

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

MÁSTER UNIVERSITARIO EN EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO AMBIENTAL  
DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS

---



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA  
SUPERIOR DE GANDIA

# “Uso del hábitat y dispersión de juveniles de tortuga boba (*Caretta caretta*) mediante seguimiento vía satélite”

**TRABAJO FINAL DE MÁSTER**

Autor/es:

**Antoni Febrer Mesquida**

Director:

**Eduardo J. Belda Pérez**

Cotutor :

**Vicente Domingo Estruch**

**Víctor Sánchez-Morcillo**

**GANDIA, 2016**



## RESUMEN

La tortuga boba (*Caretta caretta*) es una tortuga marina residente en el Mediterráneo. En los últimos años esta especie de tortuga marina ha empezado a colonizar las costas del levante español. Hoy en día se desconoce prácticamente el comportamiento de esta especie en sus primeros años de vida; por eso hay una necesidad de estudios biogeográficos que nos aporten información sobre las áreas claves de su distribución en estos primeros años de vida. Se han estudiado y analizado las trayectorias de ejemplares de tortuga boba de un año de edad mediante seguimiento vía satélite. Son los primeros análisis que se realizan en tortugas tan pequeñas en el mediterráneo y de origen español, así que se trata de un estudio pionero y de gran importancia. Se ha obtenido que las tortugas se desplazaron de media al día unos 12,84 km; con una velocidad media de 0,695 km/h. Además, se han obtenido dos patrones de desplazamiento en las trayectorias; una primera fase lenta y exploratoria, y una segunda fase más rápida y de migración. Finalmente se ha concluido que la dispersión de las tortugas es una dispersión activa pero que si se ve influenciada por las corrientes en algunos casos.

**Palabras clave:** tortuga boba, mediterráneo, satélite, corrientes, trayectorias.

## ABSTRACT

The loggerhead turtle (*Caretta caretta*) is an oceanic turtle that lives in the Mediterranean. This sea turtle has recently begun to colonize the east Spanish coast. Nowadays, the behavior of this specie in the first years of life is unknown; therefore there is a need for biogeographic studies that provide information on the areas of distribution in these firsts' years of life. In the present research, the trajectories of one year old loggerhead turtles have been studied and analyzed through satellite tracking. These analyses are the first realized with one year old turtles of this specie in the Mediterranean sea and with Spanish origin; consequently it is a pioneer study of great

significance. The results have shown that the turtles moved an average of 12,84 km per day; with an average of speed of 0,695 km/h. In addition, two displacement patterns have been obtained in the trajectories; a slow first exploratory phase, and a second faster phase of migration. Finally, it has been concluded that the dispersion of the turtles is an active dispersion but it is also influenced by the ocean currents in some cases.

**Key words:** loggerheard, Mediterranean Sea, satellite, oceanic currents, tracks.

# ÍNDICE

<b>1. Introducción .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Material y métodos .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 La tortuga boba .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2 Seguimiento vía satélite .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3 Filtrado de datos .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.1 Filtrado manual .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.2 Filtrado de Douglas (2012) .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4 Análisis y tratamiento de datos .....</b>	<b>22</b>
<b>3. Resultados .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 Comparación de filtrados .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2 Análisis de trayectorias .....</b>	<b>30</b>
<b>3.3 Análisis de Orientación .....</b>	<b>36</b>
<b>3.4 Análisis entre el rumbo de la tortuga y otras variables .....</b>	<b>38</b>
<b>4. Discusión y conclusiones .....</b>	<b>41</b>
<b>5. Futuros trabajos e investigaciones .....</b>	<b>45</b>
<b>6. Agradecimientos .....</b>	<b>47</b>
<b>7. Bibliografía .....</b>	<b>48</b>
<b>8. Anexos .....</b>	<b>54</b>

## 1. Introducción

Estudiar y comprender los desplazamientos y las rutas migratorias de los vertebrados marinos es un gran reto para el ser humano. La complejidad del océano, su falta de fronteras y su heterogeneidad lo hacen un hábitat muy completo y difícil de estudiar. Al no haber fronteras físicas, el desplazamiento de muchas especies puede no tener límites. Gracias al avance de la tecnología, hoy en día se disponen de métodos para poder realizar diferentes estudios sobre el desplazamiento de estas especies; entre ellos el seguimiento vía satélite. Este tipo de estudios son muy importantes para conocer bien el comportamiento de las especies, sus migraciones y sus hábitats preferentes, para así poder realizar una buena gestión y planificación para la conservación de las especies (Luschi and Casale 2014).

Las tortugas marinas son unas excelentes nadadoras y son conocidas por sus grandes migraciones y por sus movimientos en las distintas fases de su ciclo vital. Sin embargo aún no conocemos bien esos movimientos (Luschi and Casale 2014, Mansfield et al. 2014). En el caso de la tortuga boba (*Caretta caretta*), que es la especie más abundante en el Mediterráneo, tras eclosionar, los neonatos se dirigen mar adentro durante un período que dura unos días en las que nadan de forma frenética alejándose de la costa (Wyneken and Salmon 1992) para tratar de alcanzar las principales corrientes marinas (la corriente del Golfo en el Atlántico; o la corriente de Kuroshio en el Pacífico) y así poder entrar en la zona oceánica. Tras esta fase conocida como “etapa frenética”, que se supone que lleva a los neonatos hasta las principales corrientes, las crías entran en mar abierto (etapa oceánica, profundidad > 200 metros). No se conoce realmente si todos los neonatos se dirigen a esas zonas oceánicas o si una parte queda en hábitats neríticos (Bolten 2003). En la fase oceánica, los juveniles pueden estar entre 6 y 12 años (hasta alcanzar unos 45-50 cm de longitud de caparazón) en función de las corrientes, alimento disponible y

crecimiento. Posteriormente hay un período de transición en el que podemos encontrar a las tortugas tanto en ambientes oceánicos como neríticos hasta alcanzar la madurez. Ya adultas, las tortugas viven principalmente en ambientes neríticos, desplazándose y realizando migraciones entre zonas de alimentación y áreas de reproducción (Bolten 2003). Es precisamente en la fase oceánica, durante sus primeros años de vida, el período sobre el que tenemos mayores lagunas de conocimiento. Es el período que algunos autores denominan “*lost years*” (años perdidos).

El Mar Mediterráneo es frecuentado por tres especies de tortugas marinas; dos de ellas residentes (la tortuga boba -*Caretta caretta*- y la tortuga verde – *Chelonia mydas*); y otra visitante (la tortuga laúd -*Dermochelys coriacea*) (Casale and Margaritoulis 2010). La tortuga boba y la tortuga verde son las únicas tortugas que crían en el Mediterráneo y ambas están catalogadas como especies en peligro de extinción en la lista roja de especies amenazadas por el IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 2016). Además están consideradas como especies de interés prioritario por la Directiva Hábitat (Red Natura 2000, *Directiva 92/43/CEE*) de 1992. En España la tortuga boba está considerada una especie Vulnerable y es la especie que se encuentra con mayor frecuencia en nuestras costas.

En el Mar Mediterráneo podemos encontrar ejemplares procedentes de dos unidades de gestión (Wallace et al 2011), poblaciones genéticamente diferenciadas (Bowen and Karl 2007); una procedente de las zonas de nidificación del Atlántico, principalmente Florida, formada mayormente por ejemplares juveniles (etapa oceánica y de transición) que habita la zona sur del Mediterráneo (principalmente Mar de Alborán) (Clusa et al 2014); y otra procedente de áreas de nidificación mediterráneas, formada por juveniles y subadultos, que se distribuyen principalmente por la zona norte del Mediterráneo occidental y en el Mediterráneo oriental (Grecia, Libia, Egipto,

etc.) La distribución de estos ejemplares está relacionada con su origen y con los patrones de circulación de la superficie en el Mediterráneo (Clusa et al 2014).

En el Mediterráneo occidental la tortuga boba se considera como no reproductora (Maffucci et al 2016). Es una especie que presenta una elevada filopatria; es decir, las hembras regresan a realizar sus puestas a la playa donde ellas nacieron. Sin embargo en este siglo han empezado a hallarse puestas de tortuga boba en diversas costas de esta zona del Mediterráneo (Maffucci et al 2016). Aunque no se conocen en realidad las causas, diversos autores sugieren que un calentamiento significativo de las temperaturas de la superficie del mar en primavera y verano, y de las temperaturas terrestres, ofrece una ventana térmica más amplia y adecuada para anidar (Maffucci et al 2016).

En los últimos 20 años, gracias al uso de marcas satelitales (o de seguimiento vía satélite), hemos empezado a conocer varios aspectos del comportamiento espacial de las tortugas marinas. Sólo en el Mediterráneo se han seguido en este período más de 200 ejemplares de tortuga boba usando marcas satelitales (Fuente: [www.seaturtle.org](http://www.seaturtle.org)). Para el Mediterráneo Luschi y Casale (2014) revisaron los estudios sobre las migraciones de 181 ejemplares de tortuga boba seguidos vía satélite destacando que la información disponible está muy sesgada hacia adultos reproductores. El 57% de los estudios son sobre adultos. Estos se dispersan entre las zonas de cría y áreas de alimentación. El resto de estudios son sobre juveniles mayores a 40 cm. Estos se han encontrado tanto en zonas oceánicas como en zonas neríticas, y sus movimientos se han asociado a una combinación entre dispersión activa y dispersión pasiva, por ejemplo en sus desplazamientos en el Mediterráneo oriental y occidental (Bentivegna et al 2007). No hay estudios sobre juveniles de menos de 40 cm (durante los años perdidos) (Luschi and Casale 2014). Tan sólo mediante trabajos de simulación de partículas. La razón de la falta de estudios de este tipo ha sido tecnológica. Las marcas suponen un peso añadido además de que

pueden dificultar sus movimientos. Es por ello que las marcas no deben suponer más de un 5% del peso del animal para no afectar a la supervivencia ni al comportamiento de los ejemplares (Murray and Fuller 2000). No se disponía hasta hace unos años de marcas de transmisión vía satélite lo suficientemente pequeñas (Mansfield et al 2014; Abalo-Morla et al 2016).

El seguimiento vía satélite de vertebrados marinos además tiene la dificultad de que los animales seguidos deben salir a la superficie para que los satélites puedan recibir la señal de radio de las marcas, y se necesita que el satélite capte varios mensajes para poder triangular la posición de las marcas. Por ello se hace necesario filtrar los datos de las localizaciones para evitar posibles errores que distorsionen el estudio de las trayectorias.

Muchos autores (p.e. Casale and Mariani 2014) sugieren que las tortugas durante sus “años perdidos” se dispersan de forma pasiva por las corrientes (dispersión pasiva). Casale y Mariani (2014) realizaron un modelo teórico para la dispersión de neonatos en el mediterráneo donde asumieron que las tortugas tendrían una dispersión pasiva y su movimiento se vería afectado por las corrientes y terminarían dispersándose por el norte de Libia y Egipto. De un modo similar Maffucci et al (2015) simularon la distribución de juveniles de tortuga boba durante su primer año en el Mediterráneo occidental en las zonas de puesta en el sur de Italia. Sin embargo en los últimos años, y usando datos de seguimiento vía satélite combinado con modelos de dispersión de partículas varios autores han demostrado que la dispersión en este período no es únicamente pasiva (Putman and Mansfield 2015; Briscoe et al. 2016).

En este trabajo analizamos por primera vez la dispersión de tortugas bobas en su primer año de vida (< 20 cm) en el Mediterráneo procedentes de una puesta hallada en el Mediterráneo occidental, y seguidas vía satélite. El objetivo de este trabajo es estudiar los movimientos de dispersión y uso del hábitat de ejemplares de tortuga boba

de un año de edad (criados en cautividad) y su relación con factores ambientales; en concreto con las corrientes marinas para estudiar si su patrón de dispersión se ajusta a una dispersión pasiva o no.

Los objetivos específicos fueron analizar y filtrar datos de localización vía satélite; caracterizar las trayectorias obtenidas de las tortugas (desplazamiento, orientación, distancia recorrida y velocidad media); analizar si se trata de una dispersión activa o pasiva; y analizar el rumbo que han seguido las tortugas y ver si tienen una dirección preferente en sus desplazamientos.

## **2. Material y métodos**

En el estudio se han marcado ocho ejemplares de tortuga boba con marcas de transmisión vía satélite. Los ejemplares proceden de un nido localizado en la playa de San Juan (Alicante) con 125 huevos en 2014; donde algunas (90 tortugas) fueron llevadas a la playa protegida de La Punta (El Saler, Valencia) para que nacieran en la playa bajo supervisión y protección; y las otras fueron llevadas al Oceanogràfic de València, para que nacieran en incubadora. De las 8 tortugas marcadas, cinco proceden de los huevos llevados al Saler (Sali, Daniel, Espaikei, Maya y Contxi) y tres de la incubadora (Lusi Samy y Carla).

La mortalidad en las tortugas marinas es muy alta durante los primeros meses de vida; por eso, para ofrecer una ventaja y proporcionar apoyo a los neonatos (*headstarting*), éstos se criaron en el Oceanogràfic durante un período de 12 meses, para aumentar la tasa de supervivencia. De los 103 huevos que eclosionaron, al final consiguieron sobrevivir 25 que se liberaron en 2015. Los datos de los 8 ejemplares marcados se encuentran en la **Tabla 1**.

**Tabla 1. Características de las tortugas. Fuente: Abalo-Morla et al 2016**

<b>Nombre_ID</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>SCL*(cm)</b>	<b>Peso del tag (g)</b>	<b>% peso tag</b>
<b>Sali_83</b>	970,6	17,5	39,5	4,07
<b>Daniel_88</b>	854,2	15,8	40,4	4,73
<b>Espaike_89</b>	867,1	16,3	37,0	4,26
<b>Maya_80</b>	718,3	15,3	38,5	5,35
<b>Contxi_85</b>	716,8	15,1	38,3	5,34
<b>Samy_29</b>	700,4	15,0	36,3	5,18
<b>Lusi_2</b>	489,9	13,6	43,2	8,81
<b>Carla_3</b>	496,2	13,3	35,7	7,19

SCL=Longitud del caparazón recta\*

## **2.1 La tortuga boba**

La tortuga boba es una especie de tortuga marina que habita, prácticamente, en todos los mares y océanos de la Tierra. Se trata de una especie pelágica, característica por sus grandes migraciones y desplazamientos en ejemplares adultos. Su hábitat es extenso y difícil de establecer, ya que pueden permanecer días en mar abierto y luego establecerse temporalmente en zonas más someras por motivos biológicos (alimentación, descanso, etc.). Los ejemplares adultos migran entre zonas de alimentación y zonas de reproducción.

Los ejemplares adultos de tortuga boba pueden llegar a alcanzar el metro de longitud y los 200 kg de peso, aunque la media está sobre los 135 kg. En cuanto a la alimentación se trata de una especie omnívora; aunque su principal alimento son los invertebrados bentónicos (como gasterópodos, bivalvos o crustáceos), también pueden alimentarse de algas, plantas vasculares, peces pequeños, medusas y macroplancton (Dodd, 1988).

La tortuga boba pasa toda su vida en el mar, excepto cuando la hembra sale a poner los huevos. Se sabe que las tortugas bobas retienen el campo magnético de la

Tierra al nacer, y eso les permite a las hembras volver a desovar en la playa donde nacieron (teniendo en cuenta las variaciones del campo magnético de la Tierra). En el Mediterráneo Occidental este hecho nos impulsa más hacia una planificación de sostenibilidad para que las tortugas puedan seguir criando y desovando en las costas mediterráneas españolas; ya que el panorama costero español ha sufrido una drástica transformación durante las últimas décadas y, actualmente, se está dando una nueva colonización de las playas (zonas de cría) españolas por parte de las tortugas.

