



**Universitat de les  
Illes Balears**

Facultat de Ciències

**Memòria del Treball de Fi de Grau**

**Estudio de la presencia del alga invasora *Halimeda  
incrassata* sobre la actividad del raor (*Xyrichtys  
novacula*) y la pesca recreativa**

**José Ramis Llabrés**

**Grau de Biologia**

Any acadèmic 2017-18

Treball tutelat per Josep Alós Crespí

Grup d'Ecologia de peixos, Institut Mediterrani d'Estudis Avançats (IMEDEA)

S'autoritza la Universitat a incloure aquest treball en el Repositori Institucional per a la seva consulta en accés obert i difusió en línia, amb finalitats exclusivament acadèmiques i d'investigació	Autor		Tutor	
	Sí	No	Sí	No
	X		X	

Paraules clau del treball:

*Xyrichtys novacula*, invasió, *Halimeda incrassata*



# INDICE

Resumen.....	pág 4
Abstract.....	pág 5
Introducción.....	pág 5
Objetivos.....	pág 10
Material y métodos.....	pág 11
• Caso de estudio	
• Modelo oculto de Markov	
• Algoritmo para obtener ruta GPS de las embarcaciones	
• Ajuste de los parámetros del modelo oculto de Markov y prueba de la hipótesis	
Resultados .....	pág 16
Discusión.....	pág 17
Conclusión.....	pág 21
Referencias.....	pág 22

**Estudio de la presencia del alga invasora *Halimeda incrassata* sobre la actividad del raor (*Xyrichtys novacula*) y la pesca recreativa.**

**Resumen**

El establecimiento de algas marinas que forman hábitats no nativos en nuevas áreas, puede desencadenar cambios importantes en el funcionamiento del ecosistema, incluida la redistribución espacial de la biodiversidad nativa. Aquí testamos la hipótesis de si el patrón de movimiento de embarcaciones durante la pesca se ve alterado por un cambio en la distribución espacial del raor, *Xyrichtys novacula*, inducido por la introducción de un alga marina invasora, la *Halimeda incrassata*. El objetivo de este estudio es comprobar si la presencia de *Halimeda incrassata* tiene un efecto sobre el patrón de movimiento de las embarcaciones de pesca recreativa del raor. Para ello se utilizará un modelo muy simple de transición de los dos estados de movimiento de la embarcación (en movimiento o parado). Se comprobará estadísticamente si hay relación entre las dos variables con una matriz de correlación. Así pues por primera vez se estudiará si la alga *Halimeda incrassata* tiene algún efecto sobre el hombre, concretamente sobre la pesca recreativa, ya que anteriormente se ha comprobado que presenta un efecto ecológico sobre el raor, cambiando potencialmente su hábitat. Los resultados del estudio muestran que el factor hábitat invadido con *Halimeda*, tiene un efecto positivo sobre el movimiento de la embarcación, aumenta la probabilidad de que si se está pescando sobre *Halimeda*, se pase a un movimiento activo de búsqueda, contrariamente a lo que se esperaba en la hipótesis inicial.

## Abstract

The establishment of marine algae that form non-native habitats in new areas can trigger important changes in the functioning of the ecosystem, including the spatial redistribution of native biodiversity. Here we tested the hypothesis of whether the pattern of movement of vessels during fishing is altered by a change in the spatial distribution of the raor, *Xyrichtys novacula*, induced by the introduction of an invasive seaweed, the *Halimeda incrassata*. The objective of this study is to verify if the presence of *Halimeda incrassata* has an effect on the movement pattern of the recreational fishing vessels of the raor. For this, a very simple model of transition of the two states of movement of the vessel (moving or stopped) will be used. It will be verified statistically if there is a relationship between the two variables with a correlation matrix. Thus, for the first time, it will be studied whether *Halimeda incrassata* algae has any effect on man, specifically on recreational fishing, since previously it has been shown to have an ecological effect on the raor, potentially changing its habitat. The results of the study show that the habitat factor invaded with *Halimeda*, has a positive effect on the movement of the vessel, increases the probability that if fishing on *Halimeda*, you move to an active search movement, contrary to what is expected in the initial hypothesis.

## Introducción

Las especies marinas no nativas se consideran una de las principales amenazas para la biodiversidad mundial (Bax et al., 2003). Alrededor del 84% de las ecoregiones marinas han documentado la presencia de especies no autóctonas (Molnar et al., 2008). El Mar Mediterráneo es especialmente vulnerable a las invasiones biológicas (Galil et al., 2014; Zenetos et al., 2017). Hoy en día, muchas especies de aguas cálidas con afinidad tropical diferentes taxones han colonizado áreas templadas, incluido el mar Mediterráneo (Bianchi

2007), y se espera que este proceso se acelere en el futuro cercano (Raitsos et al., 2010; Vergés et al., 2014a ,b). El aumento del calentamiento global que está experimentando el Mar Mediterráneo (Marbà et al., 2015), y la creación del Canal de Suez (Galil 2009; Katsanevakis et al., 2014), se considera que el Mediterráneo está sufriendo un proceso de tropicalización (Bianchi 2007).

El aumento de algas tropicales no nativas es una gran preocupación debido a los cambios estructurales en el paisaje marino nativo que estas especies pueden causar. Este hecho puede, a su vez, conducir a cambios en la biodiversidad de las comunidades asociadas y los consecuentes efectos en cascada de la cadena alimenticia (Schaffelke et al., 2006; Dijkstra et al., 2017). Se han descrito más de 125 especies de algas marinas exóticas en el Mediterráneo (Zenetos et al., 2010). Uno de los casos más conocidos fue la introducción de *Caulerpa taxifolia*, también llamada alga marina asesina (Meinesz et al., 2001). *C. taxifolia*, originaria de mares tropicales y subtropicales, fue introducida accidentalmente en el Mediterráneo en 1984 por el Museo Oceanográfico de Mónaco. Las principales consecuencias de la presencia de esta especie son el desplazamiento del lecho marino formado por *Posidonia oceanica* y *Cymodocea nodosa*, además de la liberación de toxinas que conduce a una disminución de la biodiversidad de la cadena alimenticia (Streftaris y Zenetos 2006). Gran parte de la investigación sugiere que las algas marinas invasoras tienen un impacto negativo en el hábitat y las comunidades donde se introducen, aunque todavía faltan estudios sobre los efectos de las redes tróficas de la mayoría de las especies tropicales (Williams y Smith 2007), y también hay pruebas de los efectos positivos de las algas marinas invasoras en los niveles tróficos superiores (Thomsen et al., 2014).

