



**Universitat de les
Illes Balears**

Facultad de Ciències

Memoria del Trabajo de Final de Grado

Revisión del índice oceanográfico IDEA

Pedro Carreras Vidal

Grado de Física

Año académico 2017-18

Trabajo tutelado por Gabriel Jordà Sánchez
Departamento de Física

Se autoriza la Universidad a incluir este trabajo en el Repositorio Institucional para su consulta en acceso abierto y difusión en línea, con fines exclusivamente académicas y de investigación	Autor		Tutor	
	Sí	No	Sí	No
	X		X	

Palabras clave del trabajo:
índice IDEA, WIW, parámetros biogeoquímicos, oeste Mediterráneo.

Índice

1	Introducción	4
2	Metodología	7
2.1	Actualización del índice IDEA	7
2.2	Detección de WIW	9
2.3	Parámetros biogeoquímicos	9
2.4	Corrientes	10
3	Resultados	11
3.1	Actualización índice IDEA	11
3.2	Relación del índice IDEA con la convección en el Golfo de León	13
3.3	Detección e identificación de WIW	14
3.4	Relación WIW con parámetros biogeoquímicos	16
3.5	Relación entre el índice IDEA y las corrientes del oeste del Mediterráneo .	21
4	Conclusión	24
5	Bibliografía	25

1 Introducción

La circulación en el Mar Mediterráneo se caracteriza por seguir una trayectoria ciclónica a lo largo del talud continental (Fig. 1). El agua atlántica (AW) entra por el estrecho de Gibraltar, atraviesa el Mar de Alborán y sigue la costa norte de África hasta que al final de la circulación llega a la zona noroeste del Mediterráneo. En el noroeste Mediterráneo, la circulación regional es dominada por la Corriente del Norte (NC), formada por AW proveniente de la subcuenca de Argelia y del Mar Tirreno, que lleva hacia el sur agua Atlántica desde el Golfo de León (GdL) a lo largo del talud continental de la Península Ibérica hasta la subcuenca Balear. La subcuenca Balear se encuentra situada en el norte de las Islas Baleares, que representan el límite natural entre esta subcuenca y la subcuenca Algeria, al sur de las Islas. Ambas subcuencas presentan diferencias hidrodinámicas entre el norte y el sur de las Islas Baleares, haciendolas una zona de confluencia en la superficie de aguas atlánticas recientes con residentes [López-Jurado et al. 2008], tal y como se puede ver en el estudio de Balbín et al. (2012), donde se analiza un frente oceánico perpendicular a Mallorca en Diciembre de 2009 que separa ambas aguas.

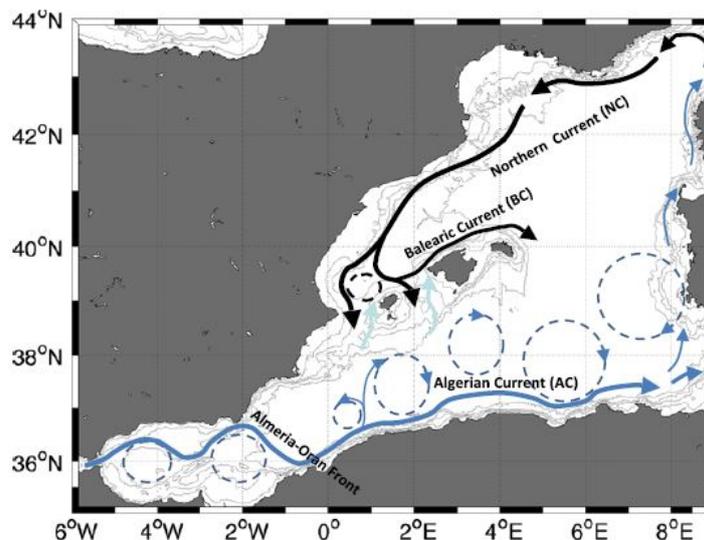


Fig. 1: Oeste del Mar Mediterráneo y las principales corrientes que caracterizan la circulación regional [Balbín et al. 2014].

La subcuenca de Argelia recibe AW, y su dinámica viene dada principalmente por los gradientes de densidad, mientras que la subcuenca Balear contiene AW, la cual ha permanecido más tiempo en el Mediterráneo y ha tenido más tiempo de mezclarse con las aguas más típicas de la zona, caracterizadas por ser más saladas. La dinámica de estas últimas, llamadas Resident Atlantic Waters, viene dada principalmente por forzamientos atmosféricos, principalmente el viento. Las dos subcuencas se encuentran conectadas por los canales de las Baleares, siendo el canal de Mallorca y el canal de Ibiza los que juegan un papel importante en la circulación regional [Pinot et al. 2002], especialmente el canal de Ibiza el cual es un punto clave geográfico controlando el paso de aguas con distinto

origen [Mason y Pascual, 2013].

La NC al alcanzar el canal de Ibiza se bifurca: una parte significativa cruza el canal transportando aguas a la subcuenca de Argelia, mientras que otra parte retorna hacia el norte y sigue hacia el noreste por la vertiente norte de las Islas, formando la Corriente Balear (BC) a lo largo de la costa norte de las Islas Baleares. Se ha mostrado que este patrón general de circulación presenta una alta variabilidad a escalas de tiempo de mesoscala, estacional e interanual [Pinot et al. 2002]. El anteriormente descrito se corresponde a la época de finales de primavera-verano después de inviernos de temperaturas relativamente-suaves en el oeste del Mediterráneo. En cambio, si el invierno ha sido frío, la circulación cambia drásticamente: la NC puede ser bloqueada cuando alcanza el canal de Ibiza, sin que haya transporte significativo por el y recircular ciclónicamente uniéndose a la BC. El bloqueo del canal de Ibiza se ha visto relacionado con la existencia de eddies anticiclónicas del tamaño del canal atrapadas en el Golfo de Valencia [Pinot et al. 1995] [Pinot y Ganachaud 1999] y a la presencia significativa de Western Intermediate Water (WIW), aguas superficiales formando giros anticiclónicos [Pinot et al. 2002].

Las WIWs son una modificación de las AWs caracterizadas por temperaturas entre 12.5°C y 13°C y salinidades de entre 37.9 and 38.3 [Balbín et al. 2014] y se localizan normalmente entre 100 y 300 m, desplazando hacia abajo las Levantine Intermediate Water (LIW), aguas más salinas. Las WIW se forman a partir de procesos de convección de AW superficiales y poco salinas debido a su hundimiento forzado por las condiciones atmosféricas sobre plataforma continental. Al hundirse y alcanzar el fondo de la plataforma se deslizan hasta alcanzar el talud por donde caen hasta alcanzar una capa de su misma densidad. Normalmente estas aguas no consiguen superar las LIW (de una densidad algo mayor), por lo que quedan por encima de ellas a las profundidades intermedias ya mencionadas.

Se sabe poco sobre la formación de WIW pero se acepta que se forma en el Golfo de León durante el invierno por procesos de convección cuando las pérdidas de calor aire-mar son suficientemente altas [Pinot et al. 2002] [Monserrat et al. 2008]. La región del Golfo de León sufre en invierno vientos fríos y secos desde el norte que incrementan las pérdidas de calor desde el océano a la atmósfera. El forzamiento atmosférico parece favorece la formación estacional de WIW. Estas condiciones atmosféricas son la principal causa de convección en la zona, y por tanto de la variabilidad. Otros estudios han propuesto una zona más amplia de formación de WIW a latitudes inferiores, sobre plataforma continental en el noroeste Mediterráneo, desde el mar de Liguria hasta la costa catalana [Vargas-Yáñez et al. 2012], especialmente en el Delta de Ebro [Juza et al. 2013].

Diversos estudios han relacionado remolinos formados por WIW con el bloqueo de la corriente del norte. Ribó et al. (2015) asocia las WIWs con desvíos de la Corriente de Norte y el desarrollo en el Golfo de Valencia de un remolino anticiclónico a mesoscala. Amores et al. (2013) detecta un remolino en el norte de Mallorca de Noviembre a Diciembre de 2010 formada por WIW que causó cambios en la dirección de los flujos a distintas profundidades de la columna de agua. Y Allen et al. (2008) habla de la detección de un remolino de WIW en el mar de Alborán en diciembre de 1996, indicando que pueden encontrarse remolinos de WIW una vez atravesado el Canal de Ibiza.

Las WIWs son transportadas por la NC hacia el Golfo de Valencia y el canal de Ibiza

a finales de invierno y principios de primavera, sin embargo no se encuentran cada año en los canales.

Se acepta que la variabilidad interanual de la circulación regional alrededor de las Islas Baleares esta fuertemente relacionada con las propiedades y la cantidad de WIW que alcanza los canales a finales de primavera [Milot 1999] [Pinot et al. 2002] , modificando las propiedades de las aguas que rodean las Islas.

Diversos estudios han comparado una zona cercana a Sóller, en la subcuenca Balear, con una zona cerca de la isa de Cabrera, en la subcuenca de Argelia. Estos estudios encuentran diferencias entre factores hidrológicos, tales como la diferencia estacional de las masas de agua entre ambas zonas [López-Jurado et al. 2008]. Amores y Monserrat (2014) encuentra que la zona de Sóller es hidrodinamicamente mas activa, habiendo una mayor detección de remolinos para un periodo de estudio de finales de 2009 a principios de 2011. Massutí et al. (2014) encuentra una mayor concentración de oxígeno en la subcuenca Balear, justificandola a un mayor recorrido de las aguas que llegan a al subcuenca de Argelia, las cuales han tenido que pasar por encima de Mallorca y Menorca, habiendo un mayor consumo por respiración [Balbín et al. 2014]. Herrera et al. (2014) encuentra el mismo resultado anterior en el año 2010 , pero argumenta que la diferencia es tan pequeña que no afecta al ritmo de respiración, encontrado unos valores medios de la concentración de oxígeno a una profundidad de 250 m de $4.54 \pm 0.09 \text{ ml l}^{-1}$ en Sóller y $4.26 \pm 0.01 \text{ ml l}^{-1}$ en Cabrera.

Otros estudios, enfocados mas en las especies marinas presentes en la zona de Sóller y de Cabrera, sugieren que la presencia de WIW puede tener consecuencias sobre las especies que habitan las aguas. Guijarro et al. (2009) estudia la gamba blanca, un especie de interés comercial. Encuentra que la zona de Sóller es las mas productiva y menciona que podría deberse a la presencia de WIW, debido a que su presencia podría incrementar la producción primaria del área y así enriquecer la cadena trofica. Ramón et al. (2014) encuentra diferencias entre las comunidades de epibentos entre ambas zonas, las cuales menciona que podrían deberse a una entrada de nutrientes aportada por las WIW, provenientes de zonas mas productivas y transportadas por la NC, que beneficiase a las especies. González-Wangüemert et al. (2016) hipotiza que en las aguas de Mallorca hay una entrada de nutrientes influenciada por la corriente de norte que favorece el crecimiento de los pepinos de mar. Guijarro et al. (2012) indica que la especie *Plesionika antigai* podría verse favorecida por la aparición de WIW, mientras que las especies *Plesionika heterocarpus* y *Plesionika martia* tienen mejores condiciones en las subcuenca Balear que en la subcuenca de Argelia. Según García-Merchán et al. (2012) la estructura genética de las poblaciones de *Liocarcinus depurator* parecen verse afectadas por las WIWs debido a que bloquean el Canal de Ibiza y restringen la conectividad genética.

