

# Desempeño Técnico de Transmisores Satelitales sobre Tortugas Marinas Hembras en el Golfo de México y Mar Caribe

## Technical Performance of Satellite Transmitters on Female Sea Turtles in the Gulf of Mexico and Caribbean Sea

### Performances Techniques des Emetteurs Satellites sur Tortues Femelles dans le Golfe du Mexique et de la Mer des Caraïbes

GUADALUPE MEXICANO-CÍNTORA\*, EDUARDO CUEVAS FLORES,  
PEDRO ALBERTO GARCÍA ALVARADO y MARÍA DE LOS ÁNGELES LICEAGA-CORREA  
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida.  
Km 6 Antigua Carretera a Progreso, C. P. 97310, Mérida, Yucatán, México.  
[\\*lupemex@cinvestav.mx](mailto:lupemex@cinvestav.mx)

#### RESUMEN

La telemetría satelital es una tecnología que permite conocer los movimientos de la fauna silvestre en sus amplios rangos de distribución. Con el uso de esta tecnología para el estudio de las tortugas marinas se pueden distinguir sus etapas de inter-anidación, migración y alimentación, por lo que el desempeño de los transmisores es fundamental para el éxito de tales investigaciones y se hace necesario conocer resultados de patrones generales de estos dispositivos. El objetivo fue evaluar el desempeño de 2 modelos de transmisores satelitales a partir de indicadores de eficiencia, duración y conexión con satélites en el Golfo de México y Mar Caribe. Se examinaron rastreos del 2016 de 63 individuos de tortugas marinas hembras (*Caretta caretta*, *Chelonia mydas*, *Eretmochelys imbricata*, *Lepidochelys kempii*), con transmisores SPLASH-10-309-A (n = 12), y TAM-4510-3 (n = 51). Se evaluó -por modelo de transmisor, especie y etapa, el tiempo de transmisión, número y calidad de mensajes, así como un indicador de éxito de localización (IEL = relación de mensajes con y sin coordenadas). El mejor IEL fue del modelo SPLASH, en la especie *L. kempii* y fue en la inter-anidación el mejor desempeño. El 60% de los mensajes recibidos fueron calidad A y B, con mayor frecuencia de recepción entre 12:00 - 18:00 p.m. (UTC). El máximo tiempo de transmisión fue para *C. caretta* (252 ± 132 días). Los 30 primeros días de transmisión presentaron un promedio de 8 mensajes por día, con el mayor número de mensajes para *C. mydas*. Estos resultados se presentan como criterios para la selección y programación de transmisores de acuerdo con la investigación; y se aporta información sobre la ecología del movimiento de tortugas marinas, importante para su manejo y conservación.

PALABRAS CLAVE: Telemetry, performance satellite transmitters, animal movement, sea turtles, México

#### INTRODUCCIÓN

La dinámica de cambios en el ambiente obliga a muchos animales a moverse para satisfacer sus necesidades fundamentales, principalmente en el medio acuático (Ogburn 2017). La telemetría satelital es una tecnología valiosa que, mediante la colecta de datos en forma remota, permite conocer los movimientos en espacio y tiempo de la fauna silvestre en sus amplios rangos de distribución. El rastreo satelital brinda la capacidad de localizar y seguir individuos, al colocarles un dispositivo o transmisor que envía datos de su ubicación a un receptor (Cooke et al. 2004). El sistema de rastreo satelital más común es ARGOS, el cual basa su funcionamiento en el principio Doppler, transmitiendo de manera periódica en la frecuencia de señales de radio de onda corta, conectándose con los satélites en órbita polar. A su vez, estos satélites transfieren los mensajes recibidos a las estaciones receptoras terrestres, y automáticamente pasan a los Centros de Procesamiento de ARGOS, donde se calcula la posición de los transmisores, se procesan los datos medidos por los sensores y se envían los resultados a los usuarios (Argos 2008).

