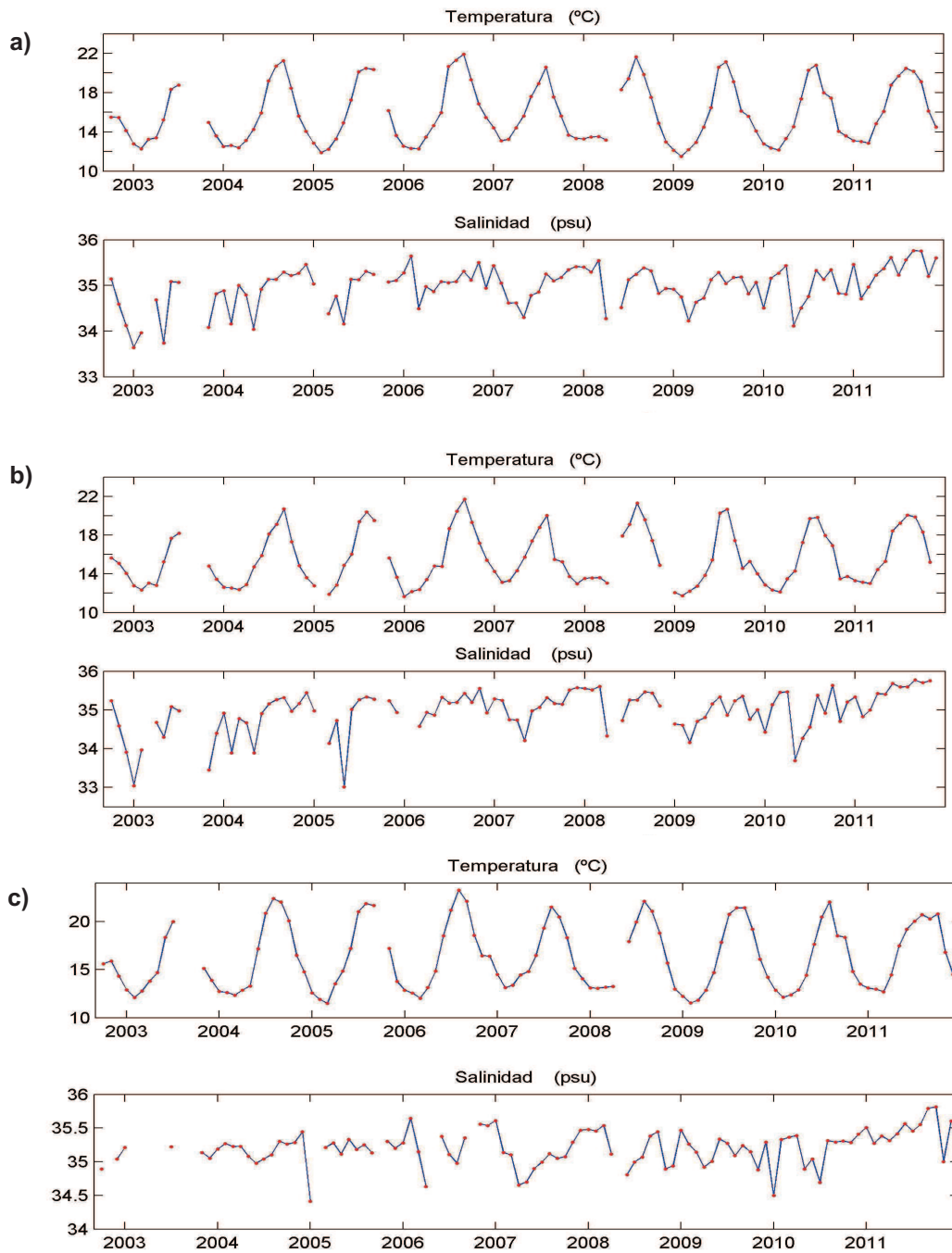


Figura 16. Serie temporal de los promedios mensuales de la temperatura y salinidad superficial para toda la zona de estudio (a), para la zona W, radiales de Gijón y Cudillero (b), y para la zona E, el radial de Santander.