Se propuso que la temperatura del aire superficial como factor dominante de la formación de WIW en el Golfo de León [Monserrat et al. 2008]. Por ello se propuso un índice climático, el índice IDEA, que podría ser utilizado para comparar las condiciones hidrográficas y los recursos pesqueros alrededor de las Islas Baleares. Dicho índice caracteriza la presencia o la ausencia de WIW en los canales de las Baleares durante la primavera y el verano, empleando datos del forzamiento atmosférico en el Golfo de León del invierno previo. Este índice ha mostrado buenos resultados teniendo una correlación

de 0.73 con la presencia de WIW durante un periodo de 19 años [Jordi y Hameed 2009], y ser un buen estimador de factores hidrológicos como la posición del frente oceánico que separa las distintas aguas de las subcuencas Balear y de Algeria. Balbín et al. (2014) encuentra que la posición del frente oceánico entre AW depende de la presencia de las WIW: si hay WIW el frente se encuentra en el sur de las Islas y si no hay, el frente avanza hacia el norte alcanzando incluso el canal de Mallorca. La presencia/ausencia de estas masas de aguas pueden estimar con el índice IDEA. Por lo tanto con el índice IDEA se estima las WIW, y por lo tanto, también la posición frente oceánico, una información que comenta que puede utilizarse para el estudio de la conectividad de poblaciones marinas.

El índice IDEA se ha empleado también en otros estudios. Hidalgo et al. (2012) y Durant et al. (2013) incorpora el IDEA como información ambiental para el calculo del reclutamiento de la merluza europea *Merluccius merluccius*. Massutí et al. 2008 encuentra que la población de reclutas de merluza y gamba roja mejoran en los periodos de índice IDEA bajo. Quetglas et al. (2013) incorpora el índice IDEA en los modelos de poblaciones para relacionarlas con la variabilidad climática y muestra efectos significativos sobre los elasmobranquios y la merluza respecto las fluctuaciones interanuales en las capturas por unidad de esfuerzo (CPUEs). Hidalgo (2011) estudia la interacción de la variabilidad climática y las pesquerías y encuentra que la correlación entre la CPUE y el índice IDEA no era estadísticamente significativa antes de finales de 1970, año a partir del cual fue mas fuerte e importante. Este echo podría atribuirse a que las poblaciones podrían haber entrado en sobrepesca a finales de 1970 y al estar sobrexplotadas la influencia del clima se hace mas notoria. Farriols et al. (2015) correlaciona el índice con el índice de diversidad N90, obteniendo un resultado para la correlación de $r = 0.628$ y para el p-valor de $p < 0.05$.

A pesar de todos los estudios realizados, sigue habiendo mucha incertidumbre sobre el efecto real de las WIWs, las cuales pueden relacionarse con el índice climático IDEA, que ha su vez ha mostrado tener buena relación con parámetros biológicos de las aguas que rodean las Islas Baleares. Desarrollar y entender mejor como funciona el índice y las consecuencias de sus fases sobre las aguas puede ser útil de cara al futuro para predecir la situación hidrodinámica y procesos biológicos de interés para las pesquerías de las Islas. Por lo tanto, el objetivo de esta trabajo es realizar una descripción físico-química detallada del mar Balear en distintas fases del índice IDEA. Este trabajo se estructura de la siguiente forma: En primer lugar se explica la metodología empleada a lo largo de este trabajo y los datos empleados. En la sección tres se explican y discuten los resultados obtenidos, y finalmente, en la sección 4, se exponen las conclusiones.

2 Metodología

2.1 Actualización del índice IDEA

Empleando datos mensuales de ERA-Interim [Dee et al. 2011] de temperatura del aire a 2 m de la zona del Golfo de León ($3.5^{\circ}E - 6.0^{\circ}E$, $41.0^{\circ}N - 43.0^{\circ}N$) (Fig. 2), se ha calculado el índice IDEA como la anomalía de temperatura estandarizada (T_S), a partir

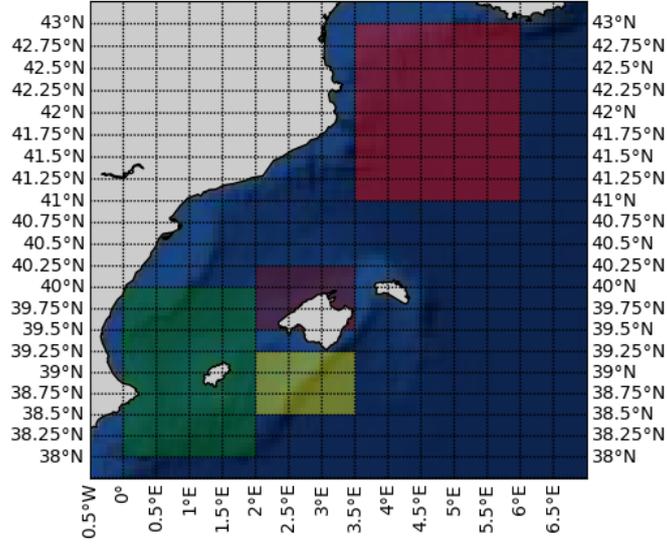


Fig. 2: Zonas donde se han realizado los cálculos. La zonas indicadas son: Golfo de León (rojo), Canal de Ibiza (verde), Sóller (marrón), Cabrera (amarillo).

de la fórmula original [Monserrat et al. 2008]:

$$T_S = \frac{T - \bar{T}}{\sqrt{(T - \bar{T})^2}} \quad (1)$$

donde las barras superiores indican el promedio temporal sobre todo el periodo disponible (1979-2017), y siendo T el promedio espacial de los datos de la zona del GdL para el mismo tiempo y el promedio temporal para los meses de invierno (Diciembre-Marzo) del mismo año. El mes de Diciembre se incluye en el año siguiente, por ejemplo, el Diciembre de 2000 se cuenta con el invierno de 2001. Con este calculo se han repetido los cálculos originales y se han ampliado hasta el año 2017.

De ERA-Interim, también se ha obtenido las perdidas de flujos de calor océano-atmósfera, para la misma zona promediados para cada año durante los meses de invierno. El flujo de calor total viene determinado por las componentes radiativas y turbulentas. Los términos radiativos son el flujo neto solar (onda corta) en la superficie (Q_{SW}) y la radiación infrarroja neta (onda larga, Q_{LW}). Las componentes turbulentas son los flujos de calor latente (Q_{LH}) y sensible (Q_{SH}). Siguiendo un procedimiento similar al empleado por Sanchez-Gomez et al. (2011), se asumirá que el flujo neto en superficie viene dado por:

$$Q_{SW} + Q_{LW} + Q_{LH} + Q_{SH} \approx Q_{neto} \quad (2)$$

el signo positivo indica la ganancia positiva de calor del mar y el negativo indica la perdida de calor.

Ambas series de datos se han empleado para repetir los cálculos originales del índice IDEA y ampliarlos hasta el año 2017, con el objetivo de comprobar si ha día de hoy el

índice sigue siendo mas representativo de la generación de WIW que los flujos de calor. Con el resultado de la serie temporal del índice IDEA se ha calculado el coeficiente de correlación biserial puntual con la presencia/ausencia de WIW de cada año (determinada tal y como se explica en el siguiente subapartado). Dicho coeficiente se ha calculado teniendo en cuenta que se tiene una variable booleana: la presencia/ausencia de WIW. Asumiendo que esta variable lógica es y (solo tiene valores 0 y 1), la variable continua x , el índice IDEA, se ha dividido en dos grupos: 0 y 1 (en este caso según el valor sea mayor o menor a 0.5); que recibe valores 0 y 1 respectivamente, y el coeficiente se calcula como:

$$r_{pb} = \frac{M_1 - M_0}{\sigma_x} \sqrt{\frac{N_1 N_2}{N(N-1)}} \quad (3)$$

donde M_1 y M_0 son los valores medios de todos los valores de los grupos 1 y 0, respectivamente, σ_x es la desviación estándar de la variable x y N_1 y N_0 son el numero de valores en los grupos 1 y 0.

El mismo procedimiento se ha repetido y se ha calculado la anomalía de temperatura estandarizada y el flujo neto de calor para un punto geográfico situado en el canal de Ibiza ($0.75^\circ E - 39.00^\circ N$).

2.2 Detección de WIW

La presencia de las WIW en las zonas de interés se ha seguido a partir de los diagramas θS , donde las propiedades de las distintas masas de agua están limitadas por sus correspondientes características termoalíneas. Empleando datos de CTD de IBAMAr [López-Jurado et al. 2014] [Aparicio-González et al. 2015], de CTD de la base de datos SOCIB [Tintore, J. et al. 2013] (Datos obtenidos en www.socib.es), de glider de SOCIB, y de reanálisis de EN4 [Good et al. 2013], MEDAR (<http://www.ifremer.fr/medar/>) y HOUPERT (<https://www.sams.ac.uk/people/researchers/houpert-dr-loic/>); se ha buscado la presencia de WIW durante periodo de finales de primavera y verano (Mayo-Septiembre) para cada año. Todos los datos disponibles de cada año se han representado sobre el mismo diagrama θS , diferenciando cada punto disponible de las distintas bases de datos. En cada diagrama anual, se ha buscado la presencia de alguna medición que perteneciera al rango de características de temperatura y salinidad de las WIW.

2.3 Parámetros biogeoquímicos

Diversos estudios sugieren que la presencia de WIW podría tener efectos sobre las especies presentes en las aguas que rodean las Baleares. Por ello se ha posibles relaciones entre las WIWs y los factores biogeoquímicos: turbidez, concentración de oxígeno, nitratos, clorofila a, silicatos, fluorescencia, fosfatos y nitritos. Para ello, se han reunido todos los datos posibles de la zona del canal de Ibiza y de Sóller, empleando las bases de datos de SOCIB e IBAMAr, ya mencionadas anteriormente. Se ha representado los datos de todos los años de cada parámetro frente a la temperatura, la salinidad, obteniendo dos perfiles para cada parámetro. Cada perfil de datos se ha ajustado mediante una recta y

se han buscado posibles comportamientos que se encuentren en el rango de temperatura y salinidad de las WIW. Cada ajuste se ha realizado con los datos de las distintas bases de datos por separado y unidas, para poder descartar posibles efectos del origen de los datos. Los perfiles de las variables se han para un rango de profundidades de 100 – 300m, profundidades donde se encuentra las WIWs, y en la superficie, entre 0 – 100m.

En los estudios de Massutí et al. (2014) y Herrera et al. (2014) se plante la hipótesis de que la presencia de WIW podría afecta a la concentración de oxígeno de las aguas que rodean las Baleares, mientras que el estudio de Balbín et al. (2012) relación los máximos de oxígeno disuelto con la presencia de WIW y los mínimos, con la presencia de LIW. Tratando de encontrar alguna relación directa del índice IDEA con los niveles de oxígeno se han realizado unos cálculos adicionales con este parámetro en concreto en la zona del Canal de Ibiza (Fig. 2). Para ello, en primer lugar, se han calculado una serie de diagramas θS , iguales que los anteriormente explicados para detectar las WIWs, pero esta vez indicando en cada punto el nivel de la concentración de oxígeno, con el fin de relacionar los niveles mas altos de oxigeno del año, entre los meses de Mayo a Septiembre, con la presencia de WIW. Para observar el comportamiento medio de la concentración de oxígeno según su valor de temperatura y salinidad, los datos de todos los años de los diagramas θS se han unido en uno solo y se ha calculado un nuevo diagrama θS donde se representa en una red de puntos la mediana de los puntos mas cercanos a cada punto de la red, estimando así la concentración de oxígeno asociada a cada tipo de las masas de agua. Finalmente, se ha calculado la serie temporal del promedio de la concentración de oxigeno de los meses de Mayo a Septiembre, se ha estandarizado y se ha comparado la serie temporal con la serie del índice IDEA. Los cálculos se ha realiza para unas profundidades de 0-100 m y de 100-300 m, empleando datos de IBAMar y glider de SOCIB.