Recientemente se ha descrito una nueva especie de alga tropical en el Mediterráneo, *Halimeda incrassata* (J. Ellis, 1816) (Bryopsidales, Chlorophyta). Es una pequeña alga verde, formada por segmentos calcáreos planos y en forma de diamante o redondos que forman extensos lechos verdes no nativos en fondos arenosos poco profundos (Verbruggen et al., 2006). Las especies tropicales del género *Halimeda* son importantes productoras de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) y carbono orgánico, que contribuyen a la estabilización de los sedimentos en las aguas tropicales (Hillis-Colinvaux 1980; Wefer 1980). La presencia de esta especie está lejos de ser anecdótica y en los últimos 6 años se ha extendido y creado grandes extensiones de fondos invadidos en hábitats arenosos poco profundos y sedimentarios de áreas templadas (Alós et al., 2016). La naturaleza de rápida expansión de *H. incrassata* en el Mediterráneo se atribuye a su rápido crecimiento y capacidad de renovación y sus eficaces defensas físicas y químicas contra peces herbívoros (Multer 1988, Targett et al., 1986). Sin embargo, no se sabe nada acerca de sus efectos potenciales en el funcionamiento de los ecosistemas nativos, pero es probable que los tenga ya que está cambiando drásticamente las características estructurales de los hábitats poco profundos. Los fondos poco profundos no consolidados y desprovistos de vegetación en las zonas templadas, incluido el mar Mediterráneo, tienden a ser más pobres (en términos de biodiversidad) que los asociados con pastos marinos o hábitats rocosos (Guidetti 2000). Sin embargo, los hábitats blandos someros están ampliamente distribuidos en las zonas templadas y de hecho sostienen comunidades de peces que pueden ser importantes para la pesca local (Alós et al., 2016; Morales-Nin et al., 2005). La comunidad de peces de fondos poco profundos templados no consolidados suele estar dominada por pleuronectiformes, espáridos, traquíidos... siendo el raor, *Xyrichtys novacula* (Linnaeus 1758) y el pedaç *Bothus podas* (Delaroche 1809) los más abundantes en hábitats de arena media y gruesa en el Mediterráneo, el Atlántico central y el Mar Caribe (Alós et al., 2012; Espino et al., 2015; Katsanevakis 2005; Tuya, et al., 2005). Ambas especies desempeñan un papel importante en la regulación descendente de la red alimentaria (Cardinale et al., 1997; Castriota

et al. 2005). Además, estas dos especies son altamente explotadas y valoradas por ciertas pesquerías locales en el Mediterráneo Occidental (Alós et al., 2016). Por lo tanto, el alga *Halimeda incrassata* recientemente introducida que cubre la mayoría del hábitat nativo de estas dos especies, puede tener importantes implicaciones ecológicas y socioeconómicas.

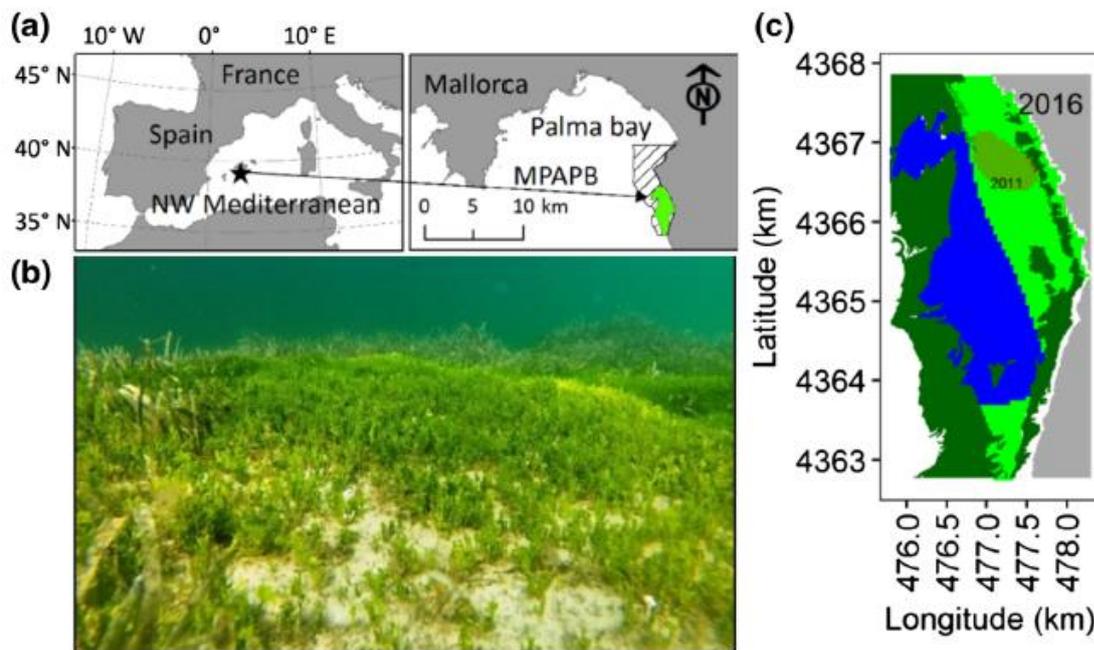


Figura 1: (a) Mapa que muestra la ubicación del área de estudio (en verde) ubicada dentro del Área Marina Protegida de la bahía de Palma (MPAPB), al sur de la isla de Mallorca, Islas Baleares. (b) Imagen de la invasión de *H. incrassata* en el MPAPB que cubre fondos someros poco profundos (autor: Fiona Tomás). (c) Estado de la invasión de *H. incrassata* en el área monitoreada dentro del MPAPB en 2011 y 2016. El mapa muestra la presencia de *H. incrassata* en verde claro, el hábitat nativo en azul y el área invadida por *H. incrassata* en 2011 como área de sombra verde oscuro. La latitud y la longitud se muestran en UTM en unidades de km. El verde oscuro representa el pasto marino y el gris representa la tierra.

El raón es un pequeño pez de la familia *Labridae* que habita exclusivamente en fondos finos de arena, entre los 10 y 40 m (Cagriota *et al.*, 2005). Es un pez hermafrodita proterogínico, es decir, madura primero como hembra y luego cambia a macho. Las hembras son por tanto de menor tamaño que los machos (Candi *et al.*, 2004). Este pequeño lábrido es de costumbres bentónicas de fondos arenosos, donde se alimenta principalmente de isópodos, pequeños crustáceos y poliquetos (Cagriota *et al.*, 2005). Es un pez con un marcado comportamiento social, durante el periodo reproductivo el macho posee un harén de hembras, con una jerarquía muy clara del macho dominante (Candi *et al.*, 2004). Cuando se captura un macho del harén, una de las hembras cambia de sexo para volverse macho. Por lo tanto, en las zonas con una mayor presión pesquera, los machos tienen una menor medida, ya que en muchos casos una hembra ha tenido que cambiar de sexo para actuar como macho antes de lo que lo haría en un lugar sin pesca (Riera y Linde, 2001).