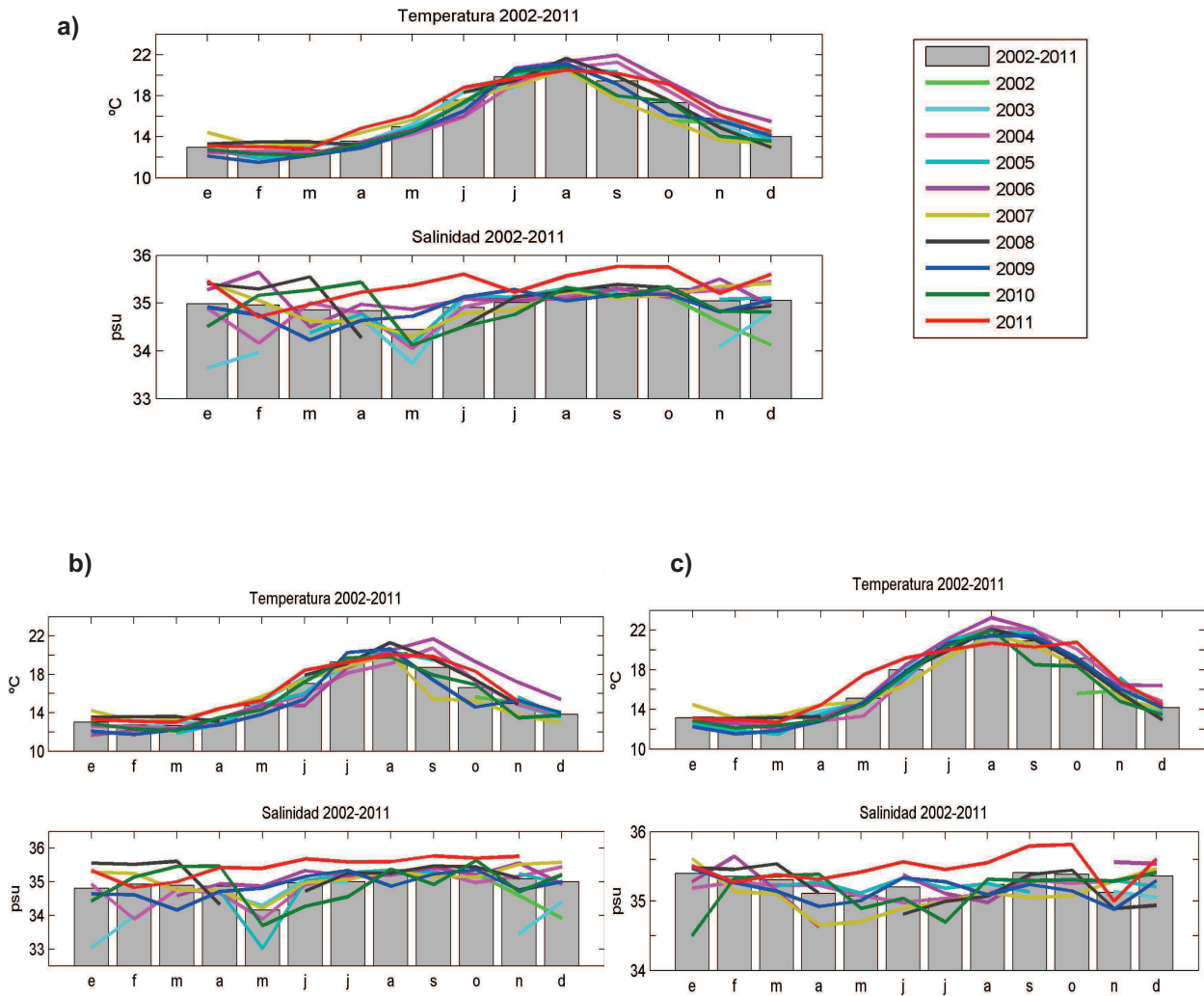


Figura 17. Evolución anual de los promedios mensuales de la temperatura y salinidad para la toda la zona de estudio (a), para la zona W, radiales de Gijón y Cudillero (b), y para la zona E, el radial de Santander. Las líneas de colores unen promedios mensuales de un mismo año, y las barras grises son el promedio de todo el periodo (2002-2011).