2.4 Corrientes

Se ha buscado alguna posible relación del índice IDEA con la circulación de las corrientes en el Mar Balear. En primer lugar, empleando datos de correntimentros provenientes de Puertos del Estado (<http://www.puertos.es/es-es>) situados a lo largo de la costa del levante peninsular (Fig. 3), se ha comprobado a partir de los vectores progresivos calculados a partir de las corrientes en superficie si periodos con distintos valores del índice IDEA muestran distinto comportamiento. Para ello, en cada vector se ha representado de distinto color los periodos de Diciembre a Marzo, verde y rojo, según haya un índice IDEA mayor o menor a 0.5.

Los datos de cada punto abarcan distintos periodos de tiempo. Todos ellos terminan a principios de 2017, sin embargo en Cabo de Gata los datos empleados empiezan en 1998, en Cabo de Palos a mediados de 2016, en Sa Dragonera a mediados de 2009, en el Canal de Ibiza a mediados de 2015, en Tarragona a mediados de 2016, y en Valencia a mediados de 2016. En algunos puntos, hay algunos periodos intermedios sin datos.

Un análisis mas profundo de las corrientes se ha realizado en la plataforma continental del Ebro, una zona de interés biológico y en la que se ha indicado formación de WIW [Juza et al. 2013]. Al igual que antes, se ha intentado relacionar distintos comportamientos de las corrientes a través de los vectores progresivos con las distintas fases de índice

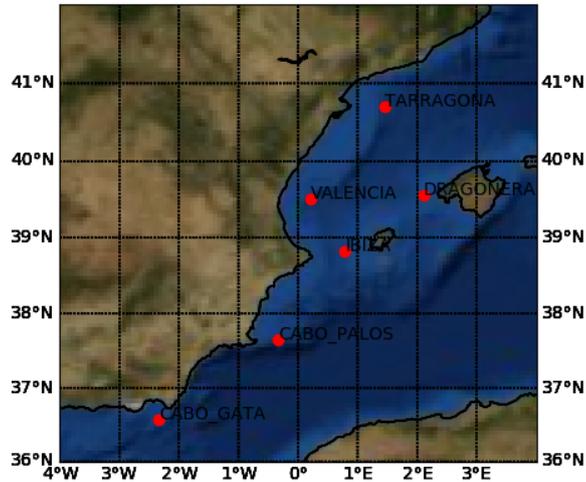


Fig. 3: Situación de los correntímetros.

IDEA, para unas profundidades de 50, 100, 300 y 500 m, esperando obtener resultados a 100 y 300 m, donde se encuentran las WIW. A las mismas profundidades, se ha calculado la serie temporal por año para cada componente de la velocidad media de los periodos de Diciembre a Marzo y de Marzo a Junio, es decir, los periodos cuando se forma la WIW y cuando ya se ha formado y es desplazada por la corriente. En estos últimos cálculos se han empleado ejes principales.

3 Resultados

3.1 Actualización índice IDEA

En la Fig. 4 puede verse los resultados obtenidos al ampliar el índice IDEA hasta el año 2017. Observando los años en los que se ha ampliado, puede verse que el índice sigue siendo mas representativo de la presencia de las WIW que los flujos de calor. El criterio empleado con el índice y las WIW ($IDEA < 0.5 \rightarrow WIW$, $IDEA > 1 \rightarrow NOWIW$ y $0.5 < IDEA < 1 \rightarrow incertidumbre$) se sigue cumpliendo. Entre los años 2000-2017, solo en 4 ocasiones no se cumple: en los años 2000, 2005 y 2006 el índice fue menor a 0.5 pero no se detecto WIW; y en el año 2001, el índice fue mayor que 1 y si se encontró WIW. Los años anteriores a 2000 reproducen los resultados de estudios previos como el de Balbín et al. (2014) y Monserrat et al. (2008), sin embargo hay discrepancias en los años 2000, 2001 y 2006 sobre la presencia/ausencia de WIW en el Canal de Ibiza, posiblemente debidas a la cantidad de datos disponibles al realizar el estudio.

Como ya se ha mencionado Jordi y Hameed (2009) encontraron una correlación de 0.73 entre el índice IDEA y las presencia de WIW para una serie temporal de 19 años. Disponiendo ahora de una serie temporal de 36 años se obtiene un coeficiente de correlación

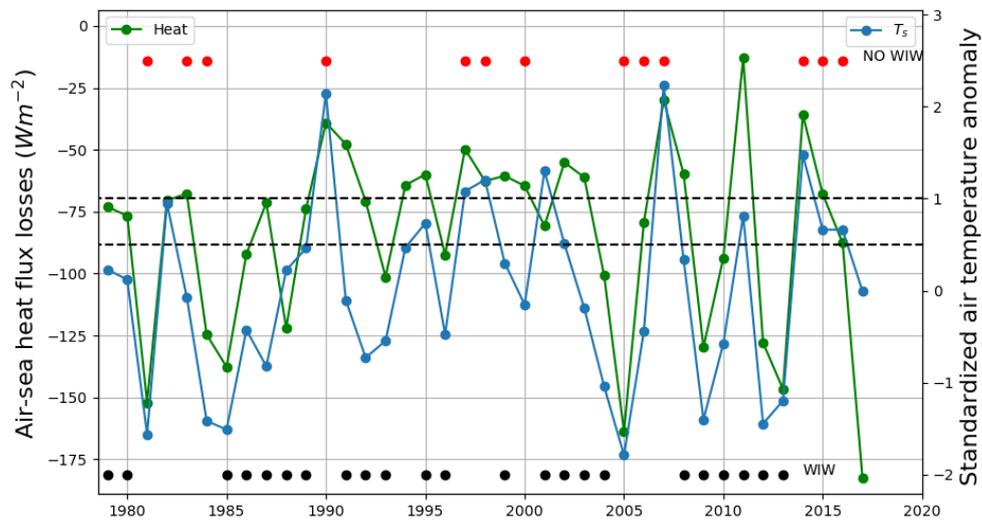


Fig. 4: Serie temporal del índice IDEA (línea verde) y el flujo neto de calor (línea azul). Los puntos rojos/negros representan la presencia/ausencia de WIW ese año. Las líneas discontinuas negras horizontales muestran el rango de valores del criterio original del índice IDEA respecto la presencia de WIW.

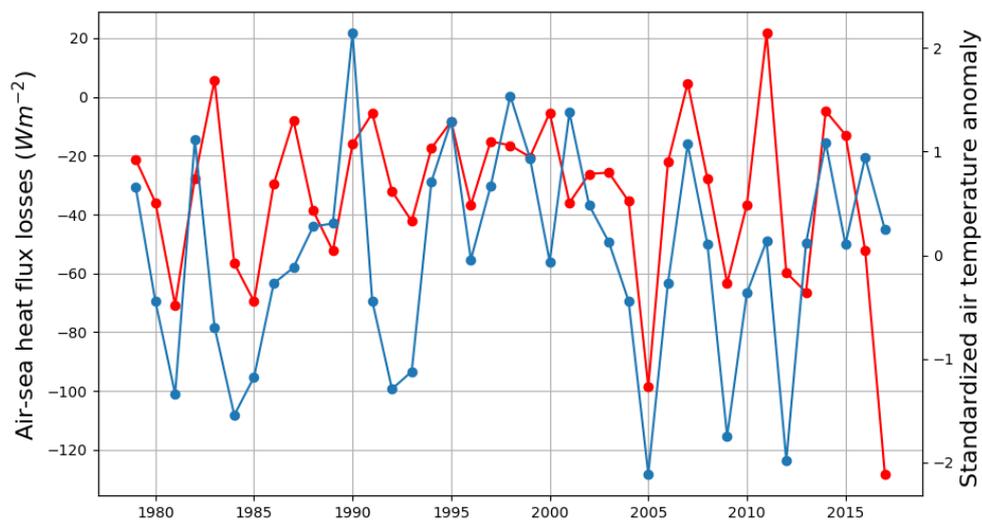


Fig. 5: Serie temporal de la anomalía de temperatura estandarizada calculada en el Canal de Ibiza (línea roja) y el flujo neto de calor (línea azul) en la misma zona.

biserial puntual de 0.82, mejorando, por lo tanto, el resultado anterior y confirmando que el índice sigue siendo un buen estimador.

En la Fig. 5 pueden verse la anomalía de temperatura estandarizada y el flujo neto de calor calculados en el Canal de Ibiza. Comparando los resultados con los obtenidos en el Golfo de León, puede verse que los flujos de calor en ambos lados tiene el mismo comportamiento, diferenciándose solo en que en valor absoluto es mas pequeña en la zona del canal de Ibiza, lo cual indica que las perdidas de calor océano-atmósfera son mayores en el Golfo de León. Sin embargo, que ambos flujos muestren el mismo comportamiento y forzamiento podría concordar con la formación local de WIW en la zona del Delta del Ebro, entre el Golfo de León y el Canal de Ibiza. Juza et al. (2013) a partir de observaciones y simulaciones numéricas del periodo invierno-primavera de 2011, obtuvo la formación de WIW en el Delta del Ebro durante los meses de Febrero y Marzo, dentro del periodo que aquí se ha calculado. Respecto la anomalía de temperatura, comparándola con el índice IDEA también se ve que tiene el mismo comportamiento. Sin embargo, sigue siendo mas preciso el índice IDEA, ya que para tener los mismo resultados en cuanto a indicaciones de WIW correctas seria necesario que el intervalo de incertidumbre de presencia de WIW de la anomalía de temperatura en el Canal de Ibiza fuera mas ancho.

Los resultados anteriores parecen indicar que tanto la zona del Golfo de León como la del canal de Ibiza sufren el mismo forzamiento atmosférico , siendo mas débil en la zona del canal de Ibiza.