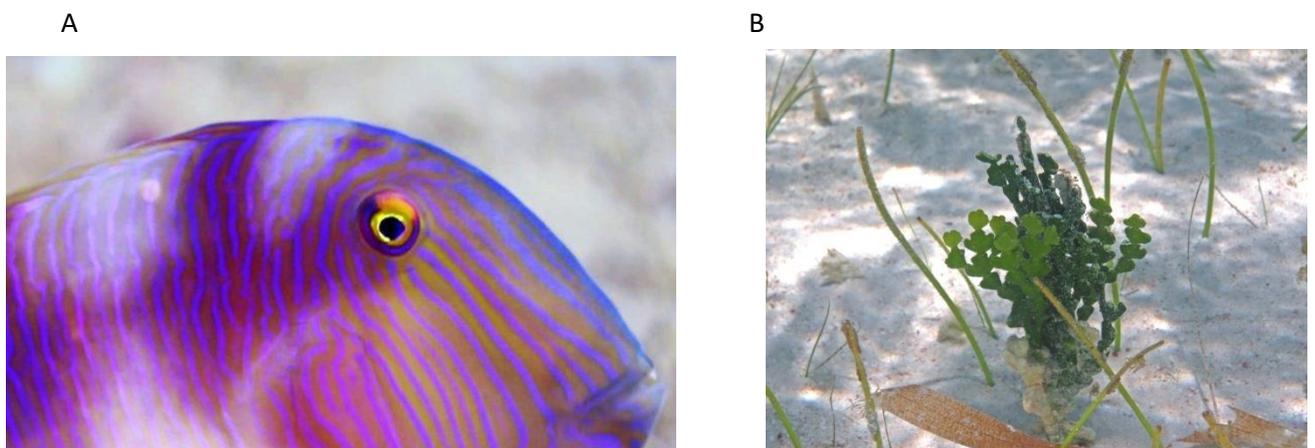


Figura 2: (A) Primer plano del raon, *Xyrichtys novacula*, observándose su particular librea de colores, tratándose en este caso, de un ejemplar macho por la tonalidad más azulada que presenta su cuerpo respecto a las hembras. (B) Individuo de *Halimeda incrassata* sobre un sustrato arenoso de *Cymodocea nodosa*.

El efecto que ha tenido *Halimeda incrassata* sobre el raon, se traduce en un cambio de hábitat desde los fondos arenosos donde habita normalmente el raon hacia fondos poco profundos colonizados por el alga invasora ( Alós *et al.*, 2018). El motivo está en que en estos fondos poco profundos, *Halimeda incrassata* ha provocado un aumento de la biomasa de la cual se alimenta el raon (Alós *et al.*, 2018). Por este motivo, en la zona de pesca del raon de la Bahía de Palma, la población se ha trasladado a las aguas poco profundas colonizadas por *H. incrassata*. En esta nueva zona los pescadores recreativos desconocen la presencia de raones, ya que no es su hábitat natural, provocando así un impacto social sobre los pescadores, los cuales tienen que ser capaces de encontrar la nueva zona de *Halimeda* donde la presencia de raones es más elevada (Alós *et al.*, 2018). Ya se han dado otros casos en los que un organismo puede provocar un cambio sobre la sociedad, como por ejemplo el caso del jacinto de agua, *Eichhornia crassipes*, afectando a la calidad de las aguas de regadío, la pesca, y la producción agrícola (Villamagna & Murphy, 2010)

## Objetivos

Considerando la presencia de una nueva especie invasora en el Mar Mediterraneo, en este estudio el objetivo general es:

- Determinar si la presencia de *Halimeda incrassata* en el lecho marino tiene algún efecto sobre el hombre, concretamente en el patrón de movimiento de las embarcaciones de pesca recreativa mientras están pescando el raon en el área de estudio. A la vez, este objetivo se compone de 3 subobjetivos:
  1. Desarrollar un algoritmo para obtener el movimiento y las posiciones de las embarcaciones en coordenadas UTM.

2. Obtener un modelo de movimiento de las embarcaciones basado en un modelo oculto de Markov (HMM)
3. Test de la hipótesis: comprobar si el factor hábitat invadido con *Halimeda*, tiene algún efecto estadístico sobre la matriz de transición.

Nuestra hipótesis inicial es que durante la jornada de pesca del raon, las embarcaciones permanecerán más tiempo en estado de pesca en la zona que esta invadida por *Halimeda*, debido a la mayor abundancia de raors en esta zona.

## **Material y métodos**

### *Caso de estudio*

El raon es ampliamente capturado en el Mediterráneo noroccidental principalmente por pescadores recreativos (Alós et al., 2016). Aquí estudiamos una pesquería ubicada en el sur de la isla de Mallorca, Islas Baleares (Fig. 1) y (Alós et al., 2012). En 2011, se detectó la presencia de una nueva especie de alga tropical en la pesquería, *Halimeda incrassata* (J. Ellis) J. V. Lamouroux (Bryopsidales, Chlorophyta) (Alós et al., 2016). Es una pequeña alga verde, formada por segmentos calcáreos planos y en forma de diamante o redondos que forman lechos verdes invasores en fondos arenosos poco profundos (Verbruggen et al., 2006). En lo que respecta a la explotación de la pesquería, se basa en un equipo de línea provista de pequeños anzuelos cebados con cebos naturales (pequeñas gambas, *Palaemon sp*) y desplegado desde las embarcaciones. Por lo tanto, el patrón de búsqueda realizado por la flota se caracteriza por ser intermitente, donde el barco se mueve libremente dentro de la pesquería, se detiene en un punto seleccionado y se inicia un evento de pesca de prueba y error para el raon. Todas las pesquerías de las Islas Baleares permanecen cerradas del 1 de abril al 31 de agosto debido a un

veda. Este cierre estacional ha provocado una fuerte concentración de barcos en los primeros días posteriores a la apertura de la veda, especialmente el día de la apertura (Alós et al., 2016). Este hecho no solo ha creado un aumento de las embarcaciones agrupadas temporalmente, sino que también ofrece una oportunidad única para probar cómo los hábitats no nativos pueden afectar el comportamiento de alimentación humana de una manera realista.