La Figura 17 muestra la variabilidad intra-anual, de nuevo se observa el marcado ciclo estacional en la temperatura para todos los años y zonas de estudio. También se puede observar que parece que el agua de la zona E del estudio generalmente es más cálida y salina que sea encuentra más al oeste. La evolución de la media mensual de todo el periodo de estudio para la salinidad (barras grises) que integra la variabilidad interanual, muestra un patrón similar para todo el atlas y para la región W. Estas zonas presentan el



mínimo de salinidad en mayo, los valores menores durante los meses de invierno y primavera y los mayores en verano y otoño. En el caso de la región E llama la atención la disminución de la salinidad en julio y agosto, se cree que podría deberse a la advección de las plumas de los ríos franceses (Somavilla, R., et al., 2012). Para las 3 zonas se observa un aumento de la salinidad en 2011 entre mayo y octubre.

5.4 Mapas del Atlas

La elección del AO como método de interpolación se debe a que es el método que mejor se ha ajustado a la distribución de los datos y a que permite conocer el error asociado las estimaciones en cada punto. Además de ser uso común en oceanografía (Hiller and Kase, 1983; Bennet, 1992), también en zonas costeras (Pierini et al. 2008; Lynch and McGillicuddy, 2001), se ha utilizado para la elaboración de otros atlas (Charraudeau and Vandermeirsch, 2006; Matishov et al, 1998).

Los mapas interpolados permiten obtener una visión más general de las condiciones en la región de estudio pero hay que tener en cuenta que cuanto más nos alejamos de la trayectoria seguida por el barco aumenta el error de la estimación. En la Figura 18 se ilustra como mediante el mapa interpolado de salinidad para 2005 (Fig. 18a) se puede identificar el alcance de la influencia de los ríos en el mar Cantábrico, que solamente se podía intuir a través del mapa de los valores observados durante marzo del mismo año (Fig. 18c). En la Figura 18b, se muestra el correspondiente mapa de los errores de las estimaciones y las observaciones utilizadas en los cálculos en azul. Como es preciso llegar a un compromiso, se ha considerado 0.5 como el máximo error permitido, sin embargo en los casos que resulta excesivo se disminuye hasta un mínimo de 0.2, como es el caso de los mapas mensuales.

Los mapas estacionales son los que cuentan con menor número de observaciones, por tanto presentan un área mayor sin información interpolada. En el futuro se pretende completar el área sin observaciones entre los radiales de Gijón y Santander con datos de climatologías para mejorar el resultado de la interpolación en esa zona, tanto para los mapas estacionales como para los anuales y mensuales.