3.2 Relación del índice IDEA con la convección en el Golfo de León

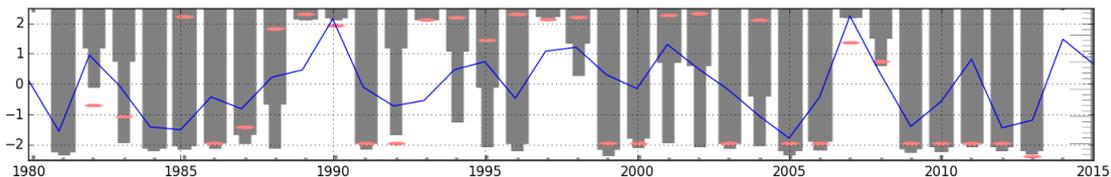


Fig. 6: [Somot et al. 2016] (Fig. 5) Interannual time series of the yearly maximum MLD (in m) for the model over the GoL area (thick black bars for the turbocline criterion and thin black bars for the pycnocline criterion) and for the observation-based indicator (red circles)

En las Fig. 6, 7 y 8, se compara cualitativamente el trabajo de Somot et al. 2016 con el índice IDEA. Con ello se pretende comprobar la relación entre el índice IDEA, que representa los cambios de temperatura del aire en el Golfo de León, con la convección que se produce en esa misma zona. Es decir, se pretende comprobar que los cambios de temperatura pueden relacionarse con cambios en los parámetros que miden la intensidad de la convección [Somot et al. 2016] como la profundidad de la capa de mezcla, la extensión de la zona de convección y el ritmo de generación de aguas profundas. Se obtienen que los mínimos del índice IDEA coinciden con valores elevados de la profundidad de la capa de

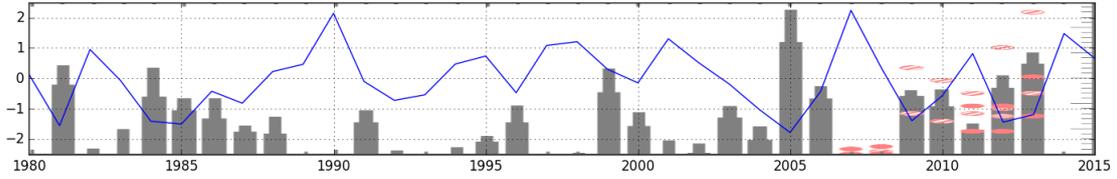


Fig. 7: [Somot et al. 2016] (Fig. 6) Interannual time series of the yearly maximum extension of the convective zone within the NWMED area (in m^2) for the model (thick black bars for a MLD $\leq 600\text{ m}$ and thin black bars for a MLD $\leq 1000\text{ m}$) and for the observation-based indicators (full red circles for the in-situ estimates, dashed circle for the chlorophyll-a map estimates and dotted circle from Durrieu de Madron et al. (2013))

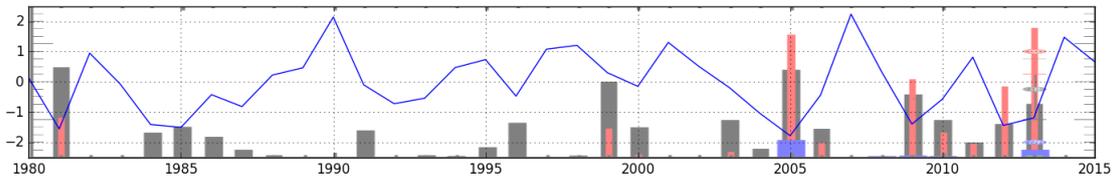


Fig. 8: [Somot et al. 2016] (Fig. 7) Interannual time series of the yearly deep water formation rate for the NWMED area (in Sv) for the model (thick bars) and for the observation-based indicators with error bars (dotted circles Waldman et al. 2016). DWF rates using different density thresholds are shown: 29.10 kg/m^3 in black, 29.11 in red, 29.12 in blue and 29.13 in green

mezcla, de la extensión de la zona de convección y generaciones altas de aguas profundas, en el Golfo de León. Y por el contrario, los máximos coinciden con valores pequeños de la profundidad de la capa de mezcla, poca extensión de la zona de convección y poca generación de aguas profundas. Por lo tanto, el índice IDEA parece reflejar cualitativamente la convección producida en el Golfo de León.

3.3 Detección e identificación de WIW

A partir de los diagramas θS , se ha comparado la presencia de WIW en la zona del Canal de Ibiza con la zona al norte de Mallorca que incluye Sóller y la zona de Cabrera, habiendo siendo estas dos últimas zonas ya comparadas en aspectos hidrográficos y biogeoquímicos en otros estudios ya mencionados anteriormente. La presencia de WIW del año 2001 al 2015 en las tres zonas puede verse en la Tabla 1. Los resultados indican que la presencia de WIW no necesariamente implica su presencia en las zonas alrededor de Mallorca. Ambas zonas de Mallorca coinciden en la presencia/ausencia de WIW, excepto en los años 2002 y 2011, y en todos los casos que se detecto WIW en una de las zonas de Mallorca, se encontró también en el Canal de Ibiza. Este resultado puede sugerir que no basta la generación de WIW, sino que se necesita otro mecanismo adicional para estas masas de agua rodeen las Islas Baleares. Al comparar el índice IDEA con la presencia/ausencia de WIW en la Zona de Sóller y Cabrera, se obtiene una correlación biserial puntual de 0.79 para las zonas de Mallorca, algo inferior a la del Canal de Ibiza, 0.84, calculada de

Tabla 1: Resumen de detecciones de WIW, a partir de los diagramas θS , en 3 zonas

Año	Canal de Ibiza	Soller	Cabrera
2001	WIW	NO	NO
2002	WIW	WIW	NO
2003	WIW	WIW	WIW
2004	WIW	WIW	WIW
2005	NO	NO	NO
2006	NO	NO	NO
2007	NO	NO	NO
2008	WIW	NO	NO
2009	WIW	NO	NO
2010	WIW	WIW	WIW
2011	WIW	NO	WIW
2012	WIW	NO	NO
2013	WIW	NO	NO
2014	NO	NO	NO
2015	NO	NO	NO

los años 2001 a 2015, pero siendo un buen resultado. Sin embargo, en estos resultados debe tenerse en cuenta los pocos años y los pocos datos de los que se disponen de la zona alrededor de Mallorca, significativamente mas bajos que en la zona del Canal de Ibiza, por lo que es posible que algun año si hubiera WIW pero no se disponga datos de ello.

Con los datos de glider y de CTD se obtiene los mismos resultados sobre la presencia de WIW.

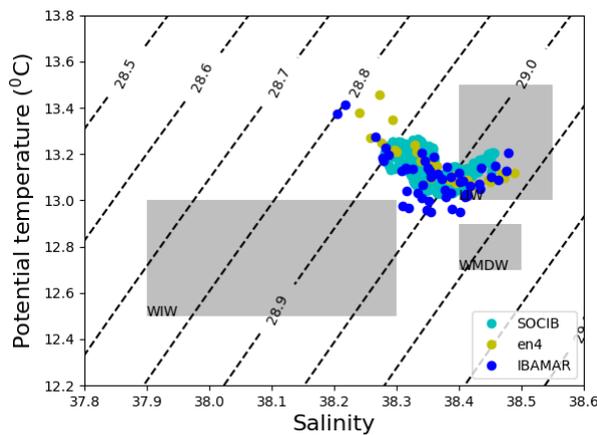


Fig. 9: Diagramas θS , año 2012, zona de Sóller. Sin presencia de WIW. IDEA=-1.4

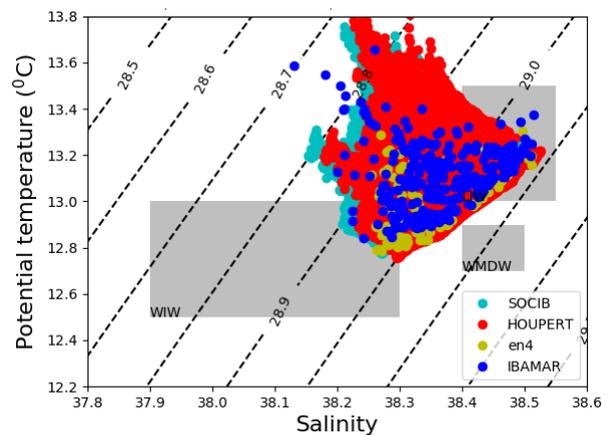


Fig. 10: Diagramas θS , año 2013, zona del Canal de Ibiza. Presencia de WIW. IDEA=-1.2

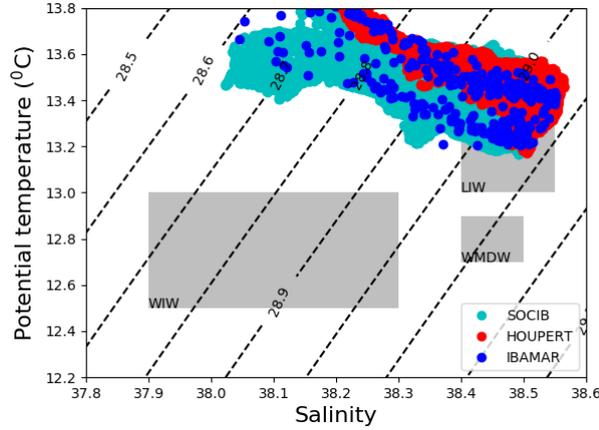


Fig. 11: Diagramas θS , año 2014, zona del Canal de Ibiza. Sin presencia de WIW. IDEA=1.5

3.4 Relación WIW con parámetros biogeoquímicos

Tabla 2: Resumen de los coeficientes R^2 de los ajustes lineales obtenidos empleando los datos de las bases de datos de IBAMar y SOCIB de los perfiles de las variables biogeoquímicas en función de la temperatura (T), salinidad (S).

Parámetro	Canal de Ibiza				Sóller			
	0-100 m de profundidad		100-300 m de profundidad		0-100 m de profundidad		100-300 m de profundidad	
	T	S	T	S	T	S	T	S
Nitratos	0.3	0.3	0.0	0.5	0.4	0.4	0.0	0.5
Silicatos	0.3	0.3	0.0	0.6	0.3	0.4	0.0	0.7
Fluorescencia	0.3	0.2	0.0	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3
Fosfatos	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	0.2
Nitritos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Turbidez	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
Oxígeno	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.2	0.0	0.3
Clorofila a	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2

Los valores de las correlaciones de los ajustes de las variables biogeoquímicas (Tabla 2) indican mayormente que apenas hay correlación, habiendo bastante dispersión de los datos. En ningún caso se han encontrado diferencias significativas entre las distintas bases de datos. Un caso especial son los nitratos y los silicatos, los cuales muestran siempre un comportamiento bastante lineal con la salinidad, aumentando al aumentar la salinidad. Muestran un coeficiente R^2 de 0.5 y 0.6, respectivamente, con la salinidad en el Canal de Ibiza y de 0.5 y 0.7 también con la salinidad en la zona de Soller, a unas profundidades de 100-300 m. Los ajustes realizados muestra una tendencia del oxígeno a aumentar al disminuir la temperatura y salinidad, mientras que en el resto de variable los ajustes

muestra que al aumentar a la vez la temperatura y salinidad se obtienen comportamientos opuestos, es decir, una hace que aumente y la otra que baje su valor. Esto puede explicarse de la siguiente forma: valores mas elevados de salinidad implican mas la presencia de LIW, aguas intermedias mas antiguas y como mas nutrientes al haber permanecido mas tiempo cerca de aguas profundas donde se encuentran los nutrientes, que es justo lo que se ha obtenido con los nitratos y los silicatos; mientras que valores menos elevados de la salinidad implican mas la presencia de WIW, aguas mas nuevas con menos nutrientes pero con mas oxigeno al provenir de la superficie y no haberse consumido.

Cabe mencionar que en entre las profundidades 0-100 m, en ambas zonas, los parámetros: nitratos (Fig. 15), silicatos, fluorescencia y clorofila a muestran un único pico bastante apreciable en sus valores, situado en el rango de salinidad característico de las WIW y en un rango de temperatura de de 13-14 °C, algo superiores al rango de las WIW.

Un caso especial de los perfiles es el del oxígeno e Sólter (Fig. 14), a una profundidad de 100-300 m. Al ajustar los datos de las bases de datos por separado con la salinidad se obtiene un resultado de $R^2 = 0.5$ para IBAMAR y de $R^2 = 0.7$ para SOCIB, significativamente mayores que realizando un ajuste global, $R^2 = 0.3$. Esto puede ser debido a distinta calibración de los datos de ambas bases de datos. En este caso, si se tienen en cuenta los datos por separado, el oxígeno muestra una buena relación con la salinidad en la zona de Soller.