Entre los diferentes transmisores satelitales o Terminales de Transmisión en Plataformas (PPTs por sus siglas en inglés), existen diferentes modelos con tamaños distintos, número variable de sensores, capacidades de almacenamiento, y su desempeño es esencial para el éxito del rastreo (Kenward 2000). Así mismo, las nuevas técnicas de adhesión y miniaturización de los transmisores satelitales (más pequeños y ligeros), han permitido el rastreo de una gama más amplia de especies y de edades por períodos de tiempo más prolongados (Bograd et al. 2010, Cheng 2011, Coyne and Godley 2005, White and Garrott 2012). Con estos avances, los investigadores que colocan transmisores satelitales esperan recibir más y mejores mensajes durante el mayor tiempo posible; sin embargo, cuando las transmisiones no ocurren como fue planeado, con la programación de las terminales, surgen diversas dudas sobre el desempeño del transmisor, las condiciones de su colocación y el medio ambiente al que estuvo expuesto el individuo en estudio (Meyburg and Fuller 2007). Hart and Hyrenbach (2009) en un amplio análisis de estudios de rastreo satelital llevados a cabo durante dos décadas en megavertebros marinos, sugieren que es recomendable en la presentación de resultados de investigación de rastreo señalar el desempeño de los transmisores (que a menudo no se discute). Con esto se impulsa a la evaluación y discusión sobre este tema, para la selección y programación de los transmisores en siguientes estudios, y se contribuye con información básica y crítica para avanzar en el campo de la telemetría como herramienta con resultados positivos en la relación costo-efecto en estudios de ecología y del comportamiento de las especies.

La telemetría satelital ha sido ampliamente utilizada en tortugas marinas; estas especies migratorias, pueden recorrer largas distancias y pasan más del 95% de su tiempo en el mar, presentando un ciclo de vida complejo con diversas áreas de distribución marino-costeras (Gaona y Barragan 2016, Ogburn et al. 2017). Las tortugas marinas son especies carismáticas, que se encuentran en peligro de extinción, por lo que es prioridad su conservación. Para ello se realizan investigaciones biológicas y ecológicas enfocadas en el estudio de su movimiento, ubicación, identificación de rutas migratorias, comporta-

miento, aspectos demográficos, relación entre hábitats, supervivencia y dispersión, entre otros temas. Muchos de estos estudios son realizados por medio del rastreo de individuos, el cual permite coleccionar datos sistemáticos en una escala geográfica amplia (Kenward 2000, Pinter-Wollman et al. 2010). Los datos enviados por los transmisores, colocados en tortugas marinas de caparazón duro, juegan un papel preponderante en el equilibrio ecológico de diversos ecosistemas, como son el transporte de energía y recirculación de nutrientes (White and Garrott 2012).

El objetivo de este estudio fue analizar el desempeño de transmisión satelital, en el sistema ARGOS, de dos modelos de plataformas utilizando indicadores de eficiencia, duración y conexión con satélites, de transmisores adheridos a ejemplares de tortugas marinas hembras de las especies: *Chelonia mydas* (blanca) *Eretmochelys imbricata* (carey), *Caretta caretta* (caguama) y *Lepidochelys kempii* (lora), durante la temporada de anidación del 2016 desde playas del Golfo de México y Mar Caribe.

Para ello se plantearon los siguientes objetivos particulares:

- i) Cuantificar el proceso de transmisión inicial (inicialización), y mensajes enviados, por modelo y especie.
- ii) Evaluar la duración del pase de satélites por especie, etapa y modelo de transmisor.
- iii) Evaluar un Indicador de Éxito de Localización (IEL= relación de mensajes con y sin coordenadas geográficas), por etapa, especie y modelo.
- iv) Analizar el tiempo de envío de los mensajes por paquetes de tiempo ('Slots' de 6h), y su tendencia por etapa y especie.
- v) Determinar para los 30 primeros días de transmisión, la calidad y número de mensajes por modelo y especie.
- vi) Cuantificar el tiempo de vida del transmisor.



Figura 1. Transmisores satelitales: SPLASH 10-309 A (Marca Wildlife Computers, Imagen tomada de: <http://wildlifecomputers.com/applications/pinniped/>) y TAM-4510-3 (Telonics, Inc., Imagen de Gallegos, 2016). A la derecha, fotografía de la liberación de una tortuga con un transmisor modelo TAM (Imagen de P. Garcia).