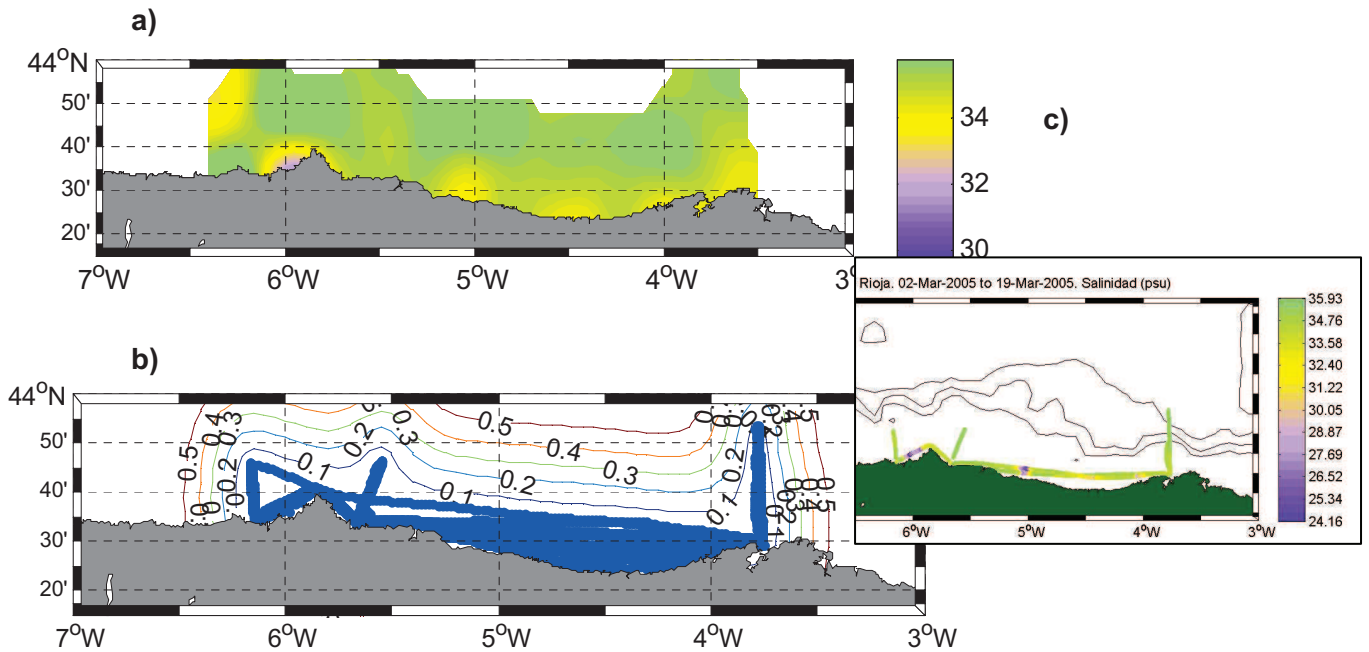


Figura 18. (a) Mapa de salinidad superficial interpolado para 2005, (b) mapa del error de las estimaciones, (c) mapa de las observaciones de salinidad durante marzo de 2005.

5.6 Difusión de los resultados

La difusión de los resultados del presente trabajo, descritos en los apartados anteriores, se realiza a través de Internet en la siguiente dirección vinculada al IEO: <http://www.ieo.es/tr/TSG-Rioja/index.html>. Se ha optado por reducir al mínimo el texto descriptivo para elaborar una herramienta eminentemente visual. Por otra parte, se entiende que el tiempo de carga de la página web tiene que ser razonable puesto que, de lo contrario, conducirá al abandono de la página por parte del posible usuario. Por ello se ha optado por utilizar librerías JavaScript ya existentes que permiten ampliar las imágenes.

En la Figura 19 se muestra la página principal de la web en la que se observa la estructura de los distintos bloques de la información. En la esquina superior izquierda bajo el nombre de *Metodología* se accede a una breve descripción de la toma de datos y su tratamiento, a continuación se encuentra el enlace a los *Mapas mensuales de los datos observados*, en la zona central superior están los mapas interpolados que forman el



Atlas, y por debajo las series temporales y climogramas elaborados a partir de las *medias mensuales*. Finalmente en el margen derecho de la página se muestran los mapas de los últimos datos recibidos del TSG del B/O José Rioja sin aplicarles el control de calidad.



Figura 19. Página de inicio de la web que muestra los resultados del registro del TSG instalado en el B/O José Roja.

6. APLICACIONES DEL ATLAS

La principal aplicación del atlas es:

- la localización de frentes de afloramiento y plumas fluviales en las costas de Asturias y Cantabria, con la importante implicación ecológica ya que pueden relacionarse con la presencia de plancton, aves e incluso peces de interés comercial.

También puede utilizarse:

- para obtener una idea general de la variabilidad temporal y espacial de la zona.
- como marco de referencia para el diseño de otros experimentos en la zona.
- como referencia en la aplicación y desarrollo de controles de calidad para TSGs y otros instrumentos.



7. CONCLUSIONES

- Es fundamental aplicar controles de calidad a los datos de forma sistemática tras su adquisición para identificar desviaciones y errores de los sensores con rapidez y darles solución.
- La existencia de una herramienta semi-automática para aplicar el control de calidad a los datos va a permitir que éste sea realizado por el personal implicado en el muestreo, lo que mejorara el resultado del mismo.
- Se recomienda limpiar el TSG de Rioja antes de cada uso, y encenderlo y apagarlo fuera de puertos, bahías o ríos.
- En la validación de datos de salinidad de zonas tan costeras hay que tener presente que la influencia de las plumas de los ríos puede extenderse hacia mar adentro más de lo habitual debido al efecto de las mareas y/o el viento.