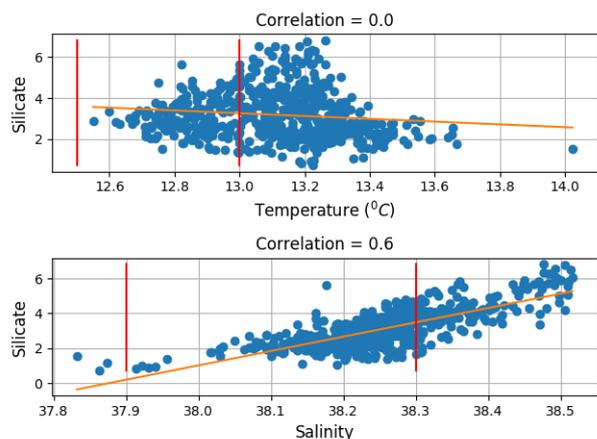


Fig. 12: Perfiles de los silicatos, a una profundidad de 100-300 m en el Canal de Ibiza. Datos de IBAMar

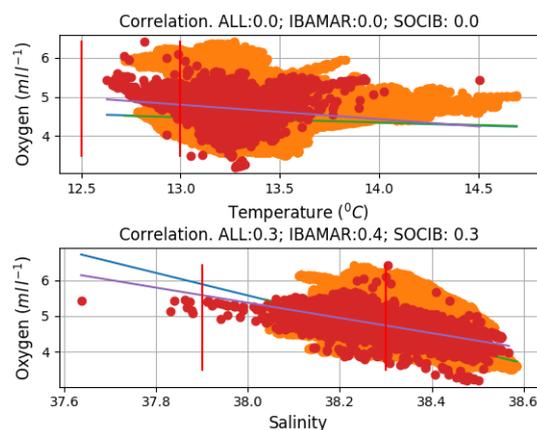


Fig. 13: Perfiles del oxigeno, a una profundidad de 100-300 m en el Canal de Ibiza. Datos de IBAMar (rojo) y SOCIB (amarillo)

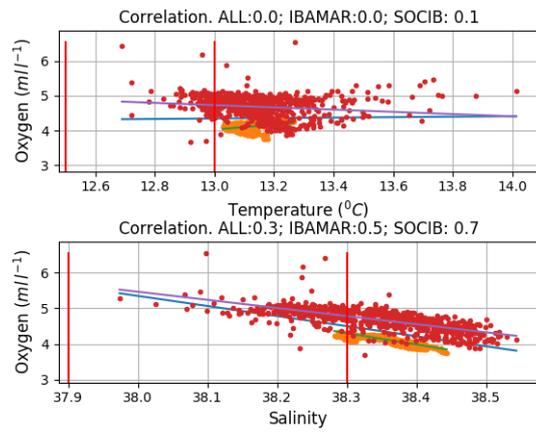


Fig. 14: Perfiles del oxígeno, a una profundidad de 100-300 m en Sóller. Datos de IBAMar (rojo) y SOCIB (amarillo)

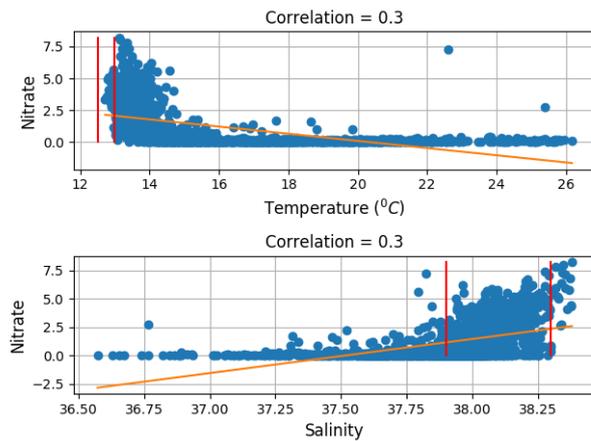


Fig. 15: Perfiles de los nitratos, a una profundidad de 0-100 m en el Canal de Ibiza. Datos de IBAMar

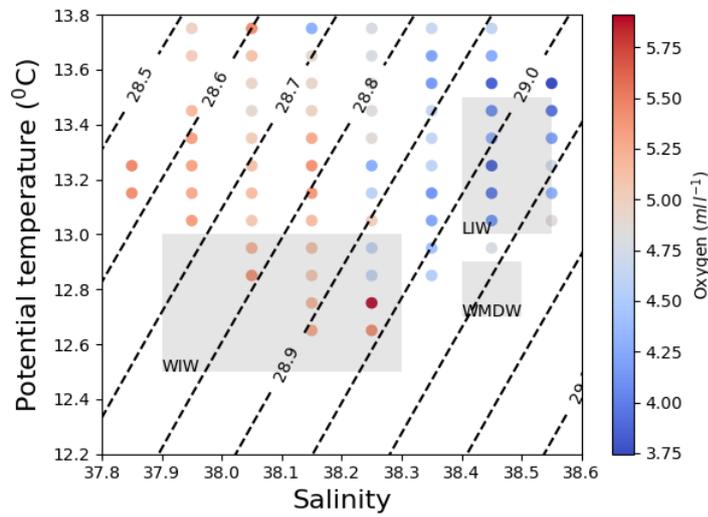


Fig. 16: Mediana de los niveles de oxígeno de los años 1985,1987,1988 y de 2002 al 2016; a una profundidad de 100-300 m.

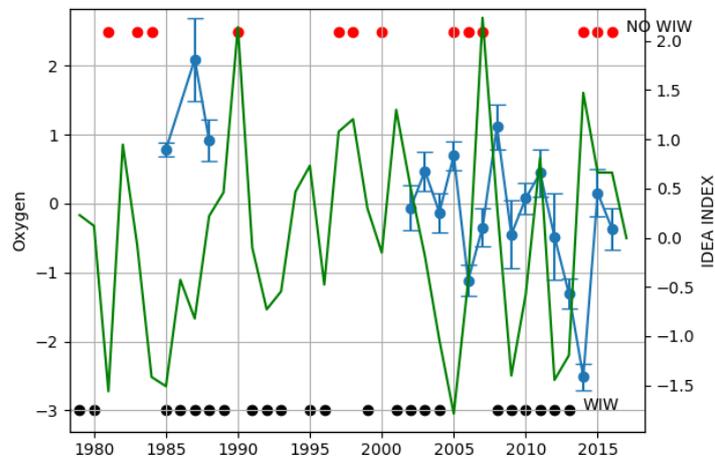


Fig. 17: Comparación de la serie temporal del nivel medio estandarizado del oxigeno (linea azul) durante los meses Mayo-Septiembre y a una profundidad de 100-300 m, comparado con el índice IDEA(linea verde) y la presencia/ausencia de WIW (puntos negro/rojos)

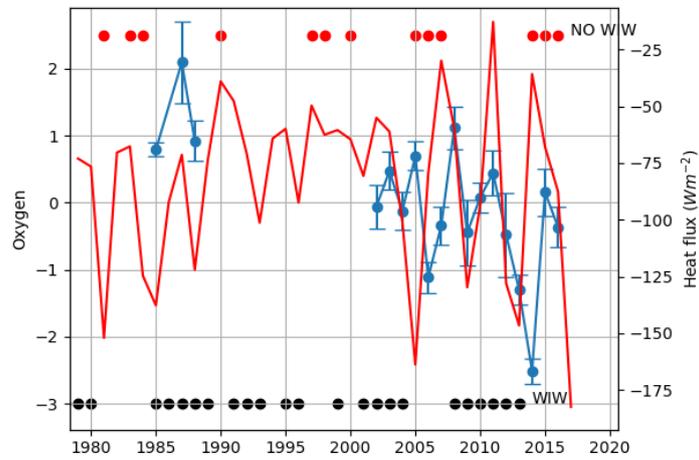


Fig. 18: Comparación de la serie temporal del nivel medio estandarizado del oxígeno (línea azul) durante los meses Mayo-Septiembre y a una profundidad de 100-300 m, los flujos de calor en el Golfo de León en la misma época (línea roja) y la presencia/ausencia de WIW (puntos negro/rojos).

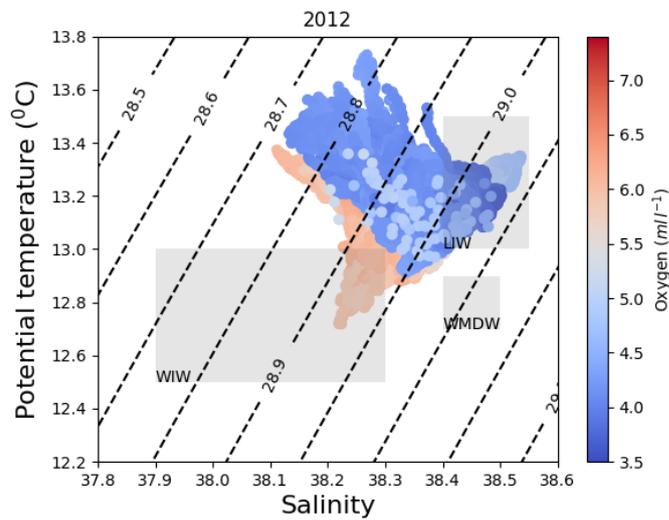


Fig. 19: Diagrama θS del año 2012, a una profundidad de 100-300 m

Tabla 3: Coeficiente de correlación de Pearson de la serie temporal de la concentración de oxígeno comparada con parámetros calculados en el Golfo de León (IDEA y flujo de calor) y en el canal de Ibiza (T_s y flujo de calor)

Profundidad	índice IDEA	flujo de calor en el Golfo de León	T_s en el Canal de Ibiza	flujo de calor en el Canal de Ibiza
0-100 m	-0.20	-0.09	-0.17	-0.00
100-300 m	-0.23	-0.07	-0.22	-0.02

Profundizando en el estudio del oxígeno, con los datos disponibles se han obtenido diagramas θS donde se indica el valor de la concentración del oxígeno de cada punto para los años 1985,1987,1988 y del año 2002 al 2016. Los resultados obtenidos concuerdan con los de Balbín et al. (2012). En la Fig. 16, donde se muestra el valor del oxígeno de la mediana de los puntos de todos los años reducido a una malla regular, y en el resto de diagramas θS puede verse que los máximos relativos de oxígeno se encuentran dentro de las características de las WIW, o en caso de no haber WIW, dentro de su rango de salinidad; mientras que los mínimos se encuentran en el rango de características de las LIW.

Comparando las series temporales obtenidas de la concentración de oxígeno con el índice IDEA (Fig. 17), calculando el Coeficiente de correlación de Pearson, se obtiene un resultado de -0.23 (Tabla 3), indicando una correlación negativa. Una correlación negativa parece coherente, teniendo en cuenta que cuanto mayor es el Índice IDEA, se espera menos WIW y por lo tanto menor concentración de oxígeno. La serie temporal también se ha comparado con los flujos de calor en la zona del Golfo de León y el Canal de Ibiza, no mostrando correlación, y con la anomalía de temperatura en el Canal de Ibiza, obteniendo un resultado similar al del índice IDEA. Las mismas correlaciones calculadas con datos a una profundidad de 0-100 m dan resultados similares a sus respectivos casos de 100-300 m (Tabla 3).