#### *Algoritmo para obtener la ruta GPS de las embarcaciones.*

El movimiento de la flota de barcos de pesca recreativa que explota la pesquería desde el día de la apertura de la veda (de 9:00 a 15:00, que cubre casi todo el esfuerzo de pesca del día) en 2016 se extrajo utilizando un time-lapse de imágenes de alta resolución. Se utilizó una cámara réflex Nikon modelo D3100 a intervalos de 2 segundos ubicados en tierra; en un acantilado ubicado al sur de la pesquería que permite cubrir toda la zona de pesca. La colección de imágenes de alta resolución con referencia temporal (4608 x 3072 píxeles) se utilizó para i) extraer la trayectoria individual de los barcos en dos dimensiones en píxeles y ii) transformar la trayectoria en latitud y longitud en coordenadas cartesianas bidimensionales sistema (UTM) y calcular el error observacional. Para ello, se programó un algoritmo supervisado para rastrear las embarcaciones individuales utilizando el software Python que permitió extraer la trayectoria (utilizando clics con el mouse) de embarcaciones individuales. La trayectoria real de un barco de control (un barco que pesca en la zona con un GPS) se usó para transformar todas las posiciones en píxeles a UTM usando la función de la biblioteca llamada opencv desde Python. La validación del sistema (es decir, error posicional como la distancia euclidiana entre las posiciones conocidas y las posiciones estimadas del barco de control) obtuvo un error promedio de 6.6 m del barco cuando estaba pescando y 15 m cuando estaba en movimiento. Para probar nuestra hipótesis y disminuir la autocorrelación temporal, las trayectorias realizadas se volvieron a discretizar de 2 a 60 segundos, con lo que se obtuvo un total de 20.773 posiciones de 185 trayectorias de barcos. Se seleccionaron los barcos que fueron

rastreados durante al menos 2 h, produciendo un conjunto de datos de 23 trayectorias (posición 4,851) para probar nuestra hipótesis. El sistema de rastreo no permitió ni el reconocimiento de las personas que pescan en el bote, ni la identificación de datos personales, como nombres de embarcaciones o números de licencia, y se creó un código numérico para identificar cada bote.

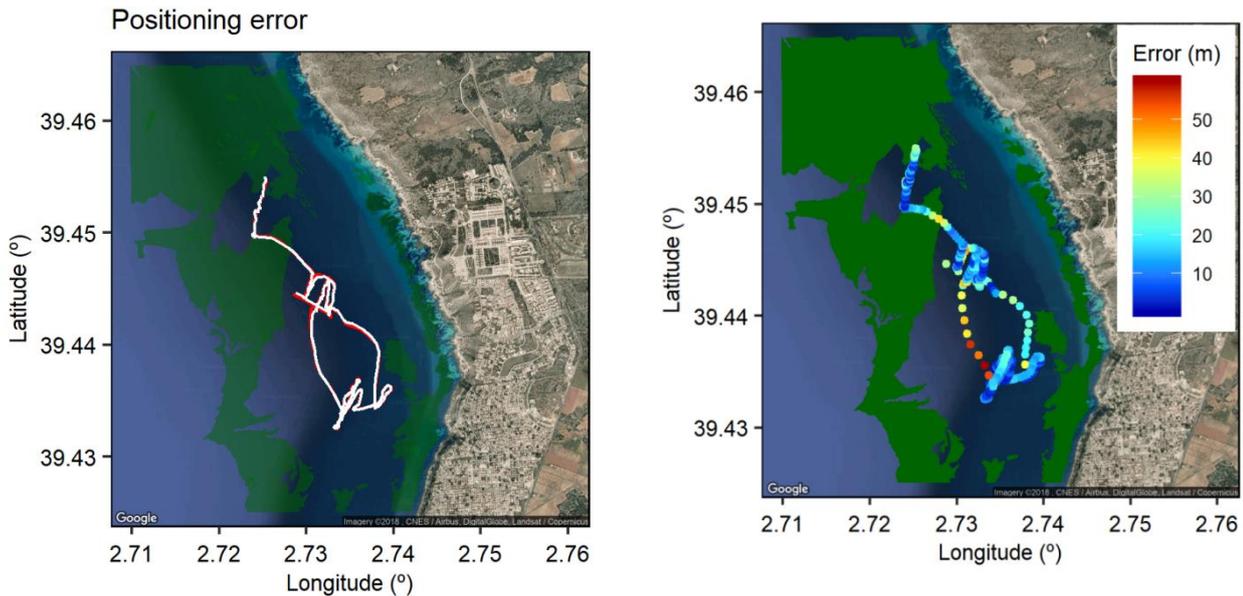


Figura 2: (Imagen 1 ) Error posicional de los datos obtenidos con la cámara instalada en la zona de pesca (rojo) y a la posición GPS real desde el barco control (blanco), se observa que el error es despreciable ya que se trabaja en una escala de kilómetros. (Imagen 2 ) Error posicional de los dos estados de la embarcación, en color rojo el error referido al estado de búsqueda, y en color azulado, el error referido al estado de pesca estático. Se observa también que el error es mínimo en los dos estados, ya que estamos hablando de errores de 10 m en una escala kilométrica.

#### *Modelo oculto de Markov (HMM) del comportamiento de búsqueda humana.*

Para probar nuestra hipótesis, utilizamos un modelo oculto de Markov (HMM) aplicado al conjunto de datos de movimientos de alta resolución descritos anteriormente. Los HMM se

están convirtiendo en una herramienta estadística popular utilizada para identificar diferentes estados conductuales a partir de datos de telemetría animal regularmente obtenidos y observados con un error insignificante (Patterson et al., 2009, Langrock et al., 2012, Michelot et al., 2017). Los HMM son una gran clase de modelos distinguidos en el caso más general por un conjunto de observaciones que dependen de un proceso de Markov. El proceso de Markov se usa para modelar los estados conductuales en el análisis del movimiento animal. Las trayectorias de los pescadores de barcos generalmente están compuestas por diferentes estados de comportamiento, principalmente tres: navegación, búsqueda y pesca (Vermard et al., 2010; Walker y Bez, 2010). En nuestro estudio de caso, los pescadores ya llegaron a la pesquería y realizaron un patrón de búsqueda clásico formado por dos estados: pesca vs. búsqueda (ver Fig. 1). Para ajustarse a nuestro HMM consideramos dos métricas clásicas derivadas de cada trayectoria de pescador; la longitud del paso ( $l_t$ ) y el ángulo de giro ( $\phi_t$ ) en el tiempo  $t$  (Auger-Méthé et al., 2015, Michelot et al., 2016). Utilizamos el paquete R (moveHMM, (Michelot et al., 2016)) desarrollado recientemente para estimar los parámetros HMM de movimiento, incluidos los parámetros de la matriz de probabilidad de transición entre los dos estados (pesca y búsqueda) y los efectos covariables. Siguiendo la estructura del modelo se generó una serie de datos bivariada compuesta por  $l_t$  (como la distancia euclidiana entre las posiciones en el momento  $t$  y  $t + 1$  en m) y  $\phi_t$  (el cambio de dirección entre las direcciones de movimiento durante los intervalos  $t-1, t$  y  $t, t + 1$  en rad) se calcularon para cada trayectoria de pescador utilizando la función prepData para el paquete moveHMM (Michelot et al., 2016). La secuencia oculta de estados por cada pescador de nuestra flota es generada por una matriz de probabilidad de transición  $2 \times 2$  compuesta por la probabilidad de permanecer en el estado actual (búsqueda  $\rightarrow$  búsqueda vs pescando  $\rightarrow$  pescando) y de cambiar (búsqueda  $\rightarrow$  pescando vs pescando  $\rightarrow$  búsqueda) (Michelot et al, 2016) . Para probar formalmente nuestra hipótesis de si el hábitat no nativo de algas afecta al comportamiento humano, adoptamos un HMM con el hábitat covariante (no invadido = 0 e invadido = 1) para

estimar el intervalo de confianza CI, es decir, evaluamos formalmente si la presencia de *Halimeda incrassata* afecta a las probabilidades de transición entre búsqueda y pesca.