### MÉTODOS

Los transmisores satelitales colocados fueron de las marcas Wildlife Computers™ (Modelo SPLASH 10-309, Dimensiones: 7.5 x 5.6 cm, A, n = 12) y Telonics, Inc. (Modelo TAM-4510-3, Dimensiones 15 x 7.3 cm, n = 51), (Tabla 1, Figura 1). El modelo SPLASH sólo se colocó en un ejemplar de la especie *C. caretta*, por lo que no se cuenta con valores promedio para este modelo en esta especie, mientras que el modelo TAM no se colocó en la especie *L. kempii* por su tamaño. Las características principales de estos transmisores certificados por el sistema ARGOS son: frecuencia de transmisión (401.650 MHz ± 30 kHz); período de repetición (intervalo de tiempo entre dos envíos de mensajes consecutivos) de entre 90 y 200 segundos; y un número único de identificación de la plataforma. El rendimiento de la batería de larga duración internas en los transmisores se maximiza mediante regimenes de transmisión programables por el usuario.

Se colocaron 63 transmisores satelitales durante la temporada de anidación en los meses de marzo a septiembre de 2016, a cuatro especies de tortugas marinas hembras *C. caretta*, *C. mydas*, *E. imbricata* y *L. kempii*. Las playas de anidación se seleccionaron por reportes de investigación donde indican los más frecuentes avistamientos e incluyeron los estados de Tamaulipas (n = 2), Veracruz (n = 11), Campeche (n = 12), Yucatán (n = 17) y Quintana Roo (n = 21). La fijación de los transmisores en los caparazones de cada individuo (Figura 1), fue realizada con la metodología sugerida por Wildlife Computers (2016), con algunas adaptaciones del Protocolo para la Colocación de Transmisores Satelitales (Gallegos-Fernández et al. En preparación), aprobado por la Dirección General de Vida Silvestre de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en el permiso, Oficio No. DGPA/ DGVS/ 09583/ 15. Los transmisores se programaron para estar encendidos y enviar información durante las 24 h del día durante las fases de inter-anidación (33 días en promedio) y migración (23 días en promedio). En la fase de alimentación, que es la más extensa (meses), se programaron intervalos de apagado para maximizar el ciclo de vida de las baterías, considerando el horario programado cuando hay una cobertura mínima de los satélites en la región de estudio. El mecanismo de encendido y apagado fue controlado por el 'interruptor de sal', y cuando las hembras salían a la superficie, el circuito se abría y el transmisor se encendía para enviar la información a los satélites de órbita polar de la NOAA (Coyne and Godley 2005).

La consulta de los datos de rastreo satelital se realizó vía internet utilizando el sistema de herramienta de análisis y rastreo satelital (STAT por sus siglas en inglés), así como

**Tabla 1.** Número de transmisores colocados en cuatro especies de tortugas marinas anidantes en las costas del Golfo de México y Mar Caribe, durante la temporada de anidación del 2016.

Especie	Transmisor		
	SPLASH Wildlife	TAM Telonics	Total
<i>Caretta caretta</i> (Cc)	1	6	7
<i>Chelonia mydas</i> (Cm)	4	31	35
<i>Eretmochelys imbricata</i> (Ei)	4	14	18
<i>Lepidochelys kempii</i> (Lk)	3		3
	12	51	63

los mensajes recibidos vía correo electrónico del Sistema ARGOS. En el análisis de los datos se extrajo para cada ejemplar la fecha y hora de cada señal emitida, así como las fechas estimadas del fin de las etapas de inter-anidación, migración y alimentación para cada especie, las cuales fueron definidas analizando su comportamiento de buceo y de desplazamiento. La base de datos incluyó, además de la ubicación, tiempo de transmisión, número y calidad de mensajes. Estos datos se agruparon por paquetes de tiempo de 6 h cada uno (slots de acuerdo con el tratamiento de datos por ARGOS), para comparar el patrón de la información enviada por especie durante el día. Se evaluó un Indicador de Éxito de Localización (IEL= relación de mensajes con y sin coordenadas) por modelo de transmisor, especie y etapa. Para el IEL, se utilizaron las pruebas estadísticas de Kruskal Wallis (H) y Wilcoxon (W). Se hizo un análisis de la frecuencia de transmisión de los datos en los 30 primeros días y se determinó su calidad y número de mensajes enviados por especie.