TRABAJOS FUTUROS

- Ajustar las rutinas del control de calidad establecido para aplicarlas a los demás TSGs de la flota del IEO
- Realizar la calibración del sensor de salinidad a partir de los datos de las estaciones de CTD y muestras de salinidad.
- Incluir datos de climatologías para completar los mapas interpolados.

8. BIBLIOGRAFIA

Bakun, A. 2006. Fronts and eddies as key structures in the habitat of marine fish larvae: opportunity, adaptive response and competitive advantage. *Scientia Marina*.70S2: 105-122.

Bennett, A. F. 1992. *Inverse Methods in Physical Oceanography*. Cambridge University Press. Cambridge.

Bode, A., Varela, M., Casas, B., González, N. 2002. Intrusions of eastern North Atlantic central waters and phytoplankton in the north and Northwestern Iberian shelf during spring. *Journal of Marine System* 36 (3–4), 197–218.

Bowditch, N. 1977. *Americal Practical navigator*. Defense Mapping Agency Hydrographic Center, DMA. No. NVPUB9V1

Bretherton, F. P., Davis, R.E., and Fandry, C.B. 1976. A technique for objective analysis and design of oceanographic experiments applied to MODE-73. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts* 23(7): 559-582.

Carter, E. F. 1983. *Statistics and dynamics of ocean eddies*. Ph D Thesis. Vol 18 in *Reports in Meteorology and Oceanography*, Harvard University.

CEC/DG XII, MAST and IOC/IODE. 1993. *Manual of Quality Control Procedures for validation of Oceanographic Data*. UNESCO Manual and Guides N° 26, 436 P.

Charraudeau, R., and Vandermeirsch, F. 2006. Bay of Biscay's temperature and salinity climatology. *Sea Tech Week*.

Coatanoan, C. and Petit De La Villéon, L. 2005. *In-situ data quality control procedures*. Coriolis Data Center. COR-DO/DTI-RAP/04-047.

DATA-MEQ working group. 2010. *Recommendations for in-situ data, near real time quality control*. EuroGoos.



- Emery, W. J. and Thomson, R. E. 2001. Data analysis methods in physical oceanography. Elsevier Science
- Fernández, E., Cabal, J., Acuña, J.L., Bode, A., Botas, A. and García-Soto, C. 1993. Plankton distribution across a slope current-induced front in the southern Bay of Biscay J. Plankton Res. 15(6): 619-641 doi:10.1093/plankt/15.6.619.
- Freeland, H. J., Gould, W. J. 1976. Objective análisis of meso-scale ocean circulation features. Deep. Sea. Res., 23, 915-923
- Gandin, L. S. 1963. Objective analysis of meteorological fields. *Gidrometeor. Isdat.*, Leningrad. Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 1965, 242 pp.
- Godin, G. 1972. The analysis of tides. University of Toronto Press, p. 65.
- González-Quirós, R., Cabal, J., Alvarez-Marqués, F., and Isla, A. 2003. Ichthyoplankton distribution and plankton production related to the shelf break front at the Avilés Canyon. *ICES Journal of Marine Science*, 60(2): 198–210.
- Hiller, W., Kase, R. H. 1983. Objective analysis of hydrographic data sets from mesoscale surveys. *Ber. Inst. Meereskd. Univ. Kiel*, 116
- Levitus, S. 1982. Climatological Atlas of the World Ocean. NOAA Prof. Paper 13, available from the US Government Printing Office, Washington, DC, 20402.
- Longhurst, A. R. 1998. *Ecological Geography of the Sea*. Academic Press, San Diego, California, USA. 398 pp.
- Lynch, D.R., and McGillicuddy, D.J. 2001. Objective analysis for coastal regimes. *Continental Shelf Research* 21. 1299–1315



Matishov, G., Zhev, A., Golubev, V., Adrov, N, Slobodin, V., Levitus, S. And Smolyar, I. 1998. Climatic Atlas of the Barents Sea 1998: Temperatura, salinity, oxygen. World Data Center – A Oceanography International Ocean Atlas Series, Vol. 1 NOAA Atlas NESDIS 26.