3.5 Relación entre el índice IDEA y las corrientes del oeste del Mediterráneo

Se han calculado los vectores progresivos de las corrientes en superficie obtenidos con los datos de los correntímetros en la costa de mediterránea peninsular. En Tarragona y en Sa Dragonera se ve un claro desplazamiento hacia el sureste y noroeste, respectivamente. En la zona de Ibiza, se encuentra un periodo con el Índice $IDEA > 0.5$, en el 2016 con ausencia de WIW, en el que se ve un desplazamiento hacia el noroeste, mientras que el periodo con $IDEA < 0.5$, en el 2017, apenas hay desplazamiento neto, mostrando un comportamiento más "arremolinado". Sin embargo los resultados no son significativos, al ser únicamente datos de dos años y no conocerse la presencia o ausencia de WIW en el Canal en el 2017. En el resto de puntos no se observan diferencias de comportamiento que pueden relacionarse con distintas fases del índice IDEA. Una comparación a mayores profundidades en el Canal de Ibiza entre las distintas fases del índice IDEA no ha sido posible por falta de datos.

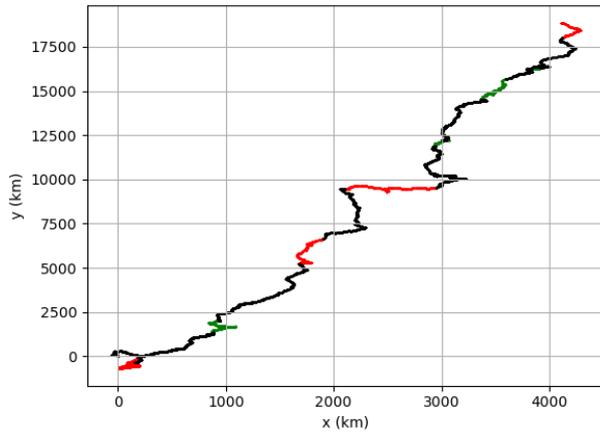


Fig. 20: Vector progresivo en Isla Dragonera

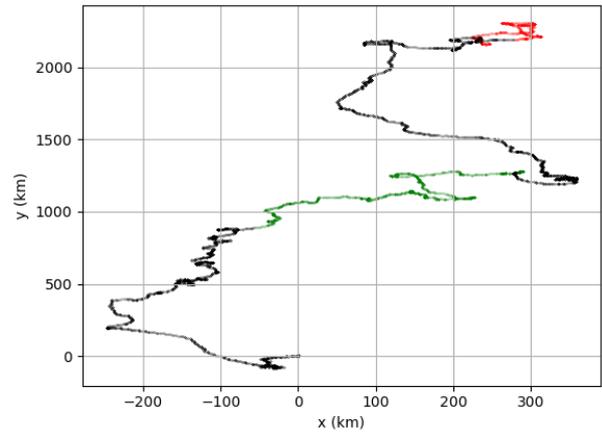


Fig. 21: Vector progresivo en el Canal de Ibiza.

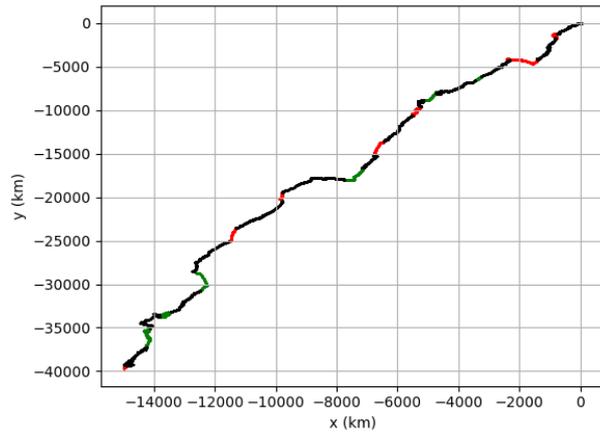


Fig. 22: Vector progresivo en Tarragona.

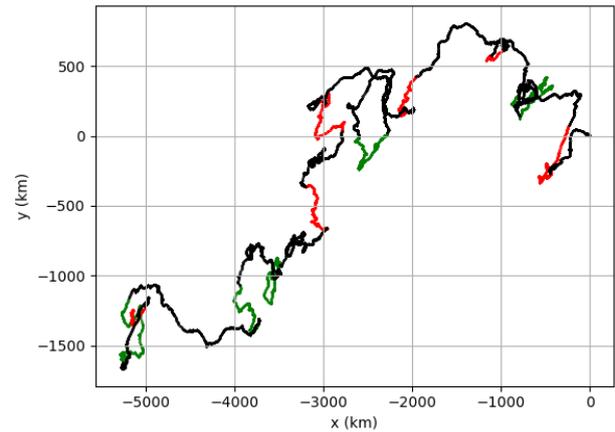


Fig. 23: Vector progresivo en el Golfo de Valencia.

Los vectores progresivos de las corrientes de la plataforma del Ebro no muestran ningún comportamiento asociado a distintas fases del índice IDEA (Fig. ??). A una profundidad de 300 m (Fig. 25) solo se disponen datos con índice $IDEA > 0.5$, y se ve un comportamiento muy claro con un desplazamiento en dirección suroeste. A una profundidad de 100 m (Fig. 24) si disponen de un año con $IDEA < 0.5$ con el que podría compararse los distintos modos, sin embargo, la serie temporal sufre una discontinuidad de 4 años justo termina el periodo con $IDEA < 0.5$, con lo que no puede verse el comportamiento de las corrientes justo después de la formación de WIW, con lo cual no pueden sacarse muchas conclusiones. Con las series temporales (Fig. 26 , 27), puede verse que predomina la componente paralela a la costa, en sentido hacia el canal de Ibiza. Comparando las serie temporales con la del índice IDEA, no se encuentra ninguna relación apreciable.

Ademas, esto resultados presentan unas barras de error grandes, con lo que los resultados tampoco son concluyentes. A profundidades de 300 y 500 solo se disponen datos de los años 1997-1999, y no presentan ninguna diferencia respecto los otros.

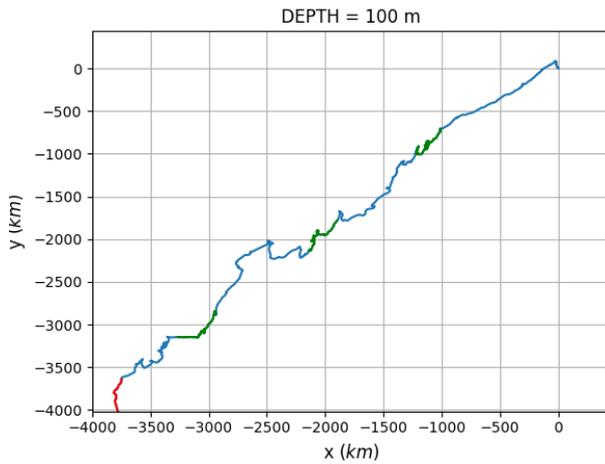


Fig. 24: Vector progresivo a una profundidad de 100 m en el delta del Ebro. En rojo: $IDEA < 0.5$; en verde $IDEA > 0.5$; ambos datos entre Diciembre-Marzo.

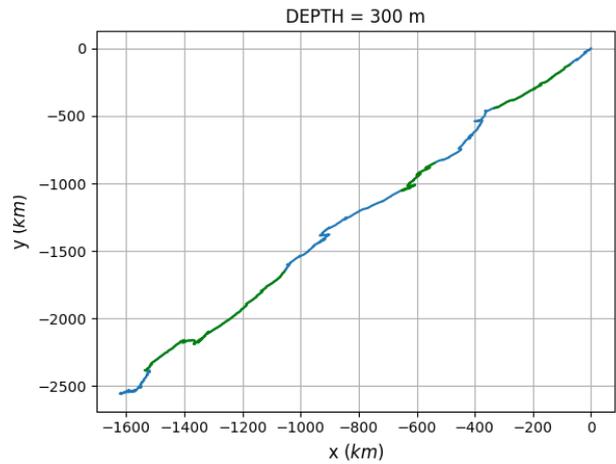


Fig. 25: Vector progresivo a una profundidad de 300 m en el delta del Ebro. En rojo: $IDEA < 0.5$; en verde $IDEA > 0.5$; ambos datos entre Diciembre-Marzo.

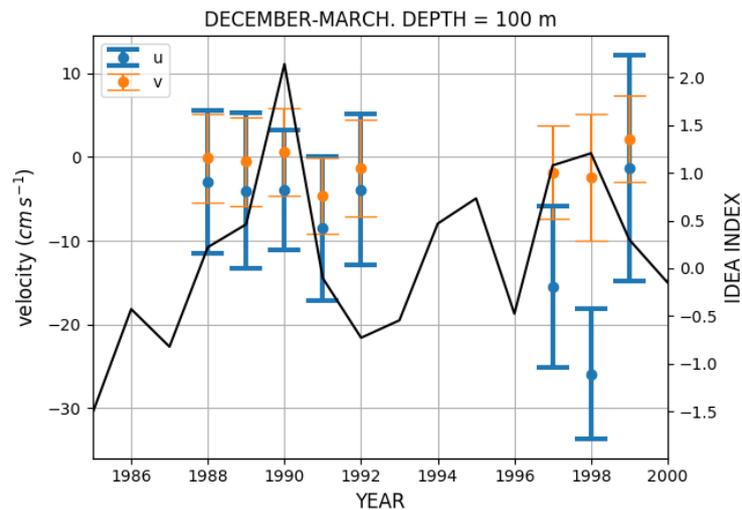


Fig. 26: Serie temporal de las componentes de la corriente sobre la plataforma continental del Ebro, con ejes principales, promediada sobre le periodo de Diciembre-Marzo, a una profundidad de 100 m. En negro la serie temporal del índice IDEA.

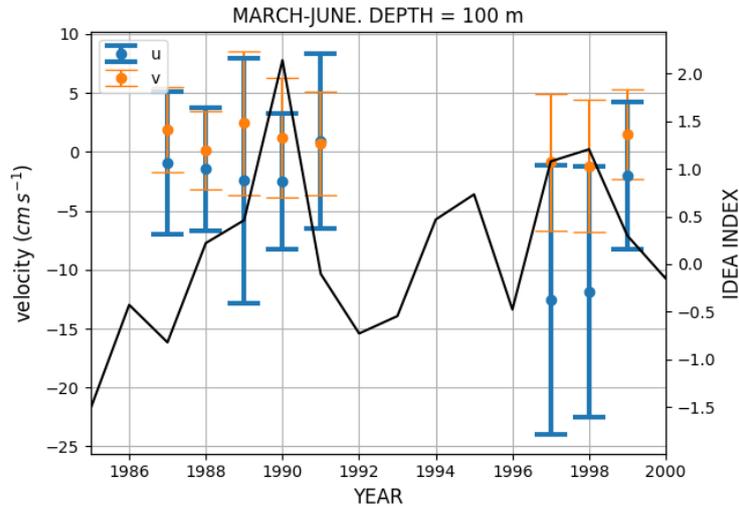


Fig. 27: Serie temporal de las componentes de la corriente sobre la plataforma continental del Ebro, con ejes principales, promediada sobre le periodo de Marzo-Junio, a una profundidad de 100 m. En negro la serie temporal del índice IDEA.