## RESULTADOS

Aun cuando los transmisores tienen capacidades diferentes, las programaciones realizadas en términos de días en los que permanecieron encendidos y períodos en que se apagaron fueron iguales para las diferentes etapas del rastreo de los individuos.

### Inicialización de los Transmisores

Se analizó el tiempo transcurrido entre la colocación del transmisor en la tortuga y la primera señal registrada (inicialización), período para el cual se registró una amplia variabilidad (Figura 2). El modelo SPLASH, registró el mayor tiempo promedio, pero con la menor variabilidad  $10.5 \pm 8.0$  h, a diferencia del modelo TAM con  $4.1 \pm 4.6$  h. Por especies, *C. mydas* presentó el menor tiempo  $3.3 \pm 4$  h en el modelo TAM y *L. kempii*, el mayor tiempo  $12.0 \pm 10.0$  h en el modelo SPLASH.

### Número de Mensajes Enviados

El modelo SPLASH registró el menor número de mensajes promedio enviados, 2,806 ( $\pm 364$ ), en un período de 168 días ( $\pm 116$ ), a diferencia de TAM que registró valores promedio de 10,328 ( $\pm 214$ ), para un periodo de días menor 119 ( $\pm 99$ ). Particularmente en la especie *C. mydas* con el modelo TAM se registraron hasta 14,160 ( $\pm 198$ ) mensajes, en un periodo de 89 ( $\pm 54$ ) días, (Figura 3).

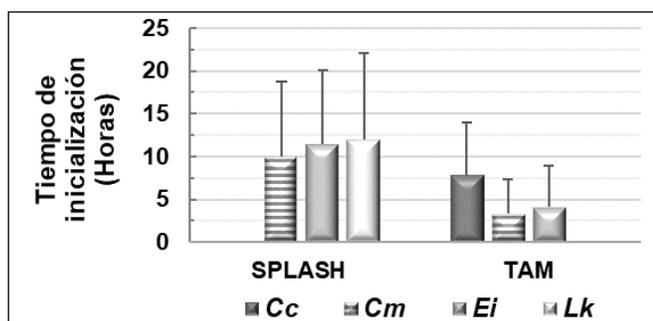


Figura 2. Tiempo entre la colocación del transmisor en la tortuga y la primera señal registrada.

### Duración del Pase del Satélite

La duración del pase del satélite es el tiempo entre la primera y la última señal recibida del transmisor por el satélite (segundos), y existe una asociación entre este tiempo con la localización y calidad de la misma para los transmisores. En este caso los mayores tiempos promedio se observaron en el modelo SPLASH con un gradiente de reducción entre las diferentes etapas, inter-anidación con  $103 \pm 47$  s, migración con  $91 \pm 45$  s, y alimentación con  $69 \pm 33$  s (Figura 4). El mismo patrón general se presentó en el modelo TAM, inter-anidación  $95 \pm 41$  s, migración  $64 \pm 46$  s y alimentación  $52 \pm 34$  s, con excepción de la especie *C. caretta* para la cual la duración del pase fue mayor en la alimentación  $80 \pm 27$  s.

### Indicador de Éxito de Localización (IEL)

El indicador de éxito (mayor eficiencia = 1), surge de la relación entre el número de mensajes exitosos (considerados aquellos que presentaron coordenadas) y el total de mensajes recibidos de los transmisores (con y sin coordenadas). Para este caso el IEL muestra valores promedio elevados para ambos modelos, SPLASH  $0.93 (\pm 0.06)$  y TAM  $0.88 (\pm 0.13)$ . El modelo SPLASH registró un IEL ligeramente mayor, posiblemente asociado a la mayor duración del pase que se observa en este modelo. Sin embargo, la prueba de Wilcoxon para muestras independientes indica que estadísticamente no hay diferencias significativas entre ambos modelos ( $n_1 = 12, n_2 = 51, W = 454.50, p = 0.21$ ).