Los neonatos de tortuga y los huevos son muy vulnerables, ya que tienen importantes amenazas como depredadores (tanto terrestres como marinos) y la posible destrucción del nido y alteración del hábitat por parte antrópica. Las tortugas adultas no presentan depredadores naturales, pero aún así se considera una especie amenazada por las actividades antropogénicas (pesca, transporte marítimo, contaminación marina, etc.) Una amenaza importante para la tortuga boba es el cambio climático. El cambio climático puede afectar a la distribución de esta especie y puede afectar en sus comportamientos y a sus hábitats. El cambio climático también puede afectar a los huevos de tortuga, ya que la temperatura de incubación determina el sexo del neonato (temperaturas alrededor de 28°C macho; temperaturas alrededor de 32°C hembra); en ese aspecto un aumento de las temperaturas puede afectar negativamente al desarrollo de la especie.

Los ejemplares adultos del Mediterráneo tienen el tamaño más pequeño a nivel mundial (Margaritoulis et al. 2003), y crecen más rápido que los ejemplares del Atlántico. En el Mediterráneo Occidental conviven los ejemplares atlánticos y mediterráneos, aunque los atlánticos no se reproducen en dicho mar (Piovano et al. 2011). Sin embargo en los últimos años la mayoría de las hembras encontradas realizando su puesta en España son de origen Atlántico, no Mediterráneo (J. Tomás), otra causa más a favor de proteger las playas españolas. En los últimos años la preocupación y el interés en esta especie se ha visto incrementada de manera

notable. Los avances tecnológicos han permitido un mejor seguimiento de esta especie y permiten establecer rutas y hábitats de interés con una mayor precisión.

## **2.2 Seguimiento vía satélite**

El marcaje se realizó empleando las marcas modelo SEATURTLE-TT de la marca Desert Star (<http://desertstar.com/>). Se usaron dos variantes de dicha marca que diferían únicamente en el peso (4 marcas de 27 gramos y 4 marcas de 21 gramos), siendo el peso de las marcas empleado menor del 4% del animal en todos los casos. Las marcas más ligeras se usaron con los ejemplares de menor tamaño y peso. Las marcas se adhirieron a las tortugas siguiendo la metodología propuesta por Mansfield et al 2014, aunque con alguna modificación (Abalo-Morla et al 2016).

Las marcas son del tipo “*PlatformTransmitting Terminal*”. Esto quiere decir que las marcas básicamente emiten una señal de radio, que incluye información sobre la ID de la marca e información sobre los sensores que lleve la marca. De forma práctica, esto quiere decir que no llevan GPS. Son marcas que obtienen la energía para transmitir a partir de placas solares que cargan unos supercondensadores. Cuando están cargadas de energía emiten. Por ello días nublados o durante la noche no se obtienen localizaciones.

La geolocalización se realizó mediante el sistema de satélites ARGOS (<http://www.argos-system.org/>). La señal que emiten los emisores sólo puede llegar a los satélites cuando la tortuga está en la superficie del agua.



**Fig. 1. Marca seguimiento vía satélite.**

**Fuente: Abalo-Morla**



**Fig. 2. Marcas colocadas en nuestras tortugas.**

**Fuente: Abalo-Morla**

Las plataformas (transmisores) transmiten mensajes periódicos que se caracterizan por la frecuencia de transmisión ( $401,650 \text{ MHz} \pm 30 \text{ kHz}$ ). Esta frecuencia de transmisión debe ser estable para poder obtener una buena localización, ya que para obtener la posición se calcula mediante el efecto Doppler; cuando el satélite se acerca a un transmisor, la frecuencia de la señal transmitida medida por el receptor es mayor que la frecuencia de transmisión real, y más baja cuando se aleja. De esta manera, y mediante triangulación, se puede calcular y establecer la posición del transmisor (siempre asumiendo que no es una localización exacta).

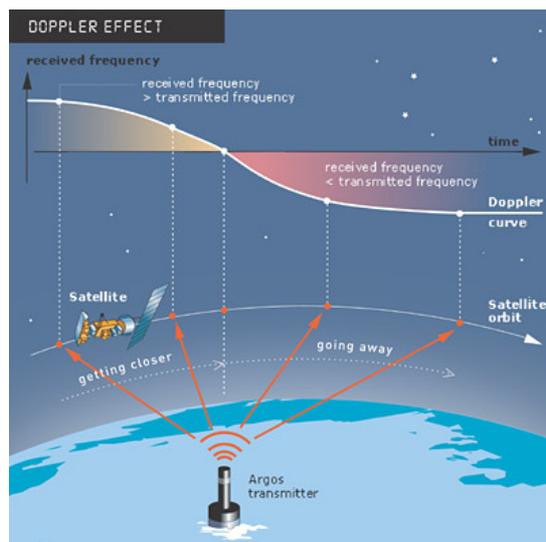


Fig. 3. Explicación del efecto Doppler. Fuente: <http://www.argos-system.org/>

Los satélites son de órbita polar, y orbitan a unos 850 km de altitud. Tardan unos 100 minutos en dar una revolución alrededor de la Tierra. En cada barrido que realizan los satélites hay un desplazamiento de unos  $25^\circ$  (2800 km en el Ecuador) en longitud. ARGOS dispone actualmente de 6 satélites (<http://www.argos-system.org/>) y aproximadamente pasan por nuestras latitudes una vez cada 1-1,5 horas.

El satélite puede recibir mensajes de las plataformas cuando éstas están dentro de su visibilidad (hay un promedio de unos 10 minutos), pero este puede variar entre unos pocos y 14 minutos. Los mensajes se almacenan a bordo del satélite, y éste los retransmite a estaciones de recepción en tierra. Existen tres principales estaciones de recepción (Virginia y Fairbanks en EEUU; o Noruega) así como muchas estaciones regionales.

Una vez los datos se encuentran en las estaciones en tierra, éstos se procesan y se ponen a disposición del usuario, que puede acceder a ellos casi en tiempo real a través de internet.

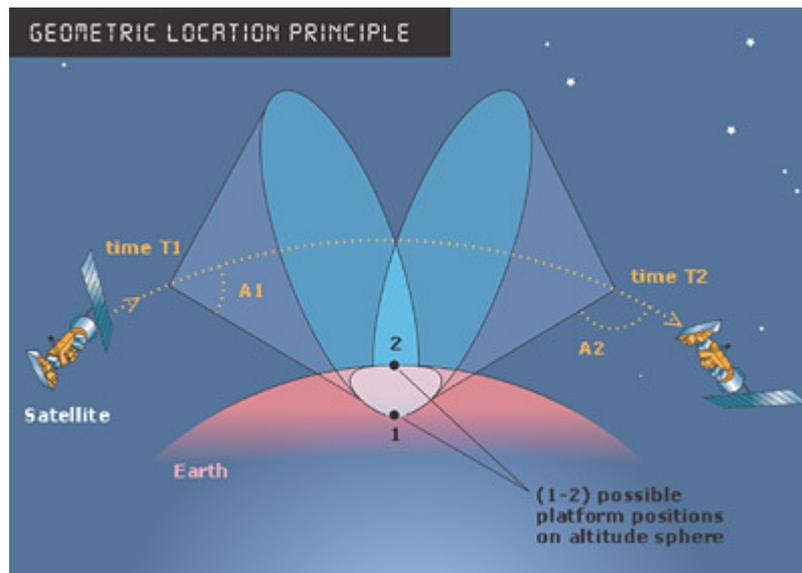
Dependiendo del número de mensajes recibidos por el satélite en cada paso, la calidad de la localización varía y obtenemos diferentes tipos de localizaciones:

**Tabla 2. Tipos de localizaciones (LC) en Argos. Fuente: <http://www.argos-system.org/>**

Clase	Tipo	Error estimado*		Número de mensajes recibidos por pasada del satélite	
		Mínimos cuadrados	Filtro de Kalman	Mínimos cuadrados	Filtro de Kalman
G	GPS	< 100m		1 mensaje o más	
3	Argos	< 250m		4 mensaje o más	
2	Argos	250m < < 500m		4 mensaje o más	
1	Argos	500m < < 1500m		4 mensaje o más	
0*	Argos	> 1500m		4 mensaje o más	
A	Argos	Sin estima de precisión	Sin estima de exactitud	3 mensajes	
B	Argos	Sin estima de precisión	Sin estima de exactitud	mensajes	1 o 2 mensajes
Z	Argos	Sin validez ( Disponible solo para Servicio Plus/Procesamiento de ubicación auxiliar)			

\*Localizaciones clase 0 sólo están disponibles si se solicitan explícitamente.

Una característica importante de la ubicación por efecto Doppler es que exactamente las mismas mediciones de frecuencia nos pueden dar dos posibles posiciones: la ubicación normal (la verdadera) y la ubicación espejo (la virtual). A continuación podemos ver de manera gráfica este efecto.



**Fig. 4. Doble solución posible por el efecto Doppler. Fuente:**  
<http://www.argos-system.org/>

Para definir la posición verdadera se utiliza un análisis de mínimos cuadrados para refinar los cálculos de la posición del transmisor. Si este análisis falla, se procede a realizar diferentes pruebas, como la continuidad de la frecuencia del transmisor o el error residual mínimo, para así poder definir cuál es la ubicación verdadera.

Además, el sistema cuenta con un algoritmo de procesamiento de ubicación (filtrado de Kalman) que se basa en dos pasos:

- El filtrado predice la siguiente posición y su error estimado en base a la posición anterior y su error estimado en base a un modelo de movimiento.
- El filtrado calcula la nueva posición y su error estimado mediante la actualización de la posición predicha usando mediciones de frecuencia adquiridos durante el paso del satélite.

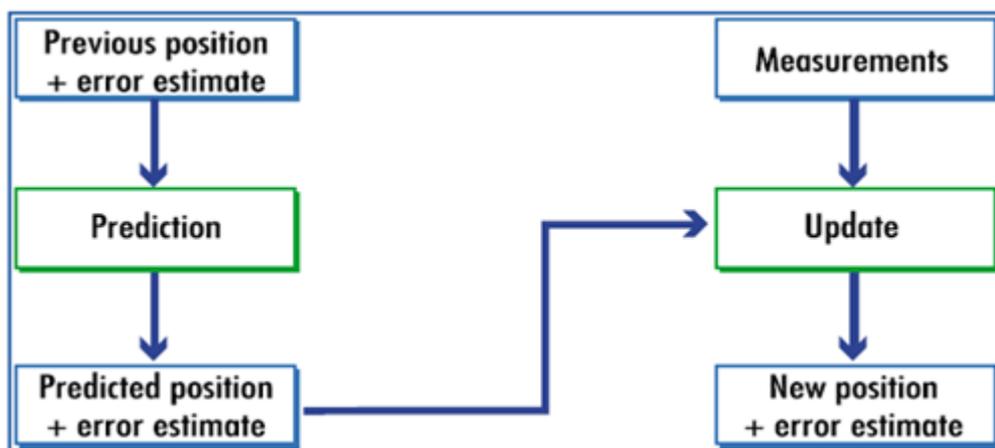


Fig. 5. Filtrado de Kalman. Fuente: <http://www.argos-system.org/>

Todas estas funciones y algoritmos de preprocesado tienen su sistema de viabilidad mediante distintas pruebas que se realizan a todas estas funciones.

### 2.3 Filtrado de datos

Como se deduce del apartado anterior, en muchos casos las localizaciones obtenidas tienen mucho error debido a que hay pocos mensajes o la señal no es suficientemente fuerte. Por ello antes de analizar las trayectorias es recomendable realizar un filtrado de los datos para eliminar aquellas posiciones que sean más verosímiles. El filtrado de los datos es un paso necesario para poder trabajar con buenos datos y no cometer el error de trabajar con geolocalizaciones erróneas u *outliers*. Las trayectorias obtenidas se han analizado mediante dos métodos de filtrado.

Antes de exponer los métodos y criterios de cada filtrado cabe mencionar que se ha realizado un prefiltrado mediante la plataforma *Seaturtle* (<http://www.seaturtle.org>) donde se han eliminado los datos de tierra (elevación de 1 metro o superior), las geolocalizaciones de antes de la liberación, los datos donde la velocidad es superior a 10 km/h y las posiciones Z (Sin validez, según ARGOS, véase **Tabla 2.**).

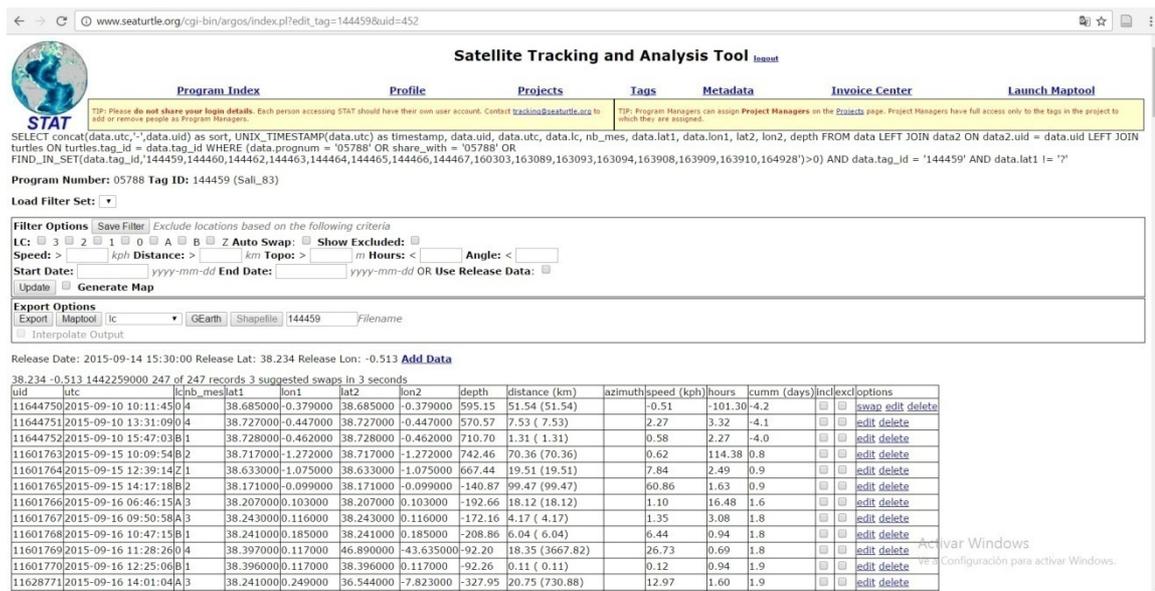


Fig. 6. Prefiltrado realizado en Seaturtle. Fuente: <http://www.seaturtle.org/>

### 2.3.1 Filtrado manual

Para realizar el filtrado a mano nos hemos basado en diferentes criterios propuestos por diferentes autores en sus respectivos estudios.

- Location class (LC): los valores son 3, 2, 1, 0, A y B (Katherine L. Mansfield et al. 2014).
- Elevación LC: si la elevación es superior a 1 metro se filtra (Arendt et al. 2012)
- Velocidad: si la velocidad de la tortuga entre dos localizaciones es superior a 10 km/h se filtra (González Carman et al. 2016)
- Ángulo: si el ángulo entre dos localizaciones es inferior a 5° el valor se excluye (Arendt 2012).