4 Conclusión

En este estudio se ha comprobado la actual validez de índice climático IDEA y se han buscado posibles relaciones de sus distintos modos con factores biogeoquímicos y las corrientes.

En primer lugar, se ha comprobado que a día de hoy el índice IDEA sigue siendo un buen indicador, mas que los flujos de calor, de la generación de WIW y de su presencia en el Canal de Ibiza. Cualitativamente a mostrado guardar relación con la convección producida en el Golfo de León en los meses de invierno. Este índice ademas puede extrapolarse a la zona del canal y se obtiene casi los mismos resultados tanto del índice como de los flujos netos superficiales de calor. Que los flujos de calor tengan el mismo comportamiento parece indicar que la zona comprendida desde el Golfo de León hasta las Islas Baleares sufre el mismo forzamiento atmosférico, algo que concordaría con la formación de WIW en la zona del Ebro [Juza et al. 2013].

Tal y como indicó Balbín et al. (2014), se ha encontrado que la presencia de WIW se puede relacionar con valores superiores de la concentración de oxígeno, del mismo modo que se ha encontrado que las masas de agua en rangos de salinidades de las WIW implican valores mas pequeños de nutrientes tales como los nitratos y los silicatos. Por lo tanto, parece ser que la presencia de WIW implica una entrada de oxígeno a la vez que una reducción de los nutrientes al desplazar las LIW que se encontraban en la zona con los nutrientes. Esta modificación en la concentración de oxígeno podría hacer que en algún momento se alcanzaran niveles subletales para especies como la merluza [R. Vaquer, comunicación personal] y se produjeran las diferencias interanuales en el numero de reclutas, como se ha mencionado en la introducción de este trabajo, así como tener

otros efectos sobre otras especies que habitan las aguas de las Baleares y ser la responsable de las diferencias entre especies de la subcuenca Balear y de Algeria.

A partir de los datos insitu empleados, se ha obtenido que la presencia de WIW en el Canal de Ibiza no implica su presencia alrededor de la Islas Baleares, pero si a la inversa, por lo que pueden suponerse que debe haber un mecanismo adicional que haga llegar estas masas de agua unos años si y otros no. En este trabajo se ha intentado explicar estudiando las corrientes, sin embargo no se ha encontrado ninguna relación entre las corrientes y el índice IDEA.

Como resumen final: el índice IDEA sigue siendo el mejor indicador de la generación de WIW, estas aguas provocan cambios en las propiedades biogeoquímicas de la aguas que rodean las Baleares, pero no se ha podido relacionar su presencia con la modificación de las corrientes de la zona.

5 Bibliografía

References

- [Allen et al. 2008] Allen, J.T., Painter, S.C., Rixen, M. *Eddy transport of western Mediterranean intermediate water to the Alboran Sea* (2008) Journal of Geophysical Research: Oceans, 113 (4), art. no. C04024, .
- [Amores y Monserrat 2014] Amores, A., Monserrat, S. *Hydrodynamic comparison between the north and south of Mallorca Island* (2014) Journal of Marine Systems, 138, pp. 40-50. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2014.01.005
- [Amores et al. 2013] Amores, A., Monserrat, S., Marcos, M. *Vertical structure and temporal evolution of an anticyclonic eddy in the Balearic Sea (western Mediterranean)* (2013) Journal of Geophysical Research: Oceans, 118 (4), pp. 2097-2106.
- [Aparicio-González et al. 2015] Aparicio-González, A., López-Jurado, J.L., Balbín, R., Alonso, J.C., Amengual, B., Jansá, J., García, M.C., Moyá, F., Santiago, R., Serra, M., Vargas-Yáñez, M. *Ibamar database: Four decades of sampling on the Western Mediterranean Sea* (2015) Data Science Journal, 13, pp. 172-191.
- [Balbín et al. 2012] Balbín, R., Flexas, M.M., López-Jurado, J.L., Peña, M., Amores, A., Alemany, F. *Vertical velocities and biological consequences at a front detected at the balearic sea* (2012) Continental Shelf Research, 47, pp. 28-41. DOI: 10.1016/j.csr.2012.06.008
- [Balbín et al. 2014] Balbín, R., López-Jurado, J.L., Aparicio-González, A., Serra, M. *Seasonal and interannual variability of dissolved oxygen around the Balearic Islands from hydrographic data* (2014) Journal of Marine Systems, 138, pp. 51-62. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2013.12.007

- [Balbín et al. 2014] Balbín, R., López-Jurado, J.L., Flexas, M.M., Reglero, P., Vélez-Velchí, P., González-Pola, C., Rodríguez, J.M., García, A., Alemany, F. *Interannual variability of the early summer circulation around the Balearic Islands: Driving factors and potential effects on the marine ecosystem* (2014) *Journal of Marine Systems*, 138, pp. 70-81. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2013.07.004
- [Dee et al. 2011] Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A. C. M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., Haimberger, L., Healy, S. B., Hersbach, H., Hólm, E. V., Isaksen, I., Kållberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A. P., Monge-Sanz, B. M., Morcrette, J.-J., Park, B.-K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J.-N. and Vitart, F. *The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system*. (2011) *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 137: 553–597. doi: 10.1002/qj.828
- [Durant et al. 2013] Durant, J.M., Hidalgo, M., Rouyer, T., Hjermann, D.Ø., Ciannelli, L., Eikeset, A.M., Yaragina, N., Stenseth, N.C. *Population growth across heterogeneous environments: Effects of harvesting and age structure* (2013) *Marine Ecology Progress Series*, 480, pp. 277-287. DOI: 10.3354/meps10308
- [Farriols et al. 2015] Farriols, M.T., Ordines, F., Hidalgo, M., Guijarro, B., Massutí, E. *N90index: A new approach to biodiversity based on similarity and sensitive to direct and indirect fishing impact* (2015) *Ecological Indicators*, 52, pp. 245-255. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.12.009
- [Fuentes et al. 2010] Fuentes, V.L., Angel, D.L., Bayha, K.M., Atienza, D., Edelist, D., Bordehore, C., Gili, J.-M., Purcell, J.E. *Blooms of the invasive ctenophore, Mnemiopsis leidyi, span the Mediterranean Sea in 2009* (2010) *Hydrobiologia*, 645 (1), pp. 23-37. DOI: 10.1007/s10750-010-0205-z
- [García-Lafuente et al. 2017] García-Lafuente, J., Naranjo, C., Sammartino, S., Sánchez-Garrido, J.C., Delgado, J. *The Mediterranean outflow in the Strait of Gibraltar and its connection with upstream conditions in the Alborán Sea* (2017) *Ocean Science*, 13 (2), pp. 195-207. DOI: 10.5194/os-13-195-2017
- [García-Merchán et al. 2012] García-Merchán, V.H., Robainas-Barcia, A., Abelló, P., Macpherson, E., Palero, F., García-Rodríguez, M., Gil de Sola, L., Pascual, M. *Phylogeographic patterns of decapod crustaceans at the Atlantic-Mediterranean transition* (2012) *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 62 (2), pp. 664-672. DOI: 10.1016/j.ympev.2011.11.009
- [Good et al. 2013] Good, S. A., Martin, M. J., Rayner, N. A. *EN4: quality controlled ocean temperature and salinity profiles and monthly objective analyses with uncertainty estimates* (2013) *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118, 6704-6716, doi:10.1002/2013JC009067

- [Guijarro et al. 2012] Guijarro, B., Fanelli, E., Moranta, J., Cartes, J.E., Massutí, E. *Small-scale differences in the distribution and population dynamics of pandalid shrimps in the western Mediterranean in relation to environmental factors* (2012) Fisheries Research, 119-120, pp. 33-47. DOI: 10.1016/j.fishres.2011.12.001
- [Guijarro et al. 2009] Guijarro, B., Massutí, E., Moranta, J., Cartes, J.E. *Short spatio-temporal variations in the population dynamics and biology of the deep-water rose shrimp *Parapenaeus longirostris* (Decapoda: Crustacea) in the western Mediterranean* (2009) Scientia Marina, 73 (1), pp. 183-197. DOI: 10.3989/scimar.2009.73n1183
- [Guijarro et al. 2011] Guijarro, B., Tserpes, G., Moranta, J., Massutí, E. *Assessment of the deep water trawl fishery off the Balearic Islands (western Mediterranean): From single to multi-species approach* (2011) Hydrobiologia, 670 (1), pp. 67-85. DOI: 10.1007/s10750-011-0670-z
- [González-Wangüemert et al. 2016] González-Wangüemert, M., Valente, S., Henriques, F., Domínguez-Godino, J.A., Serrão, E.A. *Setting preliminary biometric baselines for new target sea cucumbers species of the NE Atlantic and Mediterranean fisheries* (2016) Fisheries Research, 179, pp. 57-66. DOI: 10.1016/j.fishres.2016.02.008
- [Herrera et al. 2014] Herrera, A., Gómez, M., Packard, T.T., Reglero, P., Blanco, E., Barberá-Cebrián, C. *Potential respiration estimated by electron transport system activity in deep-sea suprabenthic crustaceans off Balearic Islands (Western Mediterranean)* (2014) Journal of Marine Systems, 138, pp. 104-111 DOI: 10.1016/j.jmarsys.2014.02.015
- [Heslop, 2012] Heslop, E.E., Ruiz, S., Allen, J., López-Jurado, J.L., Renault, L., Tintoré, J. *Autonomous underwater gliders monitoring variability at choke points in our ocean system: A case study in the Western Mediterranean Sea* (2012) Geophysical Research Letters, 39 (20), art. no. L20604. DOI: 10.1029/2012GL053717
- [Hidalgo et al. 2012] Hidalgo, M., Rouyer, T., Bartolino, V., Cerviño, S., Ciannelli, L., Massutí, E., Jadaud, A., Saborido-Rey, F., Durant, J.M., Santurtún, M., Piñeiro, C., Stenseth, N.C. *Context-dependent interplays between truncated demographies and climate variation shape the population growth rate of a harvested species* (2012) Ecography, 35 (7), pp. 637-649. DOI: 10.1111/j.1600-0587.2011.07314.x
- [Hidalgo, 2011] Hidalgo, M., Rouyer, T., Molinero, J.C., Massutí, E., Moranta, J., Guijarro, B., Stenseth, N.Chr. *Synergistic effects of fishing-induced demographic changes and climate variation on fish population dynamics* (2011) Marine Ecology Progress Series, 426, pp. 1-12. DOI: 10.3354/meps09077
- [Hidalgo et al. 2015] Hidalgo, M., Rueda, L., Molinero, J.C., Guijarro, B., Massutí, E. *Spatial and temporal variation of seasonal synchrony in the deep-sea shrimp *Aristeus antennatus* in the Western Mediterranean* (2015) Journal of Marine Systems, 148, pp. 131-141. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2015.02.007