Por etapas, los valores promedio máximos de IEL se presentaron en la inter-anidación ( $0.97 \pm 0.04$ ), para ambos modelos (Figura 5), con valores menores en la migración, SPLASH  $0.92 (\pm 0.14)$ , y TAM  $0.87 (\pm 0.18)$ , y alimentación, SPLASH  $0.89 (\pm 0.09)$ , y TAM  $0.78 (\pm 0.26)$ . Sin embargo, la prueba de Kruskal Wallis, señala que estadísticamente no hay diferencias significativas entre las etapas ( $H = 65, p = 0.4116$ , inter-anidación;  $H = 45, p = 0.4930$ , migración y  $H = 74, p = 0.3898$ , alimentación).

### IEL por Especie

Para el caso del modelo SPLASH para las especies *L. kempii* y *E. imbricata* se registraron los mayores valores promedio de IEL ( $0.99 \pm 0.01$  y  $0.95 \pm 0.02$ , respectivamente), y similares en sus diferentes etapas. Y para *C. mydas* los valores fueron menores ( $0.88 \pm 0.01$ ) (Figura 6). En el modelo TAM se registró mayor variabilidad, con valores máximos para *C. caretta* ( $0.94 \pm 0.05$ ), y menores

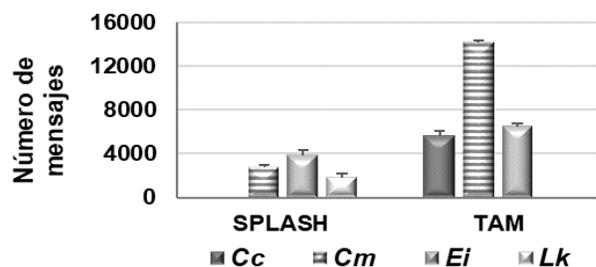


Figura 3. Registro total de número de mensajes promedio por modelo de transmisor y especie.

para *C. mydas* ( $0.90 \pm 0.11$ ), y *E. imbricata* ( $0.82 \pm 0.17$ ), con un decremento perceptible del IEL en la transición entre el período de inter-anidación y el de alimentación, particularmente para las especies *C. mydas* y *E. imbricata*. Para estas mismas especies los valores fueron distintos a los registrados por el modelo SPLASH. La prueba estadística de Kruskal Wallis, muestra que si hay diferencias significativas entre las especies ( $H = 7.97, p = 0.045$ ). Sin embargo, las especies *E. imbricata* y *C. mydas*, no fueron estadísticamente diferentes entre ellas, así como entre las especies *L. kempii* y *C. caretta*. Sin embargo, la especie *C. caretta* es significativamente diferente de todas las demás ( $p > 0.05$ ). Se puede suponer que para el modelo SPLASH el comportamiento de inmersiones y desplazamiento de los individuos en sus diferentes etapas durante el rastreo no interfieren de forma determinante en la eficiencia del envío de mensajes exitosos (con coordenadas).

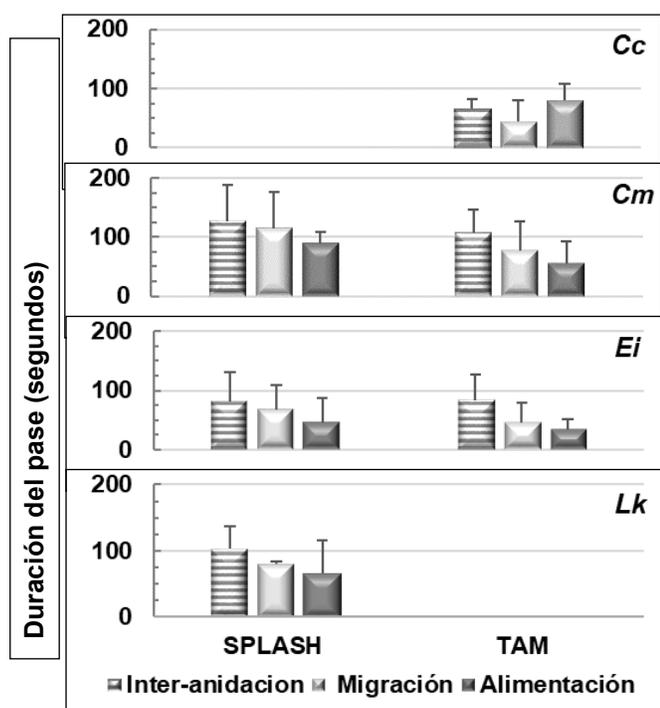


Figura 4. Duración del pase por modelo de transmisor, etapa y especie.