En algunos estudios se filtran las localizaciones con una distancia superior entre sí a 50 km, pero en nuestro caso no lo hemos aplicado ya que en algunos casos hay vacíos de información de varios días y es completamente normal que el ejemplar haya recorrido más de 50 km en varios días. En este caso nos centramos en el filtrado de la velocidad. (Ver **Tabla I.** en **8. Anexos** para ver todos los criterios)

En algunas ocasiones tenemos diferentes localizaciones de la misma LC y con las variables parecidas en un mismo día. Al tener que elegir una por día es recomendable elegir la más cercana a las 12:00 horas, ya que es cuando más posibilidades hay de que el número de mensajes enviados sea mayor, y consecuentemente, mayor calidad de la posición.

### 2.3.2 Filtrado de Douglas (2012)

Douglas et al (2012) proponen una serie de algoritmos para realizar el filtrado de los datos. El filtrado de Douglas (Douglas et al 2012) permite al usuario modificar el algoritmo utilizado dependiendo de sus necesidades y ajustándolo al comportamiento de la especie estudiada.

Hay tres métodos de filtrado establecidos: el *Maximum redundant distance filter* (MRD), se basa en la distancia entre dos localizaciones ARGOS; el *Distance, angle and rate filter* (DAR), es un poco más complejo que el anterior ya que añade la posibilidad de filtrar mediante ángulos y velocidades, además de distancia; y el *Hybrid filter* (HYB), éste último es una mezcla de los dos anteriores.

En nuestro caso utilizaremos el DAR, ya que para tortugas marinas y mamíferos marinos es más apropiado (Douglas et al 2012).

Los parámetros establecidos son los siguientes:

- ❖ **Tipo de filtrado** : *Distance, angle and rate filter* (DAR)
- ❖ **keep\_Lc** : 2

Este parámetro establece la clase de localización mínima que nunca será filtrada por el filtro DAR o MRD. Los valores se establecen de 1 a 3, siendo 1 un valor típico para estudios a gran escala (estudios continentales), y 3 siendo un valor típico para estudios a pequeña escala (estudios locales) (Douglas 2012). Lc = calidad de la localización según ARGOS (**Tabla 2.**).

❖ **maxredun** : 15 km

Este parámetro define la máxima distancia entre dos puntos consecutivos. Los grandes errores de localización argos rara vez se producen en el mismo lugar (es relativamente poco frecuente) (Douglas 2012).

❖ **minrate** : 10 km/h

Velocidad máxima (km/h) realista de la trayectoria entre dos puntos.

❖ **r\_only** : desactivado

Si se activa esta opción el filtrado sólo se basa en la velocidad de movimiento, deja de lado los parámetros de los ángulos.

❖ **ratecoef** : 25

Este coeficiente influye en cómo el ángulo entre las localizaciones es evaluado. Los ángulos mayores serán considerados sospechosos a medida que aumentemos el ratecoef. Para reptiles se recomienda 25, según el manual de Douglas 2012.

❖ **Best of day filter** : activado / desactivado (Mejor dato del día)

Para determinar el mejor dato del día se basa en diferentes criterios:

- LC (Location classes): elige la de mayor clase para mejor precisión en el filtrado.
- IQX (Quality indicator X): indica el error residual en el cálculo de la frecuencia.
- IQY (Quality indicator Y): indica la diferencia de frecuencia del oscilador del transmisor entre dos pasadas de satélite.
- NBMES : número de mensajes enviados.

El filtrado de Douglas et al (2012) se puede realizar desde la página web de Movebank (<https://www.movebank.org/>). En Movebank puedes modificar todos los

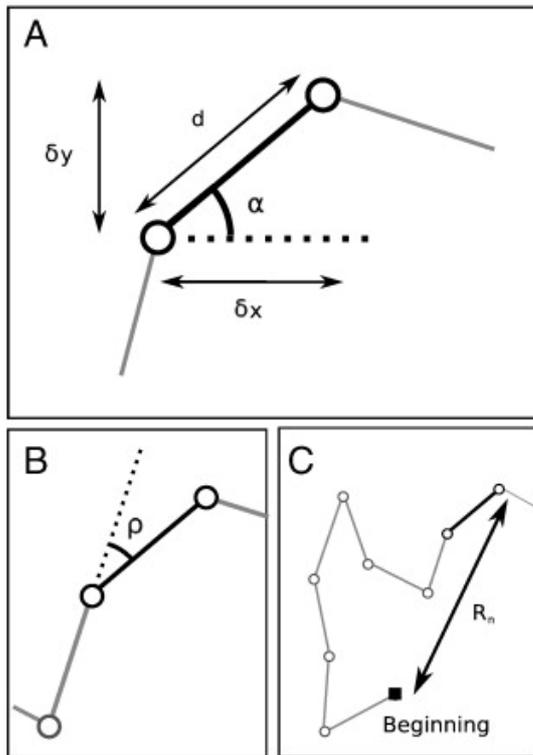
parámetros del filtrado de Douglas explicados anteriormente para así poder adecuar el filtrado a tus necesidades.

## 2.4 Análisis y tratamiento de datos

Se han empleado las plataformas *Seaturtle* (<http://www.seaturtle.org/>) y *Movebank* (<https://www.movebank.org/>) para recopilar los datos de forma automatizada de ARGOS. El análisis de las trayectorias se ha realizado mediante el software *R*. Se ha utilizado el paquete *Adehabitat* (Calange 2006); además de otros paquetes para realizar diferentes operaciones y análisis:

- *Rgdal* (Bivant et al 2016): para definir y georeferenciar nuestras trayectorias en coordenadas UTM en el huso 31. De esta manera obtenemos un sistema de coordenadas métricas, mucho más cómodo para el trabajo y analizar los resultados obtenidos.
- *CircStats* (Agostinelli 2012) y *Circular* (Agostinelli and Lund 2013): para realizar los análisis circulares de orientación (test de Rayleigh).

Para caracterizar las trayectorias, se han analizado las distancias ( $d$ ) y los ángulos ( $\alpha$  y  $\rho$ ) entre las localizaciones. En la **Fig. 7**. podemos observar las variables que calculamos para caracterizar las trayectorias.



**Fig. 7. Parámetros descriptivos de una trayectoria en *Adehabitats*. Fuente: (Calenge, Dray, and Royer-Carenzi 2009)**

Diferentes variables proporcionadas por *Adehabitats*:

- $X$ : coordenada UTM en longitud.
- $Y$ : coordenada UTM en latitud.
- *Date*: data.
- $Dx$  (m): diferencia en distancia en el eje x respecto al próximo punto.
- $Dy$  (m): diferencia en distancia en el eje y respecto al próximo punto.
- *Dist* (m): distancia entre puntos.
- $Dt$  (s): diferencial de tiempo.
- $R2n$ : es el cuadrado de la distancia entre la primera ubicación y la ubicación actual.
- *Abs.angle* ( $\alpha$ ): ángulo entre la ubicación actual y la próxima respecto a la horizontal.
- *Rel.angle* ( $\rho$ ): ángulo que forma el punto anterior respecto al punto siguiente pasando por el punto actual.

Para analizar la existencia de homogeneidad en el movimiento de las tortugas durante toda la trayectoria empleamos el método de Gueguen (Gueguen 2001). Este modelo nos permite establecer la diferencia de comportamiento entre diferentes segmentos dentro de las trayectorias. Se realiza un cálculo por segmentos de distancia preestablecida y el modelo nos proporciona un valor para  $k$ ; donde  $k$  es el número de segmentos de comportamiento diferente en la trayectoria.

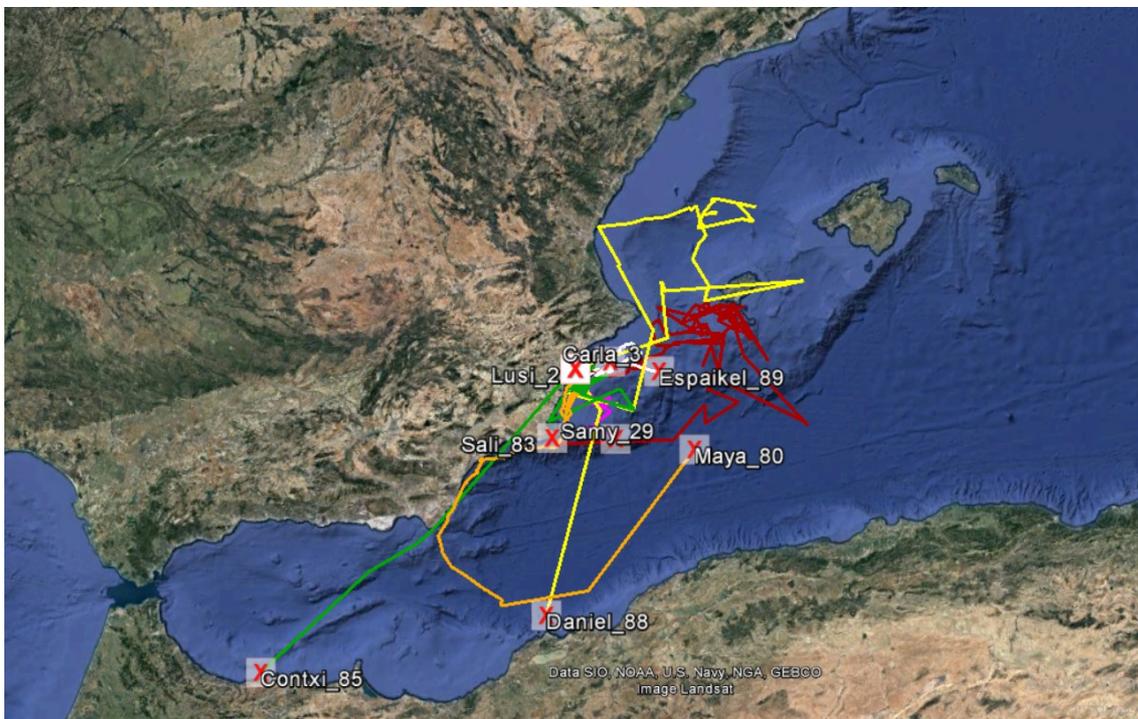
Los datos sobre dirección e intensidad de las corrientes se obtuvieron para cada localización empleando STAT (<http://www.seaturtle.org/stat/>) (Coney and Godley 2005). Para analizar la relación entre el rumbo de la tortuga y el rumbo de la corriente se han pasado todos los valores de ángulos a radianes para trabajar con la misma unidad (Sistema métrico); y se han recalculado todos los valores para un rango de 0 a  $\pi$  (de 0° a 180°). Además de al mismo tiempo, se ha calculado una nueva variable, de nombre *Diferencia Rumbos*, que es el resultado de restar el valor del rumbo de la tortuga y el rumbo de la corriente; dándonos así la diferencia de ángulo entre los dos vectores y nos dirá si el rumbo de la tortuga y el de la corriente son el mismo o si difieren en valor absoluto. El análisis de la relación entre las trayectorias de las tortugas y las corrientes se ha realizado estudiando la relación entre estas variables empleando diferentes análisis. Los análisis se han realizado mediante el software *Statgraphics*. Las variables que se han utilizado son las siguientes:

- *Rumbo tortuga* (en radianes y de 0 a  $\pi$ ). Orientación que tiene la tortuga hacia el siguiente punto respecto al norte.
- *Rumbo corriente* (en radianes y de 0 a  $\pi$ , respecto al norte).
- *Diferencia Rumbos* (en radianes y de 0 a  $\pi$ )
- *Velocidad corriente* (cm/s).

- *Velocidad tortuga (cm/s).*

### 3. Resultados

Las trayectorias de cada una de las ocho tortugas seguidas vía satélite pueden verse en la **Fig. 8**. Se puede observar como las tortugas se desplazaron por la zona más occidental del Mediterráneo.



**Fig. 8. Trayectorias de las tortugas. Fuente: Seaturtle.org**

Se obtuvieron datos de seguimiento durante una media de 44,25 días (con una desviación estándar de 31,52; con rangos desde 11 días hasta 90 días; **Tabla 3.**). Los desplazamientos oscilaron entre los 40 y los 1300 km (**Tabla 3.**) A continuación se presenta una tabla con la información básica de los resultados del seguimiento de las tortugas vía satélite.

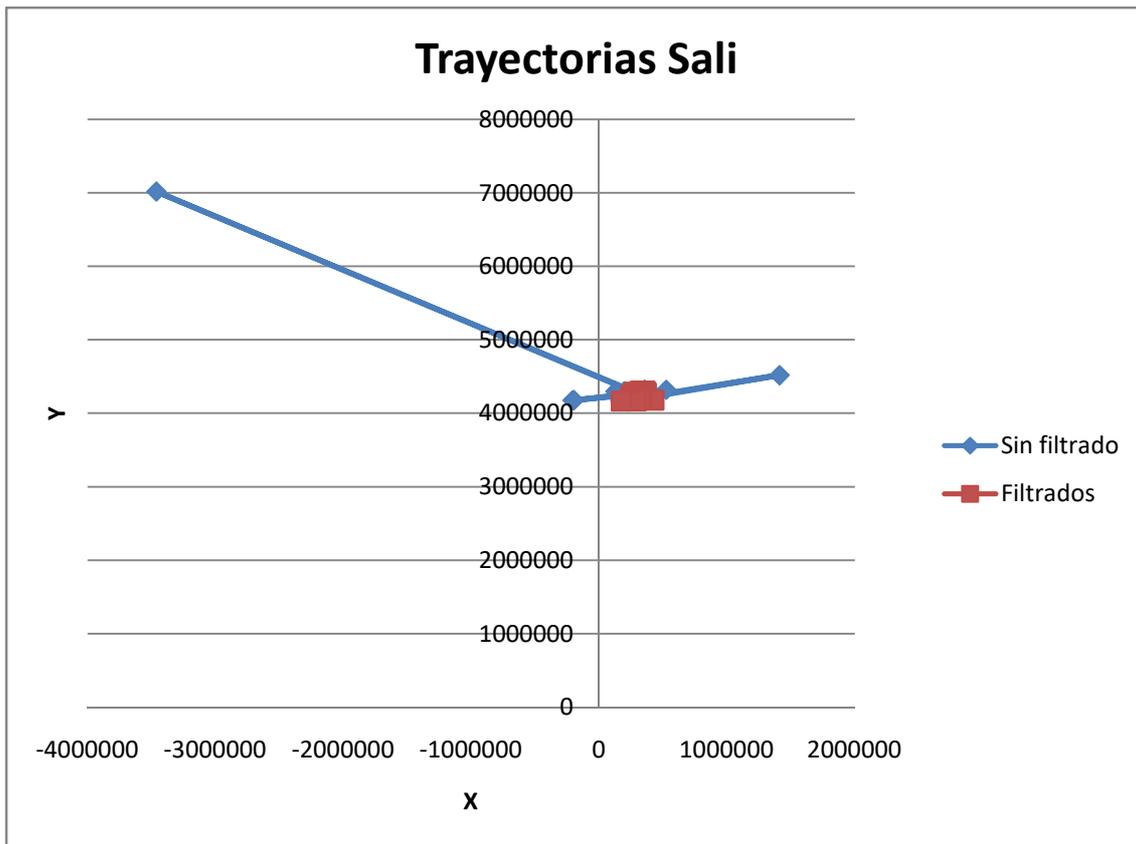
**Tabla 3. Información básica por tortuga.**

	Número de locs.	Fecha suelta	Última señal	Días transcurridos	Desplazamiento realizado (km)	Velocidad media de desplazamiento (km/h)
Contxi	104 (69)*	14/09/2015	06/11/2015	53	414	0,37
Daniel	108 (91)*	14/09/2015	13/12/2015	90	1096	0,58
Maya	339 (290)*	14/09/2015	27/10/2015	43	956	1,1
Sali	247 (174)*	14/09/2015	14/12/2015	91	1366	0,67
Carla	16 (9)*	14/09/2015	25/09/2015	11	42	0,31
Espaike	172 (162)*	14/09/2015	07/10/2015	23	306	0,6
Lusi	35 (24)*	14/09/2015	04/10/2015	20	341	1,33
Samy	53 (45)*	14/09/2015	07/10/2015	23	260	0,6

\*Número de localizaciones filtradas

### 3.1 Comparación de filtrados

En la **Fig. 9** puede verse como hay una diferencia sustancial entre los datos filtrados y los datos sin filtrar. El error que se puede cometer es importante.