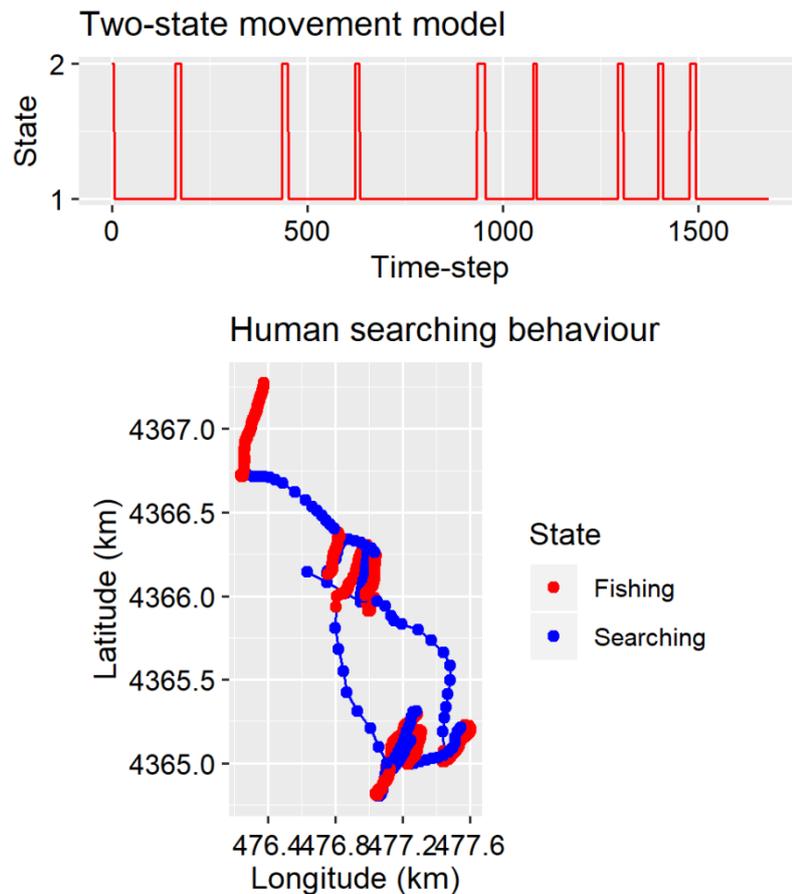


Figura 3: Modelo visual del movimiento que realiza una embarcación sobre una cuadrícula expresada en coordenadas UTM, en color rojo, posiciones en el que la barca se encuentra pescando, por lo tanto la distancia entre los puntos es muy reducida. En color azul las diferentes posiciones en que la barca cambio de estado y pasa a un estado de búsqueda, donde la distancia entre los puntos es mayor.

*Ajuste de los parámetros del modelo oculto de Markov y prueba de la hipótesis.*

Los parámetros del modelo HMM se estimaron utilizando la maximización numérica de la verosimilitud logarítmica utilizando la función fitHMM del paquete moveHMM (Michelot et al., 2016). Es decir, los parámetros de las distribuciones  $l_t$  (longitud de paso) y  $\phi_t$  (ángulo de giro)

para cada estado, los coeficientes de regresión de probabilidades de transición y la distribución de probabilidad inicial ( $\Delta$ ). Después de explorar visualmente la distribución  $l_t$  y  $\phi_t$ , consideramos que se describe mediante una distribución gamma con los parámetros media  $\mu$  y  $\sigma$ , y  $\phi_t$  descrito por una distribución de von Mises con dos parámetros:  $\mu$ , que se puede interpretar como el ángulo medio entre pasos; y la concentración  $\kappa$ , que puede interpretarse como el tamaño de la correlación direccional. Se eligió un conjunto de valores iniciales realistas para los parámetros de HMM para encontrar el óptimo global de la función de verosimilitud. Los pseudo-residuos de nuestro HMM se inspeccionaron visualmente para determinar la normalidad usando histogramas y diagramas qq para explorar la bondad de ajuste de nuestro HMM. La inclusión del hábitat covariante en el HMM se evaluó primero utilizando los puntajes del Criterio de información de Akaike (AIC) para dos HMM ajustados, con y sin el efecto del hábitat como covariante (el modelo con el AIC más pequeño era elegido). Finalmente, decodificamos la secuencia de estados del proceso oculto de Markov usando el algoritmo de Viterbi y la secuencia de probabilidades para cada estado en cualquier momento  $t$  implementado en las funciones `Viterbi` y `stateProbs` del paquete `moveHMM` (Michelot et al., 2016).

## **Resultados**

El análisis del AIC de los dos modelos ocultos de Markov ajustado a los datos de posicionamiento de los pescadores sugirió que el HMM con covariante hábitat (AIC = 50211.8) mostró una mejor bondad de ajuste que el modelo sin covariable (AIC = 50214.8). La evaluación de los histogramas y las gráficas qq del pseudo-residuo de la HMM final sugirió la normalidad de nuestro modelo. Las estimaciones y el IC de los parámetros HMM se muestran en la Tabla 1. La longitud del paso ( $l_t$ ) y el ángulo de giro, la distribución de ambos estados en nuestro modelo para el comportamiento humano fueron claramente diferentes a los esperados. Mientras que la pesca se caracterizó por pequeños pasos de longitud y varianza, y mayor concentración en el ángulo de giro (inducida por la deriva de los barcos siguiendo los

vientos y corrientes locales), la búsqueda se caracterizó por una gran longitud de paso y niveles de concentración más bajos de von Mises distribución del ángulo de giro (Tabla 1). Con respecto al efecto de interés (coeficiente de regresión para el hábitat ( $\beta_1$ ) para las probabilidades de transición), el hábitat invadido, inesperadamente, afectó positivamente la probabilidad de transición de estado de pesca a búsqueda; la probabilidad de cambiar de búsqueda fue significativamente mayor cuando se pesca en fondos de *Halimeda incrassata* (Tabla 1). No se observó tal efecto de hábitat en la transición entre la búsqueda y la pesca (Tabla 1). La distribución inicial ( $\Delta$ ) de nuestro HMM fue mayor para la transición de la búsqueda a la pesca (Tabla 1)