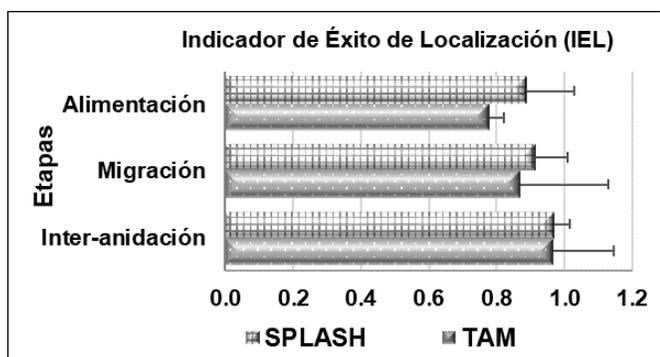


Figura 5. Indicador de Éxito de Localización por etapas

### Mensajes por Slot

Para ver el comportamiento de los mensajes enviados durante el día, estos se agruparon en cuatro paquetes de tiempo, llamados 'Slots', de 6 h cada uno: Slot 1 (S1): 00 - 6:00 a.m.; Slot 2 (S2): 6:00 a.m.-12:00 p.m.; Slot 3 (S3): 12:00-18:00 p.m. y Slot 4 (S4): 18:00 p.m. - 24:00 a.m (horario UTC). La base de datos proporcionada por el sistema ARGOS se maneja en horario UTC, respecto al cual el horario local de la zona de estudio es de 5 horas menos. Al separar los datos por modelo y slot se encontró que en el Slot 3 (12:00 - 18:00 p.m), fue donde se registró un mayor número de mensajes promedio para ambos transmisores (Tabla 2).

### Mensajes por Slot, Etapa y Especie

Se estimó el número promedio de mensajes por Slots, etapa, especie, y modelo de transmisor y los resultados mostraron una amplia variabilidad en los datos para cada especie (Figura 7):

*C. caretta* (Cc) — Para esta especie sólo se tienen datos del modelo TAM. La especie se destacó por su amplia emisión de mensajes durante la alimentación. En la inter-anidación el promedio más elevado de mensajes (ms) fue durante el S3 ( $95 \pm 63$  ms); en la migración en el S4 ( $26 \pm 31$  ms) y en la alimentación en el S3 ( $280 \pm 82$  ms). Para los transmisores modelo TAM colocados en la especie *C. caretta*, el período de tiempo cuando se recibió el mayor número de mensajes fue en el horario 12 pm a 24 am (horario UTC, aproximadamente 6 am a 18 pm, hora local), abarcando el tiempo de mayor visibilidad del paso de los satélites.