**Fig. 9. Comparación entre la misma trayectoria filtrada y sin filtrar.**

Para seleccionar unos criterios adecuados de filtrado empleamos los datos de las cuatro tortugas con mayor número de localizaciones ( $> 30$  días; Contxi, Daniel, Maya y Sali).

Se ha realizado una comparación de los resultados de los dos filtrados para así poder determinar cuál de los dos es más preciso y se ajusta más a nuestras necesidades y poder trabajar con mayor fiabilidad de los datos.

Las trayectorias resultantes de los dos filtrados se han representado en el mismo gráfico para ver de manera visual cuál de los dos suaviza y filtra mejor los errores (*outliers*).

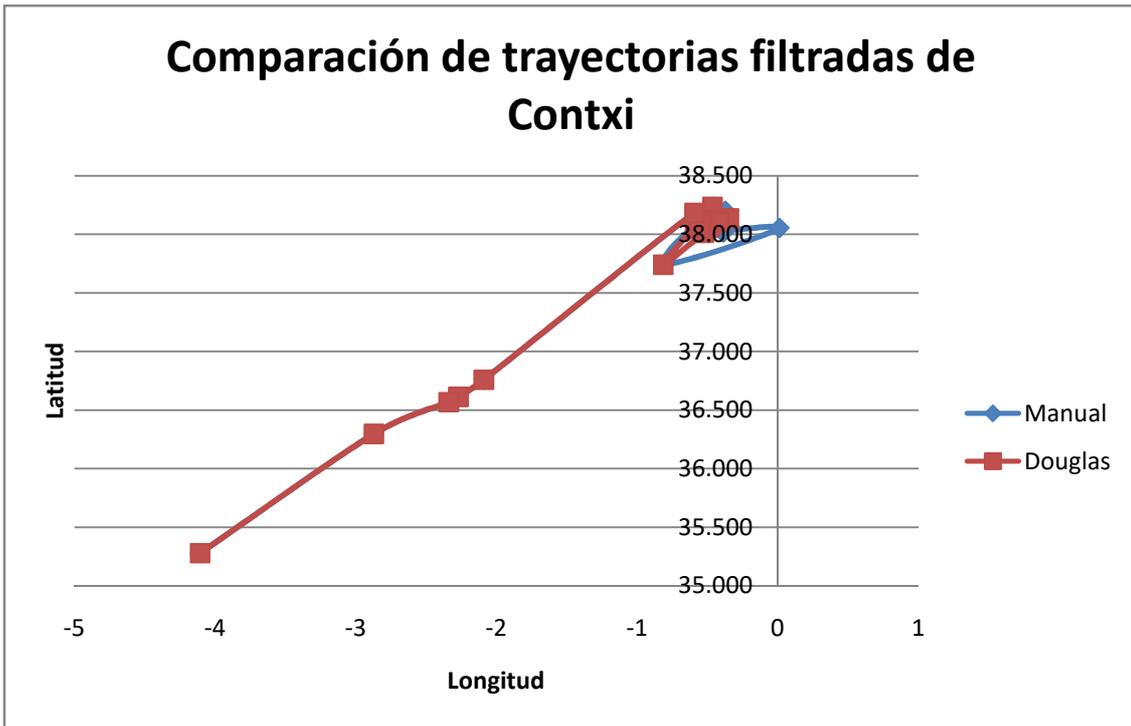


Fig. 10. Comparación filtrados Contxi.

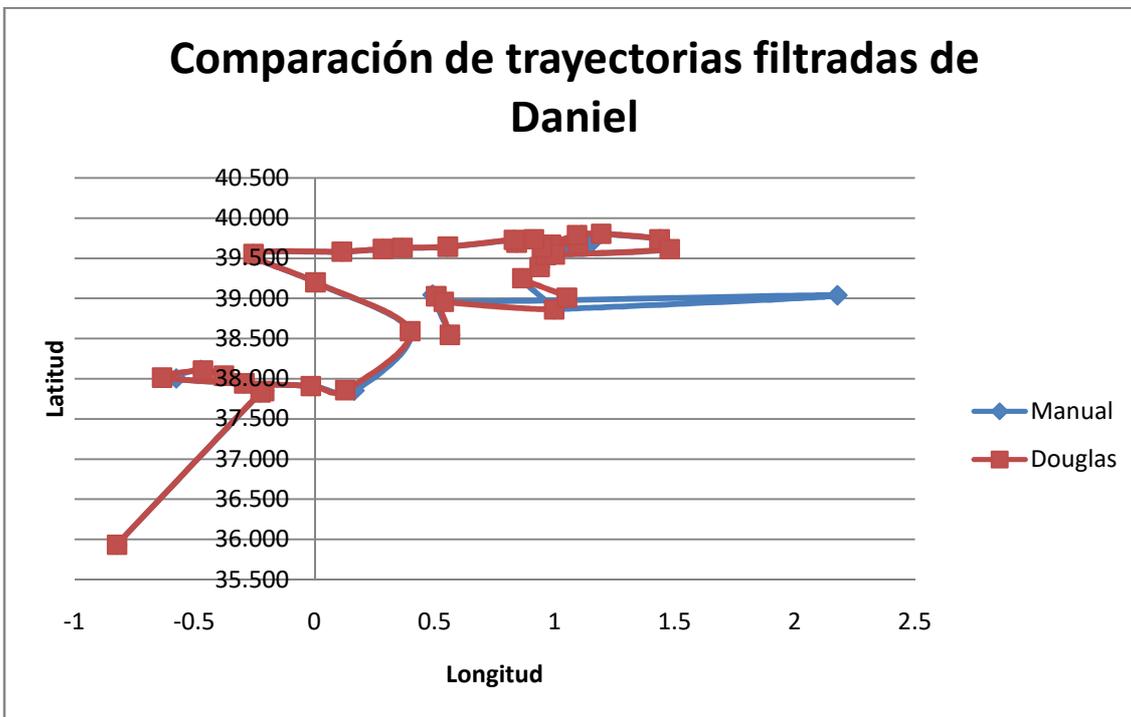


Fig. 11. Comparación filtrados Daniel.

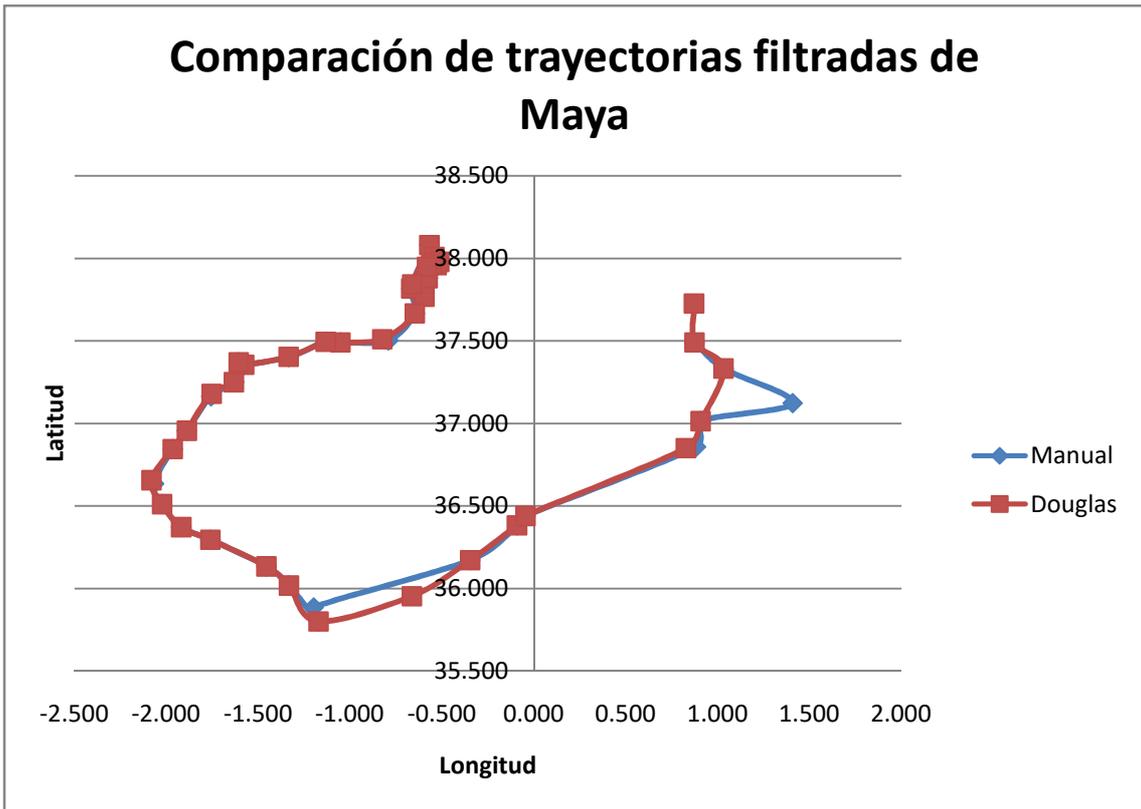


Fig. 12. Comparación filtrados Maya.

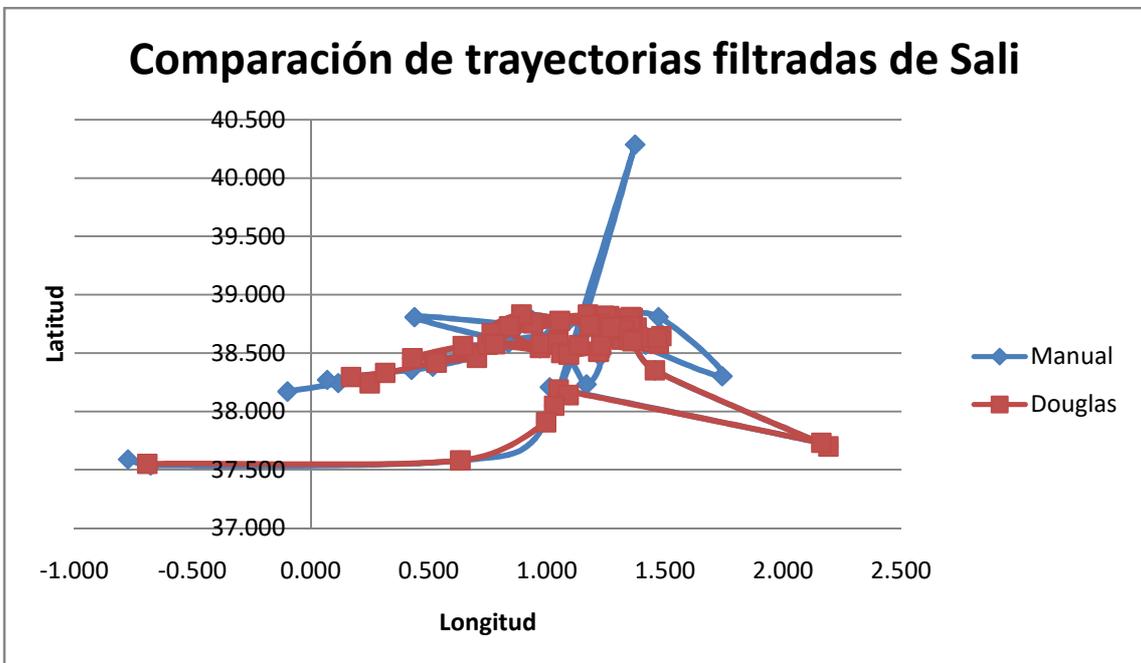


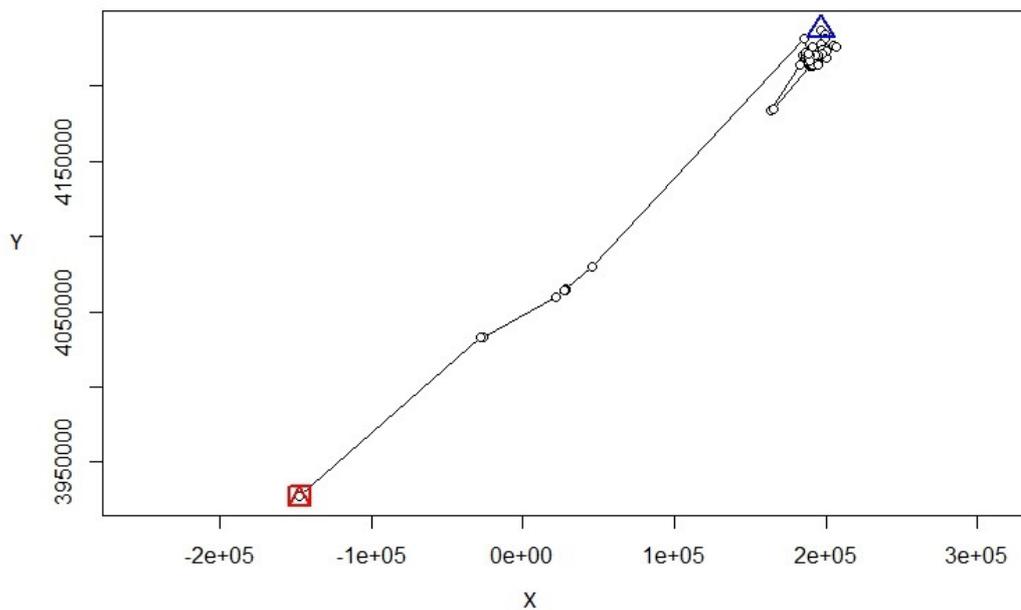
Fig. 13. Comparación filtrados Sali.

En las **Fig. 10., 11., 12. y 13.** podemos observar que los dos filtrados son muy parecidos en la mayoría de las localizaciones, aunque en algunos datos podemos ver como el filtrado manual que hemos realizado difiere mucho del filtrado de Douglas y , a priori, hemos incluido en el trayecto datos erróneos u *outliers*. Por eso, hemos decidido que para trabajar con los datos y realizar el análisis vamos a utilizar el filtrado de Douglas (2012).

### **3.2 Análisis de trayectorias**

Las tortugas recorrieron de media al día 12,84 Km (con una desviación estándar de 5,6 **Tabla 3.**). La velocidad media de desplazamiento de todas las tortugas fue de 0,695 Km/h (**Tabla 3.**). La información recopilada para cada trayectoria de la distancia entre dos puntos (d), el ángulo relativo ( $\rho$ ), el ángulo absoluto ( $\alpha$ ), etc, (Ver **Fig. 7**) la encontramos en las **Tablas II, III, IV y V en 8. Anexos.**

Una vez cargados los datos visualizamos las trayectorias mediante *AdehabitatLT* (Calange 2006). Cabe mencionar que en este apartado sólo se han analizado las trayectorias con más recorrido y las más duraderas para que el resultado sea significativo. Las trayectorias analizadas son las de Contxi, Daniel, Maya y Sali.