HMM (formula~habitat)				
	State: fishing		State: searching	
Step lenght, $l_t$ (m)	$\mu$ [CI]	s.d.	$\mu$ [CI]	s.d.
	10.1 [9.8-10.3]	5.5	112[101.8-123.7]	125
	State: fishing		State: searching	
Turning angle, $\phi_t$ (rad)	$\mu$ [CI]	$\kappa$	$\mu$ [CI]	$\kappa$
	-0,005[-0.04-0.03]	1.27	0.04[-0.05-0.13]	1.17
Regression coeffs. for the transition probabilities:				
	Fishing -> Searching		Searching -> Fishing	
Intercetpt ( $\beta_0$ )	-3.1[-3.32--2.88]		-1.15[-1.39--0.91]	
Habitat ( $\beta_1$ )	<b>0.34[0.02-0.66]</b>		-0.26[-0.66-0.14]	
Initial distibution ( $\Delta$ )	Fishing -> Searching		Searching -> Fishing	
	0.395		0.605	

Tabla 1: Tabla que recoge todos los parámetros obtenidos mediante el modelo oculto de Markov. El dato que más nos interesa es el coeficiente de regresión del factor hábitat (0.34) lo que indica que la presencia de *Halimeda*, induce un efecto positivo sobre la flota recreativa, haciendo que se pase del estado de pesca al estado de búsqueda.

## Discusión

La tropicalización por parte de especies invasoras está cambiando el ecosistema Mediterráneo de muy diversas formas (Bax et al, 2003). En este estudio hemos demostrado como la invasión de una alga tropical puede afectar a la distribución de los pescadores recreativos en la pesca del raor. El movimiento de estos pescadores es muy importante ya que determina la presión pesquera que sufren las especies asociadas a los fondos donde habita el raor. Este trabajo da una visión muy aplicada hacia el papel que puede desempeñar una invasión por un alga, afectando no sólo a los peces y al ecosistema marino, sino que también puede tener efectos sobre el hombre.

Programas actuales como el AIS ( Automatic Identifying System) ofrecen una herramienta para visualizar el esfuerzo pesquero y la distribución espacial y temporal que realizan los grandes barcos pesqueros, desde los barcos de pesca industriales hasta las barcas de arrastre locales. En este estudio se ha desarrollado una nueva metodología para el seguimiento de embarcaciones de pesca recreativa, basada en un time-lapse de fotos que ofrece una alternativa a estas metodologías que están más aplicadas a la pesca comercial y artesanal. Se ha observado que la nueva herramienta desarrollada en este trabajo, se puede considerar muy potente en cuanto a su fiabilidad, ya que los errores en las medidas oscilan entre los 5 y 10 metros (esta medida es lo que normalmente mide la eslora de estas embarcaciones), por tanto el error es despreciable.

El patrón de movimiento de los pescadores recreativos se basa en dos estados, la búsqueda (activo) y la pesca (pasivo). En el momento de pesca, la embarcación se mueve lentamente, debido a las corrientes marinas y al régimen de viento local, realizando longitudes de paso muy cortos y un ángulo de giro nulo. En la búsqueda, ya es un movimiento más activo, la velocidad

y la longitud de paso aumentan, al igual que el ángulo de giro aunque en menor medida que la longitud de paso (Michelot et al., 2016).

Dejando a un lado de cómo es el patrón general de movimiento de estas embarcaciones, el efecto que nos interesa en este estudio es testar la hipótesis de si los coeficientes de regresión del factor hábitat no nativo ( $\beta_1$ ) aplicados a la matriz de transición entre los dos estados (búsqueda vs pesca) es significativo. Sin embargo, los resultados obtenidos son totalmente opuestos a lo que se esperaba. Nuestra predicción inicial era que los raors se están trasladando hacia la zona invadida por *Halimeda incrassata*, siguiendo un criterio lógico de distribución óptima de un depredador, debido a la mayor abundancia de alimento en esta zona (Alós et al, 2016). Por este motivo, paralelamente al movimiento del raor, los pescadores recreativos también deberían dirigirse hacia esta zona de *Halimeda*, dónde las capturas a priori deberían ser más abundantes. Lo que se ha observado es todo lo contrario, la presencia de *Halimeda* en el lecho marino induce un efecto negativo sobre el pescador que esta pescando sobre estos fondos, haciendo que interrumpa su actividad de pesca y pase al estado de búsqueda. Eso quiere decir que cuando un pescador llega a una zona invadida por *Halimeda incrassata*, por alguna razón o razones, es más propenso a trasladarse a otro lugar de pesca. Estos resultados no son los esperados inicialmente, a pesar de esto, tenemos varias explicaciones para aclarar este hecho:

- La invasión de *Halimeda incrassata* en esta zona, no solo ha afectado a la abundancia de *Xyrichtys novacula*, sino que paralelamente también ha provocado un aumento de otras especies que no son propias de los fondos arenosos, como por ejemplo el serrano (*Serranus cabrilla*), la doncella (*Coris julis*), el pagel (*Pagellus erythrinus*), el raspallón (*Diplodus annularis*) etc... especies que habitan en fondos de naturaleza más rocosa/detrítica o en fondos de *Posidonia oceanica*. Debido a la gran interiorización que tienen los pescadores recreativos sobre el reducido abanico de especies que

tienen que capturarse en la pesquera del raor, es posible que cuando un pescador esta pescando sobre *Halimeda*, y captura una de esas especies citadas anteriormente, crea erróneamente que se encuentra situado sobre una zona de *Posidonia* o de fondo no arenoso y consecuentemente se marche de la zona de *Halimeda* y se traslade a otro lugar.

- Una segunda hipótesis para explicar este resultado, podría ser la menor capturabilidad debido a la gran abundancia de alimento que hay en este nuevo ecosistema, por tanto el raor se alimenta en mayor medida de los organismos vivos que el mismo puede cazar, y en consecuencia el raor es menos a alimentarse de los cebos que los pescadores ofrecen.
- Otra hipótesis podría ser un efecto llamada entre las embarcaciones. Una costumbre muy extendida entre los pescadores es pensar que donde haya una mayor cantidad de barcas concentrada en una zona, es donde más abundará el pescado. Por este hecho, si los resultados indican que en la zona de *Halimeda*, las embarcaciones se quedan pescando durante un intervalo de tiempo muy reducido, a lo largo del día, en la zona invadida habrá una concentración de barcas mucho menor que en la zona no invadida, creando así una falsa visión hacia los pescadores que la zona invadida no es un buen sitio de pesca debido al bajo número de barcas allí presentes.