- [Houpert, 2015] Houpert, L., Testor, P., de Madron, X.D., Somot, S., D'Ortenzio, F., Estournel, C., Lavigne, H. *Seasonal cycle of the mixed layer, the seasonal thermocline and the upper-ocean heat storage rate in the Mediterranean Sea derived from observations* (2015) *Progress in Oceanography*, 132, pp. 333-352. DOI: 10.1016/j.pocean.2014.11.004
- [Jordi y Hameed 2009] Jordi, A., Hameed, S. *Influence of the Icelandic low on the variability of surface air temperature in the Gulf of Lion: Implications for intermediate water formation* (2009) *Journal of Physical Oceanography*, 39 (12), pp. 3228-3232. DOI: 10.1175/2009JPO4194.1
- [Juza et al. 2013] Juza, M., Renault, L., Ruiz, S., Tintoré, J. *Origin and pathways of winter intermediate water in the northwestern mediterranean sea using observations and numerical simulation* (2013) *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118 (12), pp. 6621-6633. DOI: 10.1002/2013JC009231
- [Lana et al. 2016] Lana, A., Marmain, J., Fernández, V., Tintoré, J., Orfila, A. *Wind influence on surface current variability in the Ibiza Channel from HF Radar* (2016) *Ocean Dynamics*, 66 (4), pp. 483-497. DOI: 10.1007/s10236-016-0929-z
- [López-Jurado et al. 2014] Lopez-Jurado, J.L., Aparicio-González, A., Babín, R., Alonso, J., Amengual, B., Jansá, J., García-Martínez, M., Moya, F., Serra, M., Vargas-Yáñez, M. *IBAMar DATABASE: 4 decades sampling on the Western Mediterranean Sea*. (2014) Instituto Español de Oceanografía doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.831923 and <http://www.ba.ieo.es/ibamar/>
- [López-Jurado et al. 2008] López-Jurado, J.L., Marcos, M., Monserrat, S. *Hydrographic conditions affecting two fishing grounds of Mallorca island (Western Mediterranean): during the IDEA Project (2003-2004)* (2008) *Journal of Marine Systems*, 71 (3-4), pp. 303-315. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2007.03.007
- [Mason y Pascual, 2013] Mason, E., Pascual, A. *Multiscale variability in the Balearic Sea: An altimetric perspective* (2013) *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118 (6), pp. 3007-3025. DOI: 10.1002/jgrc.20234
- [Massutí et al. 2008] Massutí, E., Monserrat, S., Oliver, P., Moranta, J., López-Jurado, J.L., Marcos, M., Hidalgo, M., Guijarro, B., Carbonell, A., Pereda, P. *The influence of oceanographic scenarios on the population dynamics of demersal resources in the western Mediterranean: Hypothesis for hake and red shrimp off Balearic Islands* (2008) *Journal of Marine Systems*, 71 (3-4), pp. 421-438. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2007.01.009
- [Massutí et al. 2014] Massutí, E., Olivar, M.P., Monserrat, S., Rueda, L., Oliver, P. *Towards understanding the influence of environmental conditions on demersal resources and ecosystems in the western Mediterranean: Motivations, aims and methods of the IDEADOS project* (2014) *Journal of Marine Systems*, 138, pp. 3-19. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2014.01.013

- [Millot 1999] Millot, C. *Circulation in the Western Mediterranean Sea* (1999) Journal of Marine Systems 20, 423–442
- [Millot y Taupier-Letage. 2005] Millot, C., Taupier-Letage, I. *Circulation in the Mediterranean Sea* (2005) Hdb Env Chem Vol. 5, Part K: 29–66 DOI 10.1007/b107143
- [Mokhtar-Jamaï et al. 2011] Mokhtar-Jamaï, K., Pascual, M., Ledoux, J.-B., Coma, R., Féral, J.-P., Garrabou, J., Aurelle, D. *From global to local genetic structuring in the red gorgonian *Paramuricea clavata*: The interplay between oceanographic conditions and limited larval dispersal* (2011) Molecular Ecology, 20 (16), pp. 3291–3305. DOI: 10.1111/j.1365-294X.2011.05176.x
- [Monserrat et al. 2008] Monserrat, S., López-Jurado, J.L., Marcos, M. *A mesoscale index to describe the regional circulation around the Balearic Islands* (2008) Journal of Marine Systems, 71, pp. 413–420.
- [Morales-Nin et al. 2014] Morales-Nin, B., Pérez-Mayol, S., Palmer, M., Geffen, A.J. *Coping with connectivity between populations of *Merluccius merluccius*: An elusive topic* (2014) Journal of Marine Systems, 138, pp. 211–219. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2014.04.009
- [Naranjo et al. 2015] Naranjo, C., Sammartino, S., García-Lafuente, J., Bellanco, M.J., Taupier-Letage, I. *Mediterranean waters along and across the Strait of Gibraltar, characterization and zonal modification* (2015) Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 105, pp. 41–52. DOI: 10.1016/j.dsr.2015.08.003
- [Oguz et al. 2015] Oguz, T., Macias, D., Tintore, J. *Ageostrophic frontal processes controlling phytoplankton production in the Catalano-Balearic Sea (Western Mediterranean)* (2015) PLoS ONE, 10 (6), art. no. e0129045, . DOI: 10.1371/journal.pone.0129045
- [Ordines et al. 2011] Ordines, F., Massutí, E., Moranta, J., Quetglas, A., Guijarro, B., Fliti, K. *Balearic islands vs algeria: Two nearby western mediterranean elasmobranch assemblages with different oceanographic scenarios and fishing histories* (2011) Scientia Marina, 75 (4), pp. 707–717. DOI: 10.3989/scimar.2011.75n4707
- [Pedersen et al. 2011] Pedersen, M.Ø., Serrano, O., Mateo, M.Á., Holmer, M. *Temperature effects on decomposition of a *Posidonia oceanica* mat* (2011) Aquatic Microbial Ecology, 65 (2), pp. 169–182. DOI: 10.3354/ame01543
- [Pinardi et al. 2013] Pinardi, N., Zavatarelli, M., Adani, M., Coppini, G., Fratianni, C., Oddo, P., Simoncelli, S., Tonani, M., Lyubartsev, V., Dobricic, S., Bonaduce, A., *Mediterranean Sea large-scale low-frequency ocean variability and water mass formation rates from 1987 to 2007: A retrospective analysis* (2013) Progress in Oceanography
- [Pinot y Ganachaud 1999] Pinot, J.M., Ganachaud, A. *The role of winter intermediate waters in the spring–summer circulation of the Balearic Sea. Part I: hydrography and inverse box modelling.* (1999) Journal of Geophysical Research 104 (C12), 29,843.

- [Pinot et al. 2002] Pinot, J.M., Lopez-Jurado, J.L., Riera, M. *The CANALES experiment (1996–1998). Interannual, seasonal, and mesoscale variability of the circulation in the Balearic Channels.* (2002) Progress in Oceanography 55, 335–370.
- [Pinot et al. 1995] Pinot, J.M., Tintoré, J., Gomis, D. *Multivariate analysis of the surface circulation in the Balearic Sea.* (1995) Progress in Oceanography 36, 343–376.
- [Quetglas et al. 2013] Quetglas, A., Ordines, F., Hidalgo, M., Monserrat, S., Ruiz, S., Amores, A., Moranta, J., Massutí, E. *Synchronous combined effects of fishing and climate within a demersal community* (2013) ICES Journal of Marine Science, 70 (2), pp. 319-328. DOI: 10.1093/icesjms/fss181
- [Ramírez-Amaro et al. 2018] Ramírez-Amaro, S., Picornell, A., Arenas, M., Castro, J.A., Massutí, E., Ramon, M.M., Terrasa, B. *Contrasting evolutionary patterns in populations of demersal sharks throughout the western Mediterranean* (2018) Marine Biology, 165 (1), art. no. 3, . DOI: 10.1007/s00227-017-3254-2
- [Ramón et al. 2014] Ramón, M., Abelló, P., Ordines, F., Massutí, E. *Reprint of "Deep epibenthic communities in two contrasting areas of the Balearic Islands (western Mediterranean)"* (2014) Journal of Marine Systems, 138, pp. 182-193. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2014.04.004
- [Ribó et al. 2015] Ribó, M., Puig, P., van Haren, H. *Hydrodynamics over the Gulf of Valencia continental slope and their role in sediment transport* (2015) Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 95, pp. 54-66. DOI: 10.1016/j.dsr.2014.10.004
- [Rueda et al. 2014] Rueda, L., Moranta, J., Abelló, P., Balbín, R., Barberá, C., Fernández de Puellas, M.L., Olivar, M.P., Ordines, F., Ramón, M., Torres, A.P., Valls, M., Massutí, E. *Body condition of the deep water demersal resources at two adjacent oligotrophic areas of the western Mediterranean and the influence of the environmental features* (2014) Journal of Marine Systems, 138, pp. 194-202.
- [Sanchez-Gomez et al. 2011] Sanchez-Gomez, E., Somot, S., Josey, S. A., Dubois, C., Elguindi, N., Déqué, M. *Evaluation of Mediterranean Sea water and heat budgets simulated by an ensemble of high resolution regional climate models.* Clim Dyn (2011) 37:2067–2086. DOI 10.1007/s00382-011-1012-6
- [Simão et al. 2014] Simão, D.S., Torres, A.P., Olivar, M.P., Abelló, P. *Vertical and temporal distribution of pelagic decapod crustaceans over the shelf-break and middle slope in two contrasting zones around Mallorca (western Mediterranean Sea)* (2014) Journal of Marine Systems, 138, pp. 139-149.
- [Simão et al. 2015] Simão, D.S., Zas, E., Carbonell, A., Abelló, P. *Pasiphaeid shrimps in the western Mediterranean: Geographical variability in distribution and population patterns* (2015) Scientia Marina, 79 (2), pp. 199-209.

- [Somot et al. 2016] Somot, S., Houpert, L., Sevault, F., Testor, P., Bosse, A., Taupier-Letage, I., Bouin, M., Waldman, R., Cassou, C., Sanchez-Gomez, E., Durrieu de Madron, X., Adloff, F., Nabat, P., Herrmann, M. *Characterizing, modelling and understanding the climate variability of the deep water formation in the North-Western Mediterranean Sea* (2016) *Clim Dyn* DOI 10.1007/s00382-016-3295-0
- [Tintore, J. et al. 2013] *The Balearic Islands Coastal Ocean Observing and Forecasting System Responding to Science, Technology and Society Needs* (2013) *Marine Technology Society Journal*, 47 (1), doi: 10.4031/MTSJ.47.1.10
- [Torres et al. 2014] Torres, A.P., Dos Santos, A., Balbín, R., Alemany, F., Masutí, E., Reglero, P. *Decapod crustacean larval communities in the Balearic Sea (western Mediterranean): Seasonal composition, horizontal and vertical distribution patterns* (2014) *Journal of Marine Systems*, 138, pp. 112-126. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2013.11.017
- [Troupin et al. 2015] Troupin, C., Pascual, A., Valladeau, G., Pujol, I., Lana, A., Heslop, E., Ruiz, S., Torner, M., Picot, N., Tintoré, J. *Illustration of the emerging capabilities of SARAL/AltiKa in the coastal zone using a multi-platform approach* (2015) *Advances in Space Research*, 55 (1), pp. 51-59. DOI: 10.1016/j.asr.2014.09.011
- [Vandorpe et al. 2011] Vandorpe, T.P., van Rooij, D., Stow, D.A.V., Henriët, J.-P. *Pliocene to Recent shallow-water contourite deposits on the shelf and shelf edge off south-western Mallorca, Spain* (2011) *Geo-Marine Letters*, 31 (5-6), pp. 391-403. DOI: 10.1007/s00367-011-0248-9
- [Vargas-Yáñez et al. 2012] Vargas-Yáñez, M., Zunino, P., Schroeder, K., López-Jurado, J.L., Plaza, F., Serra, M., Castro, C., García-Martínez, M.C., Moya, F., Salat, J. *Extreme Western Intermediate Water formation in winter 2010* (2012) *Journal of Marine Systems* 105–108, 52–59