**Fig. 14. Trayectoria realizada por Contxi (*Caretta caretta*).**

**Tabla 4. Resumen del *track* Contxi.**

	Id <sup>1</sup>	Burst <sup>1</sup>	nb.reloc <sup>2</sup>	NAs	date.begin <sup>3</sup>	date.end <sup>4</sup>
1	Contxi_85	Contxi_85	69	0	17/09/2015 9:25	06/11/2015 10:34

<sup>1</sup>Id y burst son el identificador del individuo.

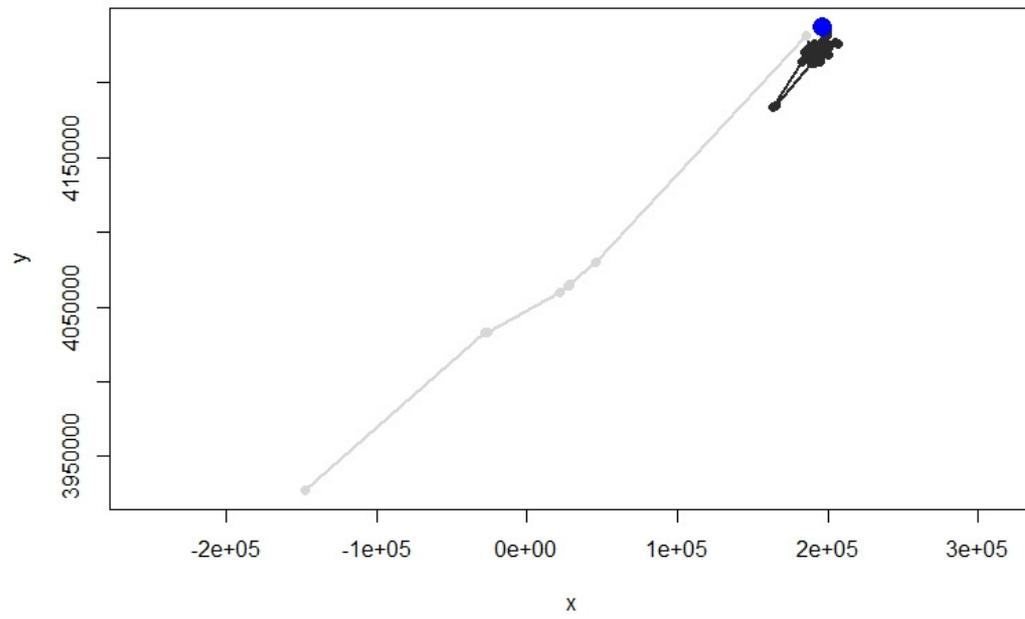
<sup>2</sup>Nb.Reloc es el número de localizaciones que tenemos.

<sup>3</sup>Date.begin es cuando empieza la trayectoria (primera localización).

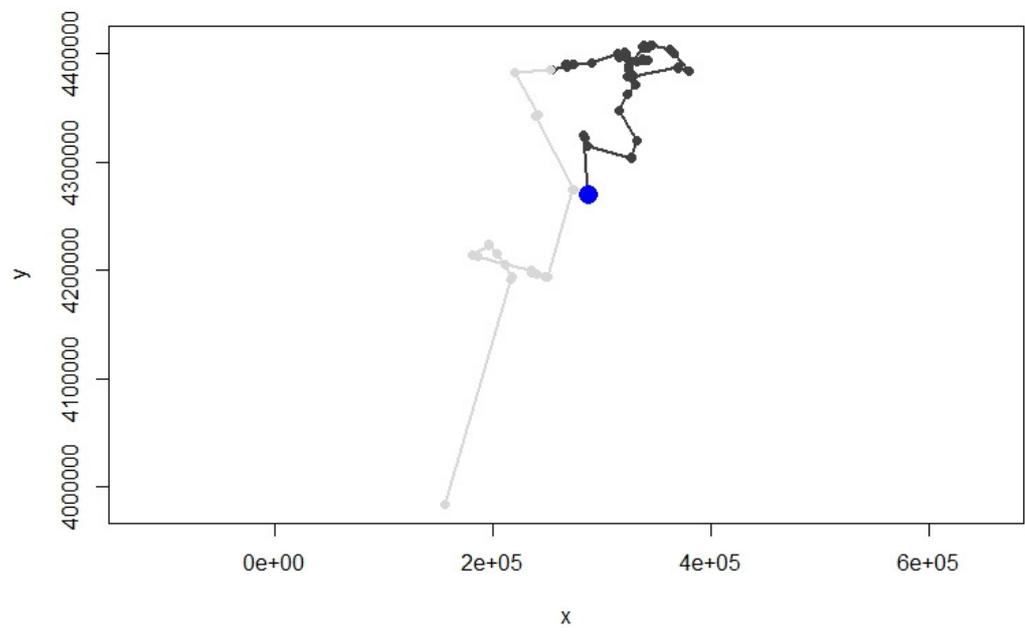
<sup>4</sup>Data.end es cuando termina la trayectoria (última localización).

La dispersión de las tortugas no fue homogénea en cuanto a la velocidad. Para las cuatro tortugas con más de 30 días de seguimiento analizadas nos ha calculado que la máxima probabilidad para  $k$  (dónde  $k$  es igual al número de segmentos) es igual a 2. Las fases en las trayectorias pueden verse en las **Fig. 15**.

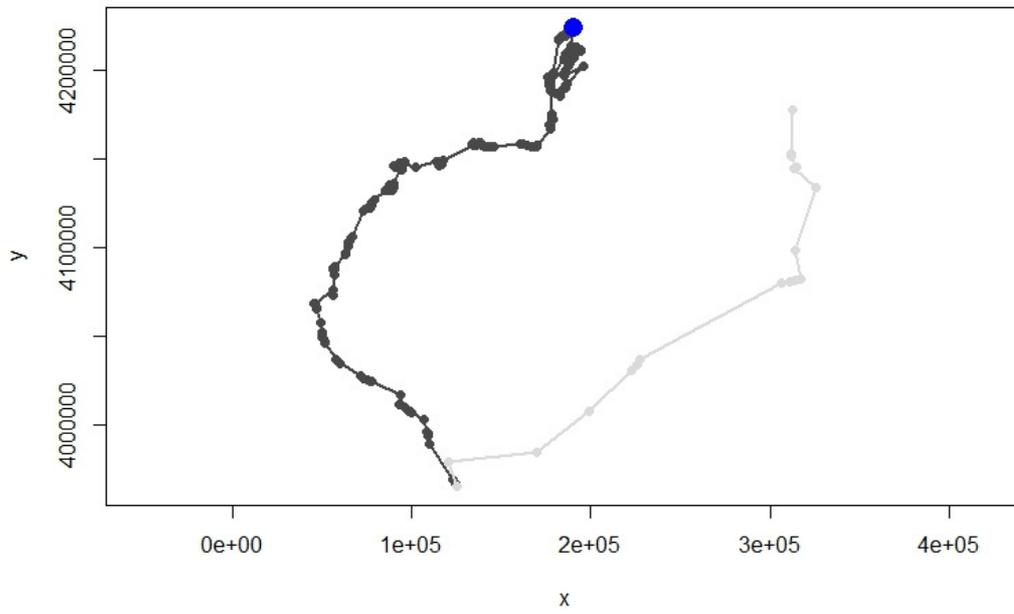
Otra manera de visualizar el resultado es comparando la distancia recorrida y el tiempo, de esta manera los dos segmentos de diferente comportamiento se pueden observar mucho mejor (**Fig. 16**).