Este hecho tampoco ha sido consistente en la situación en que cuando una barca se encuentra sobre *Halimeda* y además en modo búsqueda, cambie al estado de pesca. Este situación tiene sentido ya que la presencia de *Halimeda* en el fondo no se puede reconocer o distinguir visualmente por un pescador situado en la barca. Tampoco se puede detectar con la sonda electrónica (dispositivo utilizado para rastrear el fondo marino) instalada en los mismos barcos,

ya que debido al pequeño tamaño del alga, ésta no se puede diferenciar del resto de vegetación marina.

Una implicación de este estudio es que nos da una primera evidencia de que la nueva alga tropical invasora *Halimeda incrassata* afecta al comportamiento humano, es un efecto social, y además hemos encontrado el mecanismo que causa este efecto. El movimiento de las embarcaciones juntamente con el esfuerzo pesquero, es muy importante para realizar una buena gestión de este recurso, por ejemplo diseñando reservas marinas, implementando

épocas de veda para especies más sensibles a la sobrepesca.

las

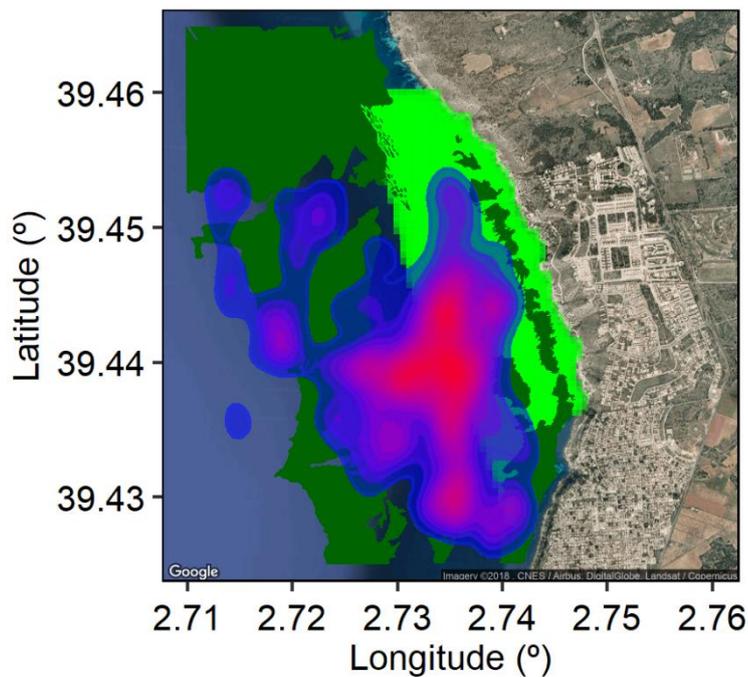


Figura 3: Mapa de densidad del esfuerzo pesquero acumulado durante la jornada de pesca. Los colores rojizos muestran la zona de mayor acumulación de barcas, los colores azulados donde menos embarcaciones hay. Además el mapa muestra la zona invadida por *Halimeda incrassata* en color verde claro, donde podemos ver que la zona azulada penetra muy poco en comparación con el resto de la zona, hecho que refuerza los resultados obtenidos de que en la

zona invadida las embarcaciones pasan poco tiempo pescando, haciendo que la concentración de barcas sea menor.

El hecho que las embarcaciones pasen menos tiempo pescando en la zona de *Halimeda* tiene un beneficio para el propio raor, disminuyendo el esfuerzo pesquero. Ecológicamente lo que está sucediendo es que se está creando un refugio ecológico donde los raors no están siendo explotados por la flota recreativa, por tanto se puede considerar que curiosamente se está creando una “reserva marina” inducida por la presencia de una alga tropical. Aunque por otra parte eso conlleva un efecto negativo, que hace que los pescadores se concentren en una zona más reducida de pesca, aumentando el esfuerzo pesquero en dicha zona, además de los posibles enfrentamientos entre pescadores por la proximidad existente entre las barcas.

Como investigaciones futuras, podría realizarse un estudio a largo plazo para ver cómo evoluciona la expansión de *Halimeda incrassata*, y ver de que manera puede afectar a las comunidades autóctonas.

## **Conclusión**

- El movimiento de los pescadores se caracteriza por presentar dos estados, el de búsqueda y el de pesca.
- El uso de cámaras de alta definición produce un método válido y fiable para la estima del movimiento y esfuerzo pesquero de la flota pesquera recreativa con un error mínimo.
- *Halimeda incrassata* induce un cambio a macroescala en el patrón de movimiento de los pescadores, este cambio hace que haya una separación espacial entre los pescadores y los raors, hecho que parece causarle un refugio natural, ayudando así a su conservación y evitando la sobrexplotación del recurso.

## Referencias

Alós, J., Tomas, F., Terrados, J., Verbruggen, H., Ballesteros, E. (2016) Fast-spreading Green beds of recently introduced *Halimeda incrassata* invade Mallorca island (NW Mediterranean Sea). *Marine Ecology Progress Series*, **558**: 153-158.

Alós, J., Bujosa-Homar, E., Terrados, J., Tomas, F. (2018) Spatial distribution shifts in two temperate fish species associated to a newly-introduced tropical seaweed invasion. *Biol Invasions*.

Auger-Méthé, M., A. E. Derocher, M. J. Plank, E. A. Codling, and M. A. Lewis. (2015). Differentiating the Lévy walk from a composite correlated random walk. *Methods in Ecology and Evolution* **6**:1179-1189.

Bax, N., Williamson, A., Agüero, M., Gonzalez, E., Geeves, W. (2003) Marine invasive alien species: A threat to global diversity. *Marine Policy*, **27**: 313-323

Bianchi, C.N (2007) Biodiversity issues for the forthcoming tropical Mediterranean Sea. Pàgines 7-21 in G. Relini and J. Ryland, editors. *Biodiversity in Enclosed Seas and Artificial Marine Habitats: Proceedings of the 39th European Marine Biology Symposium, held in Genoa, Italy, 21-24 July 2004*. Springer Netherlands, Dordrecht.