Ottersen, G. 2010. A digital temperature atlas for the Norwegian Sea. ICES Journal of Marine Science, 67: 1525–1537.

Peliz, A., Rosa, T. L., Santos, A. M. P., and Pissarra, J. L. 2002. Fronts, jets, and counterflows in the Western Iberian upwelling system. Journal of Marine Systems, 35(1–2): 61–77.

Pierini, J. O., Sassi, M., y Perillo, G. 2008. Aplicación de un método de interpolación en regiones costeras GEOACTA 33, 81-90, ISSN 1852-7744 1

Pingree R. D., Hollogan, P. M. and Mardell, G. T. 1978. The effects of vertical stability on phytoplankton distributions in the summer on the northwest European shelf. Deep Sea Research 25: 1011-1028

Reddy, R., Lyne, V., Randall G., Eston, A., and Clarke, S. 1995. An application of satellite-derived sea surface temperatures to southern bluefin tuna and albacore off Tasmania, Australia. Scientia Marina 59:(3-4): 445-45.

Ribeiro, A.C., Peliz, Á., Santos, A.M.P. 2005. A study of the response of the chlorophyll-a biomass to a winter upwelling event off Western Iberia using SeaWiFS and in situ data. Journal of Marine Systems 53, 87–107.

Santos, A.M.P., Peliz, A., Dubert, J., Oliveira, P.B., Angélico, M.M., Ré, P. 2004. Impact of a winter upwelling event on the distribution and transport of sardine (*Sardina pichardus*) eggs and larvae off Western Iberia: a retention mechanism. Continental Shelf Research 24 (2), 149–165.

Smith, S.R., Bourassa, M.A., Bradley, E.F., Cosca, C., Fairall, C.W., Goni, G.J., Gunn, J.T., Hood, M., Jackson, D.L., Kent, E.C., Lagerloef, G., McGillivray, P., Petit de la Villéon,



L., Pinker, R.T., Schulz, E., Sprintall, J., Stammer, D., Weill, A., Wick, G.A. and Yelland, M.J. 2010. Automated Underway Oceanic and Atmospheric Measurements from Ships. In, Hall, J., Harrison, D.E. and Stammer, D. (eds.) Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society, Vol. 2. OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society Noordwijk, The Netherlands, European Space Agency, 945-958. (ESA Special Publication WPP-306).

Ullman, D. S., and Cornillon, P. C. 1999. Satellite-derived sea surface temperature fronts on the continental shelf off the northeast US coast. *Journal of Geophysical Research* 104 (C10): 23459-23478.

Somavilla, R., González-Pola, C., Lavín, A., and Rodríguez, C. 2012. Temperature and salinity variability in the south-eastern corner of the Bay of Biscay (NE Atlantic), *J. Mar. Syst.* doi:10.1016/j.jmarsys.2012.02.010

UNESCO-IOC 2010. GTSP Real-Time Quality Control Manual, First Revised Edition. IOC Manuals and Guides No. 22, Revised Edition. IOC/2010/MG/22Rev.

Villamor, B., Gonzalez-Pola, C., Lavín, A., Valdés, L., Lago de Lanzós, A., Franco, C., Cabanas, J. M., Bernal, M., Hernandez, C., Carrera, P., Porteiro, C., and Alvarez, E. 2004. Distribution and survival of larvae of mackerel (*Scomber scombrus*) in the North and Northwest of the Iberian Peninsula, in relation to environmental conditions during spring 2000. ICES CM 2004/Session J:07.

Wessel, P., and Smith, W. H. F. 1996. Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Shoreline Database. *J. Geophys. Res.*, 101(B4), 8741-8743, doi: 10.1029/96JB00104.

Worley, S.J., Woodruff, S.D., Reynolds, R.W., Lubker, S.J., and Lott, N.. 2005. ICOADS release 2.1 data and products. *International Journal of Climatology*, 25 (7): 823-842.

Zeldman, J. 2001. *Obtén tu talento de la web: la transición del diseño gráfico al diseño web*. New Readers, pp. 448. ISBN: 978-073570733