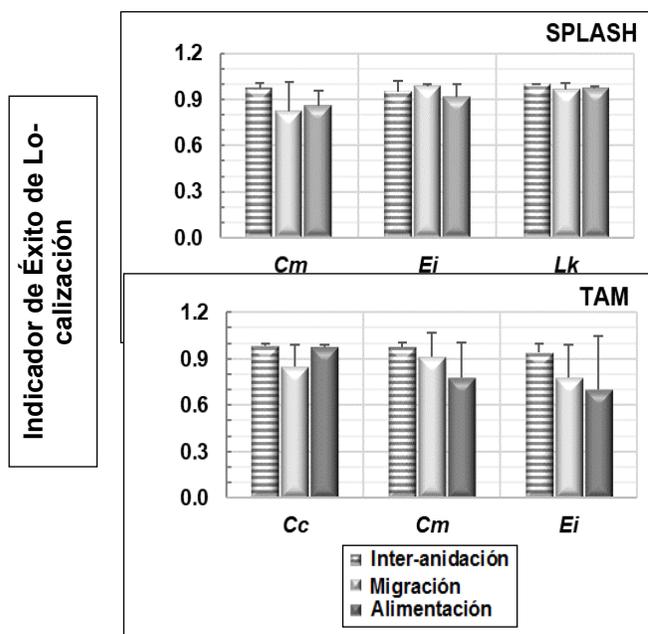


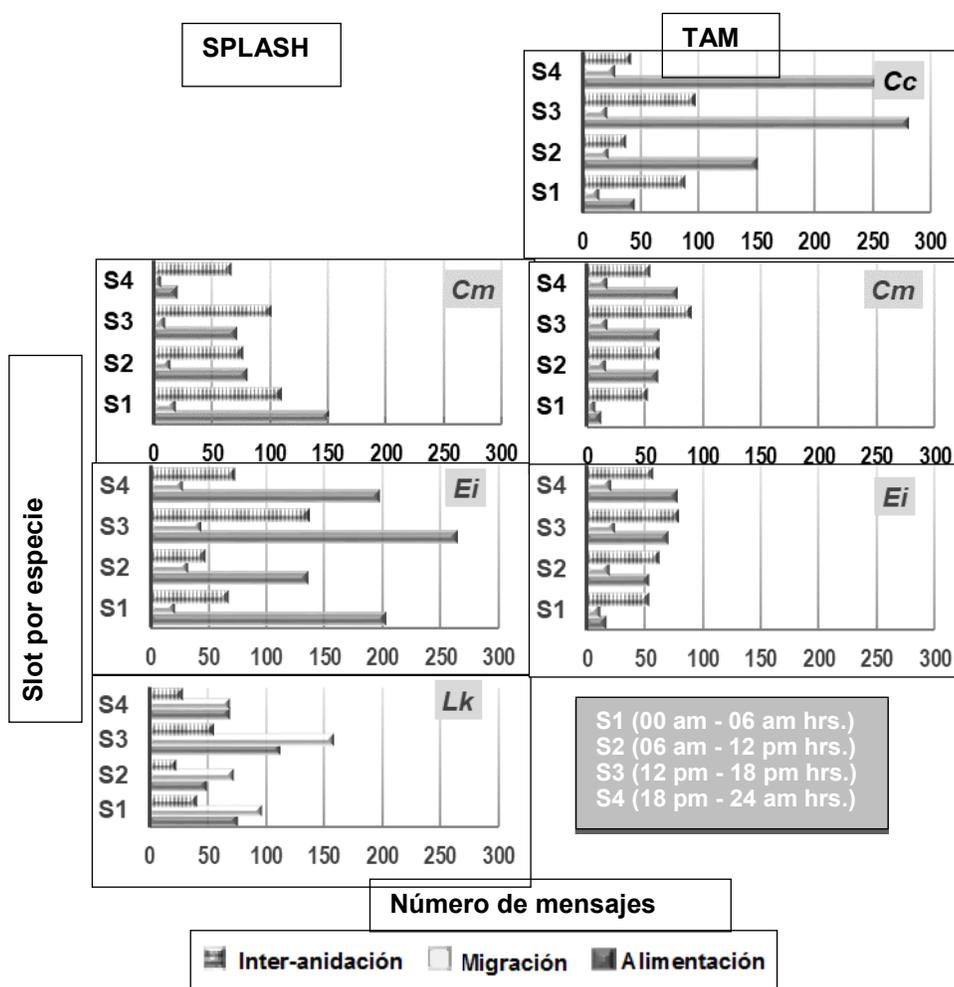
Figura 6. Indicador de Éxito de Localización por transmisor, etapa y especie

*C. mydas* (Cm) — En esta especie se presentó una variabilidad muy amplia en los datos. En la inter-anidación se registró el mayor número de mensajes en S1 (109 ± 59 ms) con los transmisores SPLASH, y en el S3 (89 ± 48 ms) con los individuos del modelo TAM; en la migración, en el S1 (18 ± 6 ms) para SPLASH y S3 y S4 (17 ± 18 ms) para TAM; y durante la alimentación en S1(149 ± 132 ms), para SPLAH y S4 (77 ± 80 ms), para TAM. Por lo cual, en esta especie, el modelo SPLASH, envió mensajes de todas las etapas, entre las 0 am - 06 am (18 pm a 24 am, hora local). Y para TAM, los mensajes se enviaron en horarios muy diferentes a los registrados por SPLASH, entre las 12pm y 24am (06 am – 18 pm, hora local).

*E. imbricata* (Ei) — Con esta especie, se destaca la mayor cantidad de mensajes enviados en el S3 por ambos modelos de transmisor. En la inter-anidación el S3 para SPLASH (135 ± 132 ms) y