Candi, G., Castriota, L., Andaloro, F., Finoia, M.G. i Marino, G. 2004. Reproductive cycle and sex inversion in razorfish, a protogynous labrid in the southern Mediterranean Sea. *Journal of Fish Biology*. **64**: 1498-1513

Cardinale, M., Colloca, F., Ardizzone, G. D. (1997) Feeding ecology of Mediterranean razorfish *Xyrichthys novacula* in the Tyrrhenian Sea (Central Mediterranean Sea). *Journal of Applied Ichthyology*, **13**: 105-111

Castriota, L., Pia-Scarabello, M., Grazia-Fionia, M., Sinopoli, M., Andaloro, F. (2005) Food and feeding habitats of pearly razorfish , *Xyrichthys novacula* (Linnaeus, 1758), in the southern Tyrrhenian Sea: variation by sex and size. *Environmental Biology of Fishes*, **72**:123-133

Dijkstra, J. A., Harris, L. G., Mello, K., Litterer, A., Wells, C., Ware, C. (2017) Invasive seaweeds transform hábitat structure and increase biodiversity of associated species. *Journal of Ecology*. British ecological Society

Espino, F., Triay-Portella, R., Antonio-González, J., Haroun, R., Tuya, F. (2015) Population structure of the pearly razorfish, *Xyrichthys novacula* (Actinopterygii: Labridae), in sand-seagrass mosaics: spatial variation according to habitat features

Galil, B. S. (2009) Taking stock: inventory of alien species in the Mediterranean Sea. *Biological Invasions*. **11**:359-372

Guidetti, P. (2000) Differences among fish assemblages associated with nearshore *Posidonia oceanica* seagrass beds, rocky-algal reefs and unvegetated sand hábitats in the Adriatic Sea. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **5** (4): 515:529

Hillis-Colinvaux, L. (1980) Ecology and taxonomy of *Halimeda*: primary producer of coral reefs. In: Blaxter JHS, Russell FS, Maurice Y. *Advances in marine biology*, Book, **17**: 1-327

Katsanevakis, S. (2005) Habitat use by the pearly razorfish, *Xyrichtys novacula* (Pisces: Labridae). *Scientia Marina*, **69**: 223-229

Langrock, R., R. King, J. Matthiopoulos, L. Thomas, D. Fortin, and J. M. Morales. (2012). Flexible and practical modeling of animal telemetry data: hidden Markov models and extensions. *Ecology* **93**:2336-2342

Marbà, N., Jorda, G., Agusti, S., Girard, C., Duarte, C. M (2015) Footprints of climate change on Mediterranean Sea biota. *Frontiers in Marine Science*, **2**:56

Michelot, T., R. Langrock, S. Bestley, I. D. Jonsen, T. Photopoulou, and T. A. Patterson. (2017). Estimation and simulation of foraging trips in land-based marine predators. *Ecology* **98**:1932-1944.

Michelot, T., R. Langrock, and T. A. Patterson. (2016). moveHMM: An R package for the statistical modelling of animal movement data using hidden Markov models. *Methods in Ecology and Evolution* **7**:1308-1315.

Molnar, J.L; Gamboa, R.L.; Revenga, C.; Spalding, M.D. (2008) Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. *Frontiers in Ecology and Environment*, **6**: 485-492

Morales-Nin, B., Moranta, J., Garcia, C., Tugores, M. P., Grau, A. M., Riera, F., Cera, M. (2005) The recreational fishery off Majorca Island (western Mediterranean): some implications for coastal re-source management. *Journal of Marine Science*, **62**:727-739

Multer, H. G. (1988). Growth rate, ultrastructure and sediment contribution of *Halimeda incrassata* and *Halimeda monile*, Nonsuch and Falmouth Bays, Antigua, W.I. *Coral Reefs*, **6**: 179:186

Patterson, T. A., M. Basson, M. V. Bravington, and J. S. Gunn. (2009). Classifying movement behaviour in relation to environmental conditions using hidden Markov models. *Journal of Animal Ecology* **78**:1113-1123.

Riera, F. i Linde, M. 2001. *El Raor i la Cirviola*. Conèixer per preservar, Palma de Mallorca, 76 pp. Govern de les Illes Balears. Sa Nostra, Obra Social i Cultural. Quaderns de Pesca, núm. 6.

Schaffelke, B., Smith E. J., Hewitt, C.L. (2006) Introduced macroalgae-A growing concern. *Journal of Applied Phycology*, **18**:529-541.

Targett, N. M., T. E. Targett, N. H. Vrolijk, and J. C. Ogden. (1986) Effect of macrophyte secondary metabolites on feeding preferences of the herbivorous parrotfish *Sparisoma radians*. *Marine Biology*, **92**:141-148

Thomsen, M. S., Byers, J. E., Schiel, D. R., Bruno, J. F., Olden, J. D., Wernberg, T., Silliman, B. R. (2014) Impacts of marine invaders on biodiversity depends on trophic position and functional similarity. *Marine Ecology Progress series*, **495**: 39-47.

Tuya, F., Boyra, A., Sanchez-Jerez, P., Haroun, R. J. (2005) Multivariate analysis of benthodemersal ichthyofauna along soft bottoms of the Eastern Atlantic: comparison between unvegetated substrates, seagrass meadows and Sandy bottoms beneath sea-cage fish farms. *Marine Biology*, **147**: 1229-1237

Verbruggen, H., O. De Clerck, A. D. R. N'Yeurt, H. Spalding, Vroom, P. S. (2006) Phylogeny and taxonomy of *Halimeda incrassata*, including descriptions of *H. kanaloana* and *H. heteromorpha*. (Bryopsidales, Chlorophyta). *European Journal of Phycology* **41**: 337-362

Vermard, Y., E. Rivot, S. Mahévas, P. Marchal, and D. Gascuel. (2010). Identifying fishing trip behaviour and estimating fishing effort from VMS data using Bayesian Hidden Markov Models. *Ecological Modelling* **221**:1757-1769

Villamagna, A. M., Murphy, B. R (2010) Ecological and socio-economic impacts of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): a review. *Freshwater Biology*, **55**: 282-298

Walker, E., and N. Bez. (2010). A pioneer validation of a state-space model of vessel trajectories (VMS) with observers data. *Ecological Modelling* **221**:2008-2017

Wefer, G. (1980) Carbonate production by algae *Halimeda*, *Penicullus* and *Padina*. *Nature*, **285**: 323-324

Zenetos, A., Çinar, M. E., Crocetta, F., Golani, D., Rosso, A., Servello, G., Shenkar, N., Turon, X., Verlaque, M. (2017) Uncertainties and validation of alien species catalogues: The Mediterranean as an example. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.

Zenetos, A., Gofas, S., Verlaque, M., Çinar, M. E., García-Raso, J. E., Bianchi, C. N., Morri, C., Azzurro, E., Bilecenoglu, M., Frogli, C., Siokou, I., Violanti, D., Sfriso, A., San Martín, G., Giangrande, A., Katagan, T., Ballesteros, E., Ramos- Esplá, A., Mastrototaro, F., Ocaña, O., Zingone, A., Gambi, M. C., Streftaris, N. (2010) Alien species in the Mediterranean Sea by 2010. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). *Mediterranean Marine Science*, **11** (2): 318-493