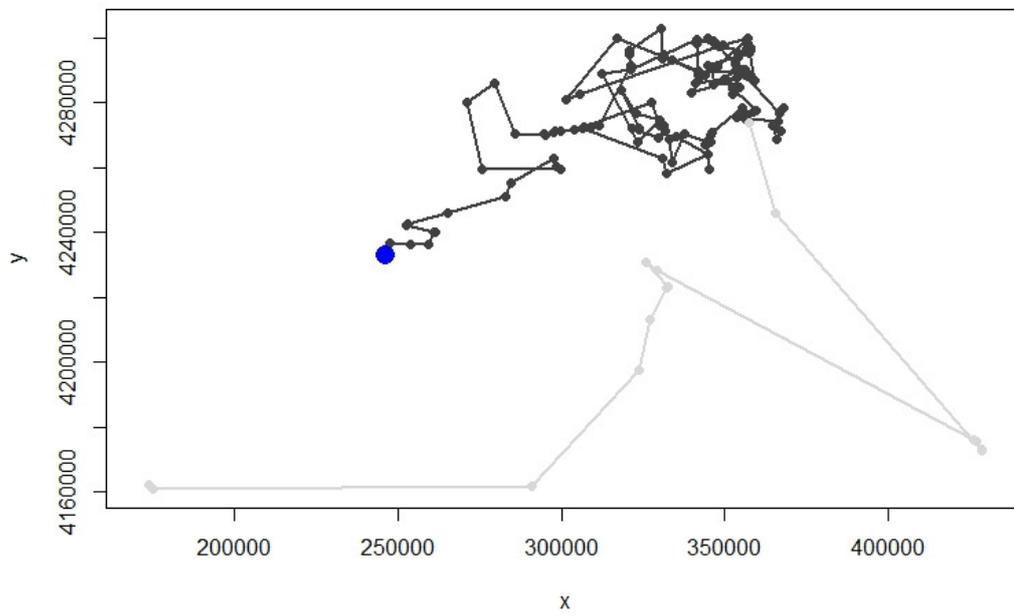
**Fig. 15a. Trayectoria Contxi.**



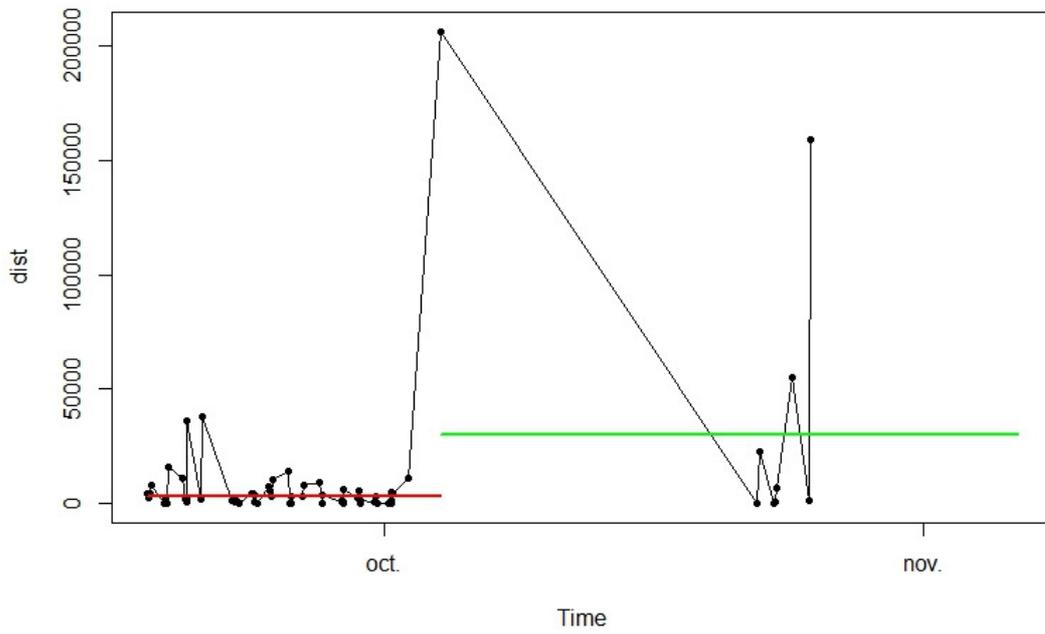
**Fig. 15b. Trayectoria Daniel.**



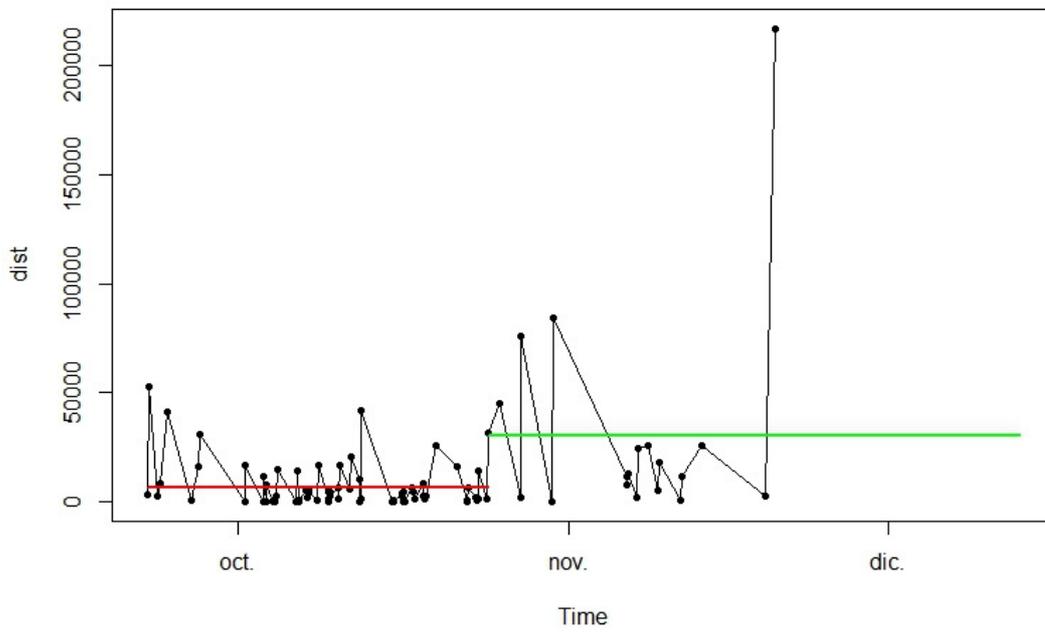
**Fig. 15c. Trayectoria Maya.**



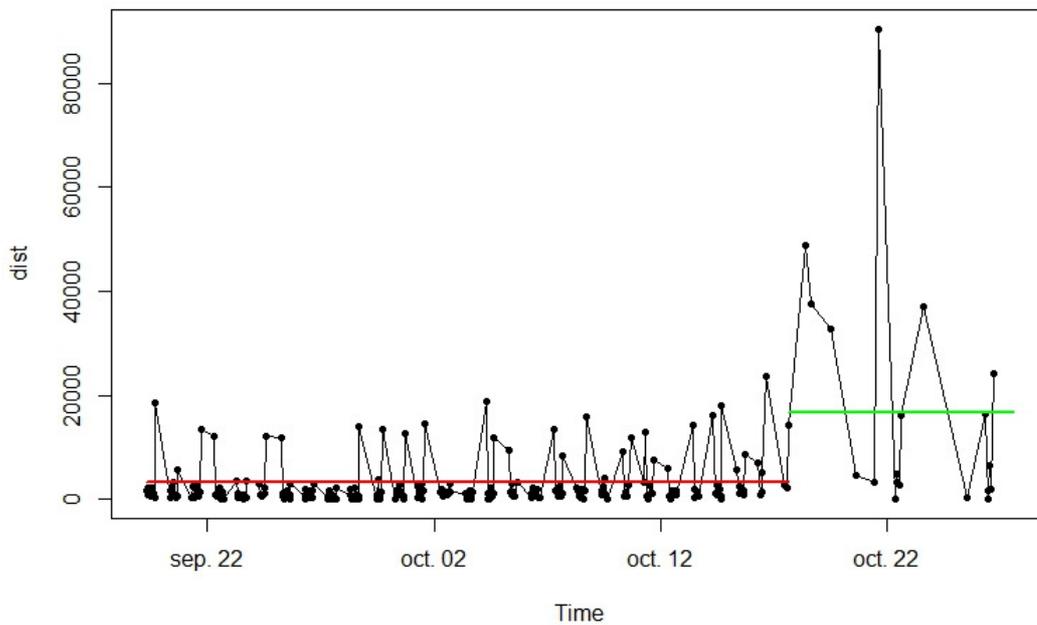
**Fig. 15d. Trayectoria Sali.**



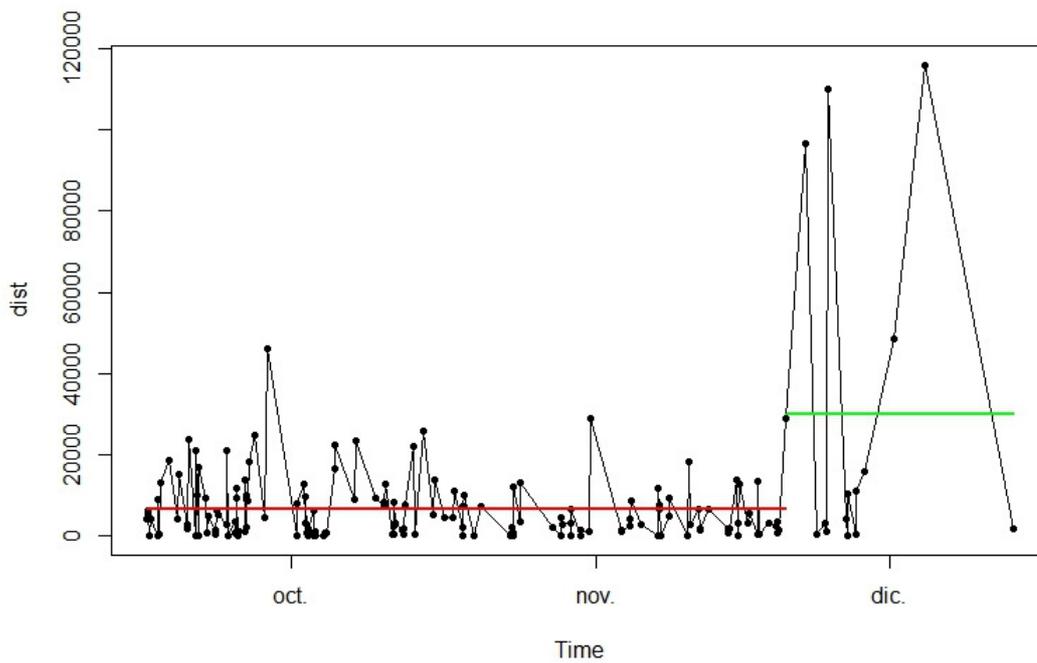
**Fig. 16a. Segmentos trayectoria Contxi**



**Fig. 16b. Segmentos trayectoria Daniel**



**Fig. 16c. Segmentos trayectoria Maya**



**Fig. 16d. Segmentos trayectoria Sali**

Se ha observado que se establecen dos tipos de movimientos en las trayectorias analizadas. En todas las tortugas obtenemos el mismo patrón de desplazamiento. Un primer segmento de la trayectoria dónde la tortuga realiza movimientos más lentos; y

un segundo segmento donde el desplazamiento de la tortuga es más rápido. En tres de los casos, ese cambio de patrón es más o menos coincidente en el tiempo, y se pasa de la fase rápida a la lenta a mediados de octubre después de un mes tras su liberación. La cuarta, Sali, retrasa este cambio hasta finales de Noviembre.

### 3.3 Análisis de Orientación

El resultado del análisis de orientación circular se ha aplicado a los datos de las 8 tortugas.

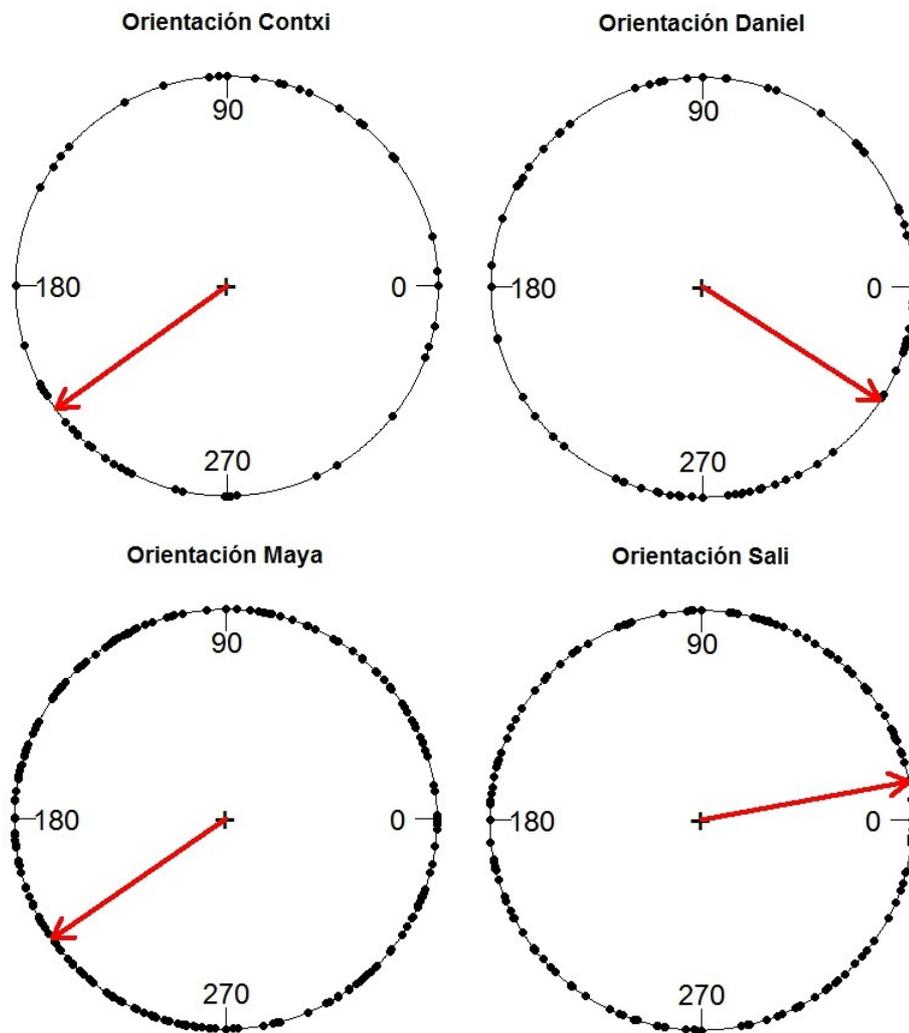


Fig. 17. Análisis de orientación circular para Contxi, Daniel, Maya y Sali.

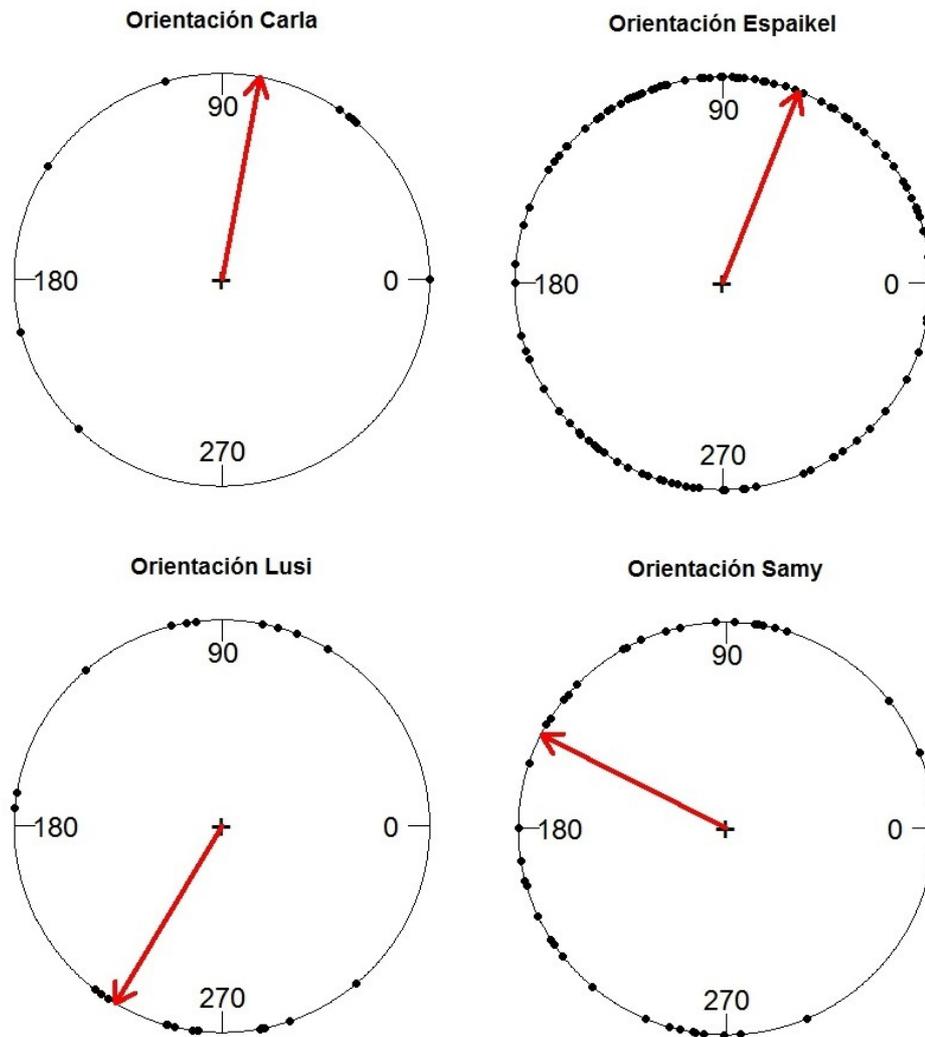


Fig. 18. Análisis de orientación circular para Carla, Espaikei, Lusi y Samy.

Tabla 5. Resultado del P valor para el análisis de orientación circular.

	Contxi	Daniel	Maya	Sali	Carla	Espaikei	Lusi	Samy
<b>P Valor</b>	0,591	0,816	0,825	0,383	0,369	0,483	0,396	0,448

Este análisis nos indica que no hay una orientación preferente para nuestras tortugas ( $P > 0,05$ ). Es decir, se trata de una distribución irregular y no podemos afirmar que las tortugas tengan una orientación preferente.

### 3.4 Análisis entre el rumbo de la tortuga y otras variables.

El análisis de correlación se ha realizado para todas las tortugas (**Tabla 6.**).

**Tabla 6. Correlaciones de Pearson.**

	Rumbo Tortuga	Velocidad corriente (cm/s)	Rumbo Corriente	Velocidad tortuga (cm/s)
<b>Rumbo Tortuga</b>		0,1298 (477)	0,1277 (477)	-0,0029 (477)
		<b>0,045</b>	<b>0,0052</b>	0,9498
<b>Velocidad corriente (cm/s)</b>	-		0,1859 (477)	0,0189 (477)
	-		<b>0,0000</b>	0,6811
<b>Rumbo Corriente</b>	-	-		0,0605 (477)
	-	-		0,1875
<b>Velocidad tortuga (cm/s)</b>	-	-	-	
	-	-	-	
	-	-	-	

Podemos observar que la variable *Rumbo Tortuga* esta correlacionada con la *Velocidad corriente* y *Rumbo corriente*. Podemos observar que las correlaciones son positivas en ambos casos. Por otra parte, la variable *Velocidad Tortuga* no tiene correlación con ninguna variable.

El análisis de regresión múltiple nos indica que ambas variables están relacionadas ( $P < 0,05$ , **Tabla 7.**). Sin embargo, el modelo explica tan sólo un 3,15% de la variación encontrada en el rumbo de la corriente (**Tabla 8.**).

**Tabla 7. Variables independietes.**

Parámetro	Estimación	Error		Estadístico	
		Estándar	T	Valor-P	
<b>Rumbo corriente</b>	0,103179	0,0399955	2,57978	<b>0,0102</b>	
<b>Velocidad corriente (cm/s)</b>	0,0237066	0,00733195	3,23333	<b>0,0013</b>	

**Tabla 8. Análisis de Varianza en la regresión múltiple.**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>Modelo</b>	41,2731	2	20,6366	7,73	<b>0,0005</b>
<b>Residuo</b>	1268,66	475	2,67087		
<b>Total</b>	1309,94	477			

**R-cuadrada = 3,15077 %**

Una regresión lineal entre las variables *Diferencia Rumbos* y *Velocidad corriente* nos indica que hay una relación entre esa diferencia entre la dirección de la corriente y de la tortuga y la velocidad de la corriente.

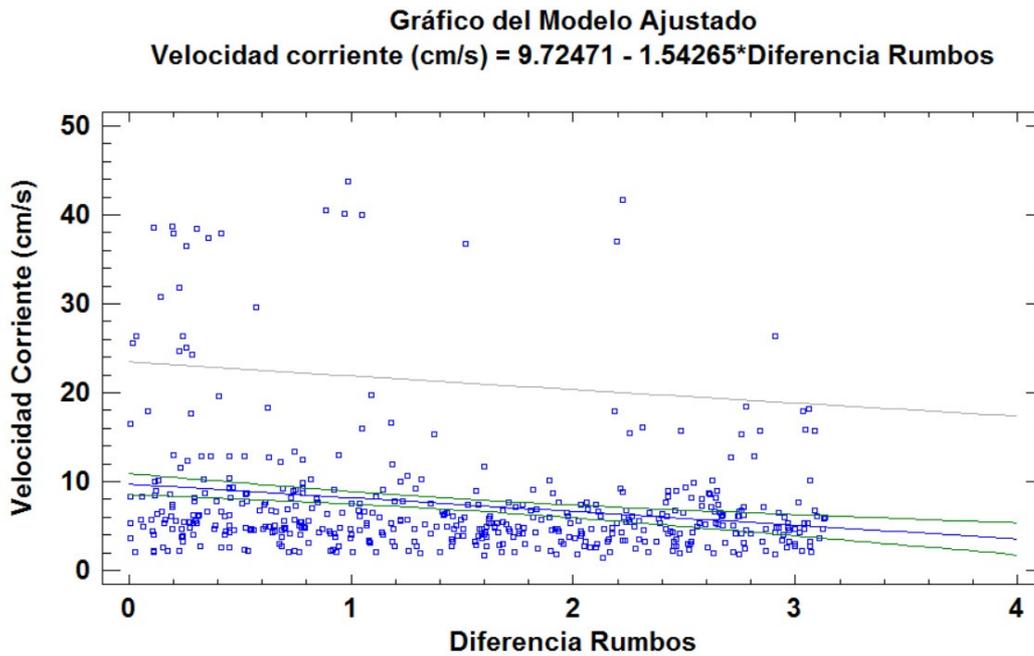


Fig. 19. Recta de Regresión Simple.

Tabla 9. Análisis de Varianza de la Regresión Simple.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>Modelo</b>	982,078	1	982,078	20,25	<b>0,0000</b>
<b>Residuo</b>	23041,7	475	48,5089		
<b>Total (Corr.)</b>	24023,8	476			

**R-cuadrada = 4,08794 %**

El modelo nos indica que es significativo y que hay una correlación de signo contrario entre las dos variables al tener una pendiente negativa en la recta de regresión (correlación negativa). Por ejemplo, a altos valores de la variable *Diferencia Rumbos* obtenemos bajos valores de la variable *Velocidad Corriente*, y a la inversa.

#### 4. Discusión y conclusiones

Estos son los primeros datos de la migración/dispersión de movimientos de juveniles pequeños (< 20 cm) de tortuga boba en el Mediterráneo. Hemos obtenido información muy importante que nos puede servir para describir los movimientos durante los primeros años de vida de esta especie; como por ejemplo el desplazamiento medio por día, la velocidad media durante sus trayectorias, una dispersión característica en cada ejemplar o una diferencia de desplazamiento entre dos fases (una lenta y otra más rápida) que no parece estar condicionada por las corrientes.

En comparación con los datos publicados por Mansfield et al. (2014), nuestras tortugas han sido monitorizadas durante una media de 44,25 días; en cambio las de Mansfield emitieron el doble de media y algunas de sus trayectorias superan los 4000 Km; mientras que las nuestras van desde los 42 Km (Carla) hasta los 1366 Km (Sali). Hay que tener en cuenta que ellos marcaron el doble de individuos. En su caso la mayoría de trayectorias tuvieron una duración de entre 27 y 80 días y las diferencias son debido a cinco tortugas que estuvieron enviando señales durante un período mayor (hasta 220 días).

El filtrado de los datos propuesto por Douglas (2012) es un método adecuado para preparar y seleccionar los datos. En la práctica consideramos que es una metodología útil para obtener las trayectorias de los ejemplares marcados y geolocalizados mediante ARGOS, y sobretodo fácil de implementar a partir de los datos almacenados en el repositorio *Movebank* (Se baja los datos diariamente desde ARGOS).

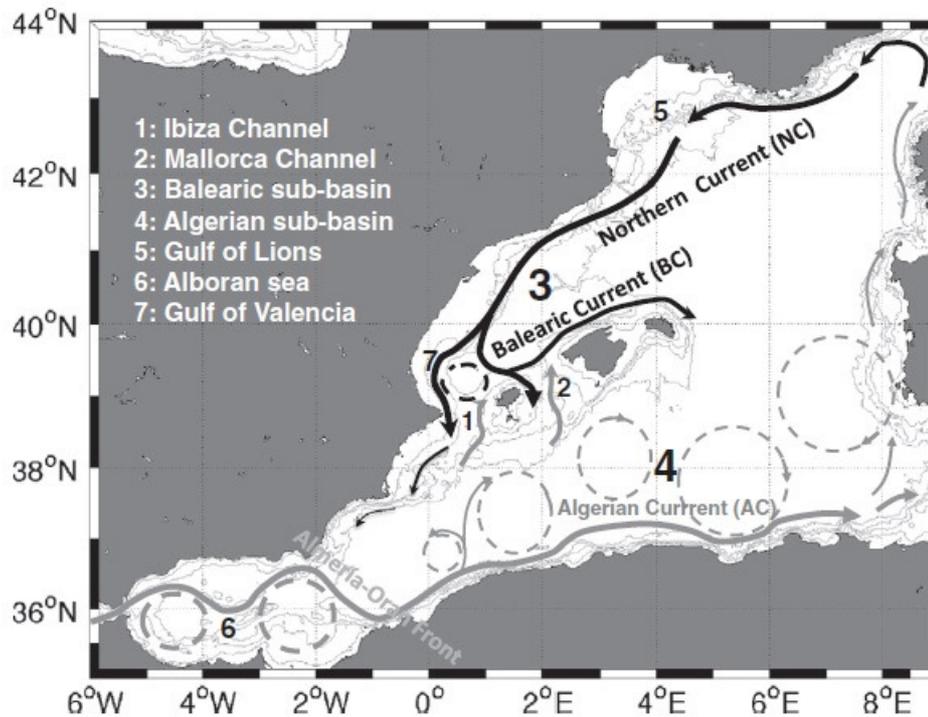
La dispersión de las tortugas se ha caracterizado por dos fases; un primer segmento de desplazamientos cortos y lentos que probablemente puedan deberse a una fase de exploración; y un segundo segmento de desplazamientos más rápidos y

largos, con una orientación clara pero no significativa (movimientos migratorios o de desplazamiento). El primer segmento se corresponde con las primeras semanas tras la liberación, y pueden responder a una fase exploratoria. No debemos olvidar que son ejemplares que no han estado nunca en el mar, sin experiencia previa y que no se sabe si tienen ya el instinto innato de nadar mar adentro, que se da en los neonatos (Wyneken and Salmon 1992). Tras esta fase que puede ser exploratoria, o de aprendizaje y adaptación al medio, la segunda fase de desplazamiento más rápido podría asociarse a un comportamiento migratorio hacia zonas más adecuadas.

Esta diferencia entre dos tipos de segmentos en las trayectorias se puede relacionar con el diferente uso del hábitat que realizan las tortugas. Un primer uso inicial, dónde los patrones de movimiento son irregulares (en cuanto a direccionalidad, se mueve en un área más o menos definida), y de estancia larga, ya sea etapa explorativa, una zona de descanso, alimentación, o simplemente porque esté cómoda en esa zona. Un segundo uso donde los patrones de movimiento son diferentes del primero; se caracteriza por un desplazamiento más rápido y directo; son segmentos de desplazamiento de las tortugas, ya sea en busca de alimento, zonas de descanso o zonas más cálidas por la llegada del invierno.

En el análisis de orientación circular no se ha detectado ninguna orientación preferente para las tortugas, es decir, no siguen ni tienen una orientación preferente. En este resultado puede afectar que la monitorización ha sido de un período de tiempo corto; y puede que las tortugas al inicio, en su fase exploratoria del medio aún no tengan tiempo de aclimatarse. Pero también pueden deberse a que las tortugas con un año de edad no tienen un comportamiento innato. También hay que tener en cuenta que el mar Mediterráneo no se asemeja a otros océanos. No existe como en el Atlántico, la corriente del Golfo, o en el Pacífico la corriente de Kuroshio que son las principales corrientes que siguen los juveniles en su etapa en mar abierto. En el

Mediterráneo, dada la extensión del mar, las corrientes son más cortas y más abundantes; y la dispersión puede ser totalmente diferente (**Fig. 20**).



**Fig. 20. Principales corrientes en el Mediterráneo occidental. Fuente: Balbín et al 2014.**

En el área de suelta, la corriente predominante cercana es de Norte a Sur, pero mar adentro nos encontramos con una corriente que procede del mar Alborán y que sube hacia el Norte por el canal de Ibiza. En el caso de ser llevadas por la corriente más costera, ésta las lleva hacia el mar Alborán donde se encuentran varios *eddies* ciclónicos y anticiclónicos donde pueden encontrar hábitats óptimos en cuando a disponibilidad de alimento. Así mismo, pueden ser arrastradas desde allí por la corriente que va desde el Estrecho hacia el Mediterráneo oriental (corriente algeriana). Maffucci et al (2016) señalan que en el Mediterráneo occidental los juveniles podrían tener problemas para sobrevivir durante los meses del invierno, ya que se dan temperaturas inferiores a 13°C y que las zonas optimas para poder sobrevivir sería o bien frente a las costas de Túnez-Argelia o bien que cruzaran el estrecho de Sicilia y

pasaran al Mediterráneo oriental que tiene temperaturas más cálidas durante el invierno.

En el análisis de relación entre el rumbo de la tortuga y el rumbo de la corriente se ha concluido que el desplazamiento de las tortugas, en este caso, se ve afectado por la intensidad de la corriente, más que por su dirección. A fuertes corrientes, la diferencia entre el rumbo de la tortuga y el rumbo de la corriente es menor, ya que le cuesta más desplazarse al haber una fuerte corriente. A menor valor de intensidad de corriente, el ángulo de desplazamiento es mayor. No obstante en cualquier caso las relaciones encontradas explican una mínima parte de la variación en el rumbo de las tortugas durante sus desplazamientos en el periodo que han sido monitorizadas. Con estos resultados, concluimos que la dispersión de las tortugas no es pasiva; sino que se trata de una dispersión que se ve influenciada y condicionada por las fuertes corrientes, pero en valores bajos en la velocidad de la corriente la tortuga no siempre se desplaza con ella, tiene libertad de desplazamiento. Este resultado apoya los resultados presentados por Putman and Mansfield (2015) y Briscoe et al (2016) sobre una dispersión activa en los juveniles pequeños de tortuga boba. No obstante, algunos autores en los últimos años sugieren que la dispersión de las tortugas es activa y oportunista; es decir, siguen las corrientes cuando les interesa pero se desplazan activamente en determinados momentos, por ejemplo ante cambios de temperatura (Mansfield et al 2014; Putman and Mansfield 2015; Briscoe et al 2016).

En cualquier caso nuestro análisis de relación entre la corriente y el desplazamiento de la tortuga debe tomarse con precaución. Nosotros nos hemos limitado a ver si el rumbo entre dos puntos de la trayectoria de la tortuga se relacionaba con la corriente en ese punto. Pero dado que los datos de corrientes se dan sobre cuadrículas de  $1/3^\circ$  (Fuente: <http://www.aviso.altimetry.fr/en/home.html>), la resolución no es demasiado precisa y es muy probable que durante el desplazamiento se hayan obtenido datos de corrientes errónea en algunas localizaciones. Esto no se

ha tenido en cuenta en nuestro análisis y podría explicar la falta de relación entre el rumbo de la corriente y el rumbo de la tortuga. Una posibilidad sería comparar las trayectorias de nuestras tortugas con trayectorias simuladas a partir de partículas lagrangianas (Thyng and Hetland 2014); pero aún no nos ha sido posible realizarlo.

## 5. Futuros trabajos e investigaciones

Al ser un trabajo pionero abre muchas posibilidades de trabajos e investigaciones en un futuro. Entre otros, se exponen diferentes trabajos interesantes que en un futuro se podrían realizar:

- Simulación de trayectorias de partículas. Mediante los datos de corrientes históricos se puede realizar una simulación de dónde irían las partículas (en nuestro caso tortugas) si tuvieran una dispersión pasiva. Se establecen los datos de corrientes en una malla, se establecen las ecuaciones por cuadrícula de la malla y se representa la trayectoria en el tiempo y el espacio de las partículas. El resultado sería comparar esos resultados teóricos de simulación de partículas (dispersión pasiva) con las trayectorias de nuestras tortugas.
- Al tener un número significativo de trayectorias (unas 15-20) duraderas (una media de unos 100 días) analizarlas en conjunto para ver si los segmentos de desplazamiento lento (zonas de descanso y alimentación) se solapan. En ese caso tendremos zonas de especial interés de estudio y conservación. De esa manera en un futuro se podrán redactar planes e incluso proponer nuevas reservas marinas ya que para la *Directiva Marco de Estrategias Marinas (Directiva 2008/56/CE)* un bioindicador de buen estado del agua es la presencia de tortugas marinas (*Caretta caretta*).

- Otro tipo de análisis que sería interesante realizar en un futuro sería interpolar otras variables ambientales en el tiempo y el espacio; junto con las trayectorias de las tortugas, para ver así como puede afectar la temperatura, la clorofila o los frentes marinos a su dispersión y a su desplazamiento.
- Además de estudiar las variables ambientales, también cabe mencionar y estudiar el impacto humano en los ecosistemas marinos, y en la distribución de especies. Un estudio importante para el futuro sería estudiar y analizar las zonas de solapamiento del hábitat de tortuga boba con las zonas de explotación pesquera y con las rutas del tráfico marítimo; para así ver como poder mitigar el impacto antrópico en esta especie y en general a los ecosistemas marinos.
- Las ideas anteriores se plasman con la intencionalidad de poder realizar un Estudio de Doctorado y llevarlas a cabo.
- Por último, se tiene pensado integrar este trabajo junto con un análisis de supervivencia de las tortugas tras su liberación para realizar un artículo, pero todavía se están siguiendo tortugas de este año para poder ampliar resultados.

## 6. Agradecimientos

Dar las gracias al Ministerio de Ciencia e Innovación por financiar tres de las 8 marcas (Proyecto de referencia CGL2011-30413, University of Valencia); el resto de marcas y el sistema ARGOS fue financiado a través de proyectos de E. Belda, Universidad Politécnica de Valencia. También dar las gracias a la Conselleria por autorizar la realización del proyecto. Dar las gracias a Jesús Tomás, Ohiana Revuelta y a todos los colaboradores que cuidaron de las tortugas en todo momento (Oceanogràfic de València, Xaloc, y todos los voluntarios).

El proyecto no podría haberse realizado sin la ayuda de las plataformas Movebank (<https://www.movebank.org/>), Seaturtle (<http://www.seaturtle.org/>) y ARGOS (<http://www.argos-system.org/>).

Dar las gracias a Vicent Estruch Fuster, por la ayuda prestada. Y en especial, a Sara Abalo, por ayudarme en todo lo que he necesitado y animarme día tras día; y a mi tutor, Eduardo J. Belda, por estar todos los días ahí, en lo bueno y en lo malo. Gracias.

## 7. Bibliografía

- Abalo-Morla, S., Tomás, J., Revuelta, O. et al 2016. "Survival of reintroduced post-hatchlings loggerheads using satellite monitoring." 36th Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation. Lima (Perú)
- Agostinelli, C. 2012. "CircStats: Circular Statistics, from Topics in circular Statistics (2001)".
- Agostinelli, C., Lund , U. 2013. "R package 'circular': Circular Statistics (version 0.4-7)."
- Arendt, M.D. 2012. "Temporal Trends (2000–2011) and Influences on Fishery-Independent Catch Rates for Loggerhead Sea Turtles (*Caretta Caretta*) at an Important Coastal Foraging Region in the Southeastern United States." Fish Bull 110:470–483. <http://dc.statelibrary.sc.gov/handle/10827/10570>
- Balbín R., López-Jurado, J. et al 2014. "Seasonal and interannual variability of dissolved oxygen around the Balearic Islands from hydrographic data". J Mar Syst, 138:51-62
- Barcelo, C., Domingo, A., Miller, P., Ortega, L., Giffoni, B., Sales, G., McNaughton, L., Marcovaldi, M., Heppell, S.S., Swimmer, Y. 2013. "High-Use Areas, Seasonal Movements and Dive Patterns of Juvenile Loggerhead Sea Turtles in the Southwestern Atlantic Ocean," Mar Ecol Prog Ser. Vol 479:235-250 doi:10.3354/meps10222.
- Bentivegna, F. 2002. "Intra-Mediterranean Migrations of Loggerhead Sea Turtles (*Caretta Caretta*) Monitored by Satellite Telemetry." Mar Biol 141 (4): 795–800. doi:10.1007/s00227-002-0856-z.

- Bivand, R., Keitt, T., Rowlingson, B. 2016. "rgdal: Bindings for the Geospatial Data Abstraction" Library.R package version 1.1-10.
- Bolten, A.B. 2003. "Active swimmers – passive drifters: the oceanic juvenile stage of loggerheads in the Atlantic system." In: Bolten AB, Witherington BE (eds) Loggerhead sea turtles. Smithsonian, Washington, DC, p 63–78
- Bowen, B.W., Karl, S.A. 2007. "Population genetics and phylogeography of sea turtles." *Mol Ecol* 16(23):4886-907 doi:10.1111/j.1365-294X.2007.03542.x
- Briscoe, D. K., D. M. Parker, G. H. Balazs, M. Kurita, T. Saito, H. Okamoto, M. Rice, J. J. Polovina, and L. B. Crowder. 2016. "Active Dispersal in Loggerhead Sea Turtles (*Caretta Caretta*) during the 'lost Years.'" *Proc R Soc B* 283 (1832). doi:10.1098/rspb.2016.0690.
- Calenge, C. (2006) "The package adehabitat for the R software: a tool for the analysis of space and habitat use by animals." *Ecological Modelling*, 197, 516-519
- Calenge, C., Dray, S., Royer-Carenzi, M. 2009. "The Concept of Animals' Trajectories from a Data Analysis Perspective." *Ecol Informatics* 4 (1): 34–41. doi:10.1016/j.ecoinf.2008.10.002.
- Casale, P., Affronte, M., Scaravelli, D., Lazar, B., Vallini, C., Luschi, P. 2012. "Foraging Grounds, Movement Patterns and Habitat Connectivity of Juvenile Loggerhead Turtles (*Caretta Caretta*) Tracked from the Adriatic Sea." *Mar Biol* 159 (7): 1527–35. doi:10.1007/s00227-012-1937-2.

Casale, P., Margaritoulis, D. (Eds.). 2010. "Sea turtles in the Mediterranean: Distribution, threats and conservation priorities." Gland, Switzerland: IUCN. 294

Casale, P., Mariani, P. 2014. "The First 'lost Year' of Mediterranean Sea Turtles: Dispersal Patterns Indicate Subregional Management Units for Conservation." *Mar Ecol Prog Ser* 498: 263–74.

Clusa, M., Carreras, C., Pascual, M. et al. 2014. "Fine-Scale Distribution of Juvenile Atlantic and Mediterranean Loggerhead Turtles (*Caretta Caretta*) in the Mediterranean Sea." *Mar Biol* 161 (3): 509–19. doi:10.1007/s00227-013-2353-y.

Coyne MS, Godley BJ (2005) "Satellite Tracking and Analysis Tool (STAT): an integrated system for archiving, analyzing and mapping animal tracking data." *MEPS* 301:1-7.

Dalleau, M., Benhamou, S., Sudre, J. et al. 2014. "The Spatial Ecology of Juvenile Loggerhead Turtles (*Caretta Caretta*) in the Indian Ocean Sheds Light on the 'lost Years' Mystery." *Mar Biol* 161 (8): 1835–49. doi:10.1007/s00227-014-2465-z.

Dodd, C. Kenneth, Jr. 1988. "Synopsis of the biological data on the Loggerhead Sea Turtle *Caretta caretta* (Linnaeus 1758)." U.S. Fish Wildl. Serv., Biol. Rep. 88(14). 110 pp.

Douglas, D., Weinziert, R., Davidson, S., Kays, R., Wikelski, M., Bohrer, G. 2012. "Moderating Argos Location Errors in Animal Tracking Data." *Methods Ecol Evol* 3 (6): 999–1007. doi:10.1111/j.2041-210X.2012.00245.x.

González Carman, V., Bruno, I., Maxwell, S. et al. 2016. "Habitat Use, Site Fidelity and Conservation Opportunities for Juvenile Loggerhead Sea Turtles in the Río de La Plata, Argentina." *Mar Biol* 163 (1): 20. doi:10.1007/s00227-015-2795-5.

Gueguen, L. 2001. "Segmentation by maximal predictive partitioning according to composition biases." Pp 32-44 in: Gascuel, O. and Sagot, M.F. (Eds.), *Computational Biology*, LNCS, 2066.

IUCN 2016. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2016-2. <<http://www.iucnredlist.org>>. Downloaded on 04 September 2016.

Luschi, P., Casale, P. 2014. "Movement patterns of marine turtles in the Mediterranean Sea: a review" *Ital J Zool* 81 (4) <http://dx.doi.org/10.1080/11250003.2014.963714>

Luschi, P., Hays, G., Papi, F. 2003. "A Review of Long-Distance Movements by Marine Turtles, and the Possible Role of Ocean Currents." *Oikos* 103 (2): 293–302.

Maffucci, F., Corrado, R., Palatella, L., Borra, M., Marullo, S., Hochscheid, S., Lacorata, G., Iudicone, D. 2016. "Seasonal Heterogeneity of Ocean Warming: A Mortality Sink for Ectotherm Colonizers." *Sci Rep* 6 (April): 23983.

Mansfield, K.L., Wyneken, J., Porter, W., Luo, J. 2014. "First Satellite Tracks of Neonate Sea Turtles Redefine the 'lost Years' Oceanic Niche." *Proc R Soc B* 281 (1781). doi:10.1098/rspb.2013.3039.

- Mansfield, K.L., Saba, V.S., Keinath, J.A. et al. 2009. "Satellite Tracking Reveals a Dichotomy in Migration Strategies among Juvenile Loggerhead Turtles in the Northwest Atlantic." *Mar Biol* 156 (12): 2555–70. doi:10.1007/s00227-009-1279-x.
- Margaritoulis, D., Argano, R., Baran, I., Bentivegna, F., Casale, P., et al. 2003. "Loggerhead Turtles in the Mediterranean Sea: Present Knowledge and Conservation Perspectives." ResearchGate, January. [https://www.researchgate.net/publication/234003312\\_Loggerhead\\_turtles\\_in\\_the\\_Mediterranean\\_Sea\\_present\\_knowledge\\_and\\_conservation\\_perspectives](https://www.researchgate.net/publication/234003312_Loggerhead_turtles_in_the_Mediterranean_Sea_present_knowledge_and_conservation_perspectives).
- Murray, D.L., Fuller, M.R. 2000. "A critical review of the effects of marking on the biology of vertebrates." *Res Tech Anim Ecol* (eds L.Boitani & T.K. Fuller) 15-64, Columbia University Press, New York.
- Narazaki, T., Sato, K., Miyazaki, N. 2015. "Summer Migration to Temperate Foraging Habitats and Active Winter Diving of Juvenile Loggerhead Turtles *Caretta Caretta* in the Western North Pacific." *Mar Biol* 162 (6): 1251–63. doi:10.1007/s00227-015-2666-0.
- Olson, E.L., Salomon, A.K., Wirsing, A.J., Heithaus, M.R. 2012. "Large-Scale Movement Patterns of Male Loggerhead Sea Turtles (*Caretta Caretta*) in Shark Bay, Australia." *Mar Freshwater Res* 63 (11): 1108–16.
- Piovano, S., Clusa, M., Carreras, C. et al. 2011. "Different Growth Rates between Loggerhead Sea Turtles (*Caretta Caretta*) of Mediterranean and Atlantic Origin in the Mediterranean Sea." *Mar Biol* 158 (11): 2577–87. doi:10.1007/s00227-011-1759-7.

- Putman, N.F., Mansfield, K.L. 2015. "Direct Evidence of Swimming Demonstrates Active Dispersal in the Sea Turtle 'Lost Years.'" *Curr Biol* 25 (9): 1221–27. doi:10.1016/j.cub.2015.03.014.
- Putman, N.F., Verley, P., Endres, C.S., Lohmann, K.J. 2015. "Magnetic Navigation Behavior and the Oceanic Ecology of Young Loggerhead Sea Turtles." *J Exp Biol* 218 (7): 1044–50. doi:10.1242/jeb.109975.
- Revelles, M., Cardona, L., Aguilar, A. et al. 2007. "Habitat Use by Immature Loggerhead Sea Turtles in the Algerian Basin (Western Mediterranean): Swimming Behaviour, Seasonality and Dispersal Pattern." *Mar Biol* 151 (4): 1501–15. doi:10.1007/s00227-006-0602-z.
- Thyng, K.M., Hetland, R.D. 2014. "TracPy: Wrapping the Fortran Lagrangian trajectory model TRACMASS." *Proc of the 13th Python in Science Conf. Scipy* 85-90
- Wallace, B.P., Dimatteo, A.D., Bolten, A.B. et al. 2011. "Global conservation priorities for marine turtles." *PLoS ONE* 6: e24510
- Wyneken, J., Salmon, M. 1992. "Frenzy and postfrenzy swimming activity in loggerhead, green and leatherback hatchlings sea turtles." *Copeia* 2, 478-484
- Wikelski, M., Kays, R. <2016>. Movebank: archive, analysis and sharing of animal movement data. Hosted by the Max Planck Institute for Ornithology. [www.movebank.org](http://www.movebank.org), accessed on <01/12/2016>

## 8. Anexos

Tabla I. Criterios utilizados por distintos autores. Fuente: Abalo-Morla et al 2016

Criterio	Valores / Umbral	Especie	Ejemplares	Referencia
LC	3, 2, 1	Caretta	Juveniles (49-83 cm)	Barcelo et al. 2013
	3, 2, 1, A	Caretta	Juveniles (41-90 cm)	Mansfield et al. 2009
			Machos (90-103 cm)	Olson et al. 2012
			Juveniles (47-87 cm)	Casale et al. 2012
	3, 2, 1, 0	Caretta	Juveniles (58-88 cm)	Narazaki, Sato, and Miyazaki 2015
		Cheloniomydas Lepidochelyskempii	Neonatos (14-30 cm)	N.F. Putman et al. 2015
	3, 2, 1, A, B	Caretta	Juveniles (54-77 cm)	Dalleau et al. 2014
	3, 2, 1, 0, A, B	Caretta	Neonatos (11-18 cm)	Mansfield et al. 2014
Juveniles (46-66 cm)			González et al. 2016	
Elevación LC (se excluyen valores superiores a)	Se excluyen localizaciones en tierra	Todas	Todos	Dalleau et al. 2014 Revelles et al. 2007 Etc...
	> 0.5 m	Caretta	Juveniles (41-90 cm)	Mansfield et al. 2009
	> 1 m		Machos (90-103 cm)	Olson et al. 2012
Velocidad (se excluyen valores superiores a)	> 3 km/h	Caretta	Juveniles (<77 cm)	Arendt et al. 2012
	> 5 km/h	Caretta	Juveniles (39-63 cm)	Revelles et al. 2007
			Juveniles (36-55 cm)	Cardona et al. 2009
			Juveniles (41-90 cm)	Mansfield et al. 2009
	> 6 km/h	Caretta	Adultas	Luschi, Hays, and Papi 2003
	> 9 km/h	Caretta	Juveniles (58-88 cm)	Narazaki, Sato, and Miyazaki 2015
	> 10 km/h	Caretta	Juveniles (46-66 cm)	González et al. 2016
	> 15 km/h	Caretta	Juveniles (54-77 cm)	Dalleau et al. 2014
> 50 km/día	Caretta	Adultas	Smolowitz et al. 2015	
Ángulo (se excluyen valores inferiores a)	< 3º	Caretta	Juveniles (41-90 cm)	Mansfield et al. 2009
	< 5º	Caretta	Juveniles (<77 cm)	Arendt et al. 2012
			Machos (90-103 cm)	Olson et al. 2012
< 10 º	Caretta	Juveniles (46-66 cm)	González et al. 2016	
Distancia entre puntos	Se excluyen posiciones con una distancia entre sí > 50 km	Caretta	Juveniles (41-90 cm)	Mansfield et al. 2009

**Tabla II. Información sobre las 6 primeras localizaciones del trayecto de Contxi.**

	x	y	date	Dx (m)	Dy (m)	Dist (m)	Dt (s)	R2n	abs.angle (rad)	rel.angle (rad)
<b>1</b>	196620,3	4237461	17/09/2015 9:25	2853,3146	-3441,134	4470,213	6060	0	-0,8785151	NA
<b>2</b>	199473,6	4234020	17/09/2015 11:06	-98,7854	-2664,071	2665,902	9960	19982807	-1,60786	-0,7293449
<b>3</b>	199374,8	4231356	17/09/2015 13:52	-2323,0915	-3470,606	4176,345	7620	44860959	-2,1606626	-0,5528026
<b>4</b>	197051,7	4227885	17/09/2015 15:59	8040,3184	-962,916	8097,773	61620	91882295	-0,1191932	2,0414693
<b>5</b>	205092	4226922	18/09/2015 9:06	0	0	0	3600	182835418	NA	NA
<b>6</b>	205092	4226922	18/09/2015 10:06	1374.5397	-827,814	1604,567	12600	182835418	-0,5420709	-0,4228777

**Tabla III. Información sobre las 6 primeras localizaciones del trayecto de Daniel.**

	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>date</b>	<b>Dx (m)</b>	<b>Dy (m)</b>	<b>Dist (m)</b>	<b>Dt (s)</b>	<b>R2n</b>	<b>abs.angle (rad)</b>	<b>rel.angle (rad)</b>
<b>1</b>	287619,5	4269213	22/09/2015 11:02	-960,1161	3246,387	3385,38794	7020	0	1,85834868	NA
<b>2</b>	286659,4	4272460	22/09/2015 12:59	-3791,869	52417,644	52554,6161	72060	11460851	1,64301009	-2,15E-01
<b>3</b>	282867,6	4324877	23/09/2015 9:00	1240,4411	-2144,61	2477,50806	28380	3121065710	-1,04641107	-2,69E+00
<b>4</b>	284108	4322733	23/09/2015 16:53	2473,5678	-7842,625	8223,46062	56820	2876659365	-1,2652712	-2,19E-01
<b>5</b>	286581,6	4314890	24/09/2015 8:40	39633,5634	-11409,776	41243,2096	191280	2087447087	-0,28030231	9,85E-01
<b>6</b>	326215,1	4303480	26/09/2015 13:48	621,9514	652,592	901,49868	63120	2663848011	0,80943399	1,09E+00

**Tabla IV. Información sobre las 6 primeras localizaciones del trayecto de Maya.**

	x	y	date	Dx (m)	Dy (m)	Dist (m)	Dt (s)	R2n	abs.angle (rad)	rel.angle (rad)
<b>1</b>	190141,06	4223922	19/09/2015	-1358,0793	-1059,8	1722,6594	4080	0	-2,47893835	NA
			7:36							
<b>2</b>	188782,98	4222862	19/09/2015	-1292,0234	-1617,992	2070,56093	3060	2967555	-2,2446434	2,34E-01
			8:44							
<b>3</b>	187490,96	4221244	19/09/2015	-552,0434	-645,797	849,59148	3060	14193614	-2,27808487	-3,34E-02
			9:35							
<b>4</b>	186938,92	4220598	19/09/2015	-823,9422	-857,629	1189,28897	3300	21299983	-2,33616424	-5,81E-02
			10:26							
<b>5</b>	186114,97	4219741	19/09/2015	-547,9595	-534,71	765,62027	2580	33691971	-2,36843169	-3,23E-02
			11:21							
<b>6</b>	185567,01	4219206	19/09/2015	-246,1175	454,195	516,59164	5160	43161890	2,06738114	-1,85E+00
			12:04							

**Tabla V. Información sobre las 6 primeras localizaciones de Sali.**

	x	y	date	Dx (m)	Dy (m)	Dist (m)	Dt (s)	R2n	abs.angle (rad)	rel.angle (rad)
<b>1</b>	246342,1	4232751	16/09/2015 6:46	1263,0426	3960,07	4156,61293	11040	0	1,26205112	NA
<b>2</b>	247605,2	4236711	16/09/2015 9:50	6032,9758	-408,063	6046,76049	3420	17277431	-0,06753589	-1,32958701
<b>3</b>	253638,1	4236303	16/09/2015 10:47	5602,1489	-168,562	5604,68424	11640	65848638	-0,03007974	0,03745616
<b>4</b>	259240,3	4236134	16/09/2015 14:01	-84,2308	113,591	141,41338	8640	177810420	2,20885266	2,2389324
<b>5</b>	259156,1	4236248	16/09/2015 16:25	1949,6258	3719,062	4199,10263	61440	176426229	1,08795695	-1,12089571
<b>6</b>	261105,7	4239967	17/09/2015 9:29	87,4906	-2.585	87,52878	3000	270034842	-0,02953744	-1,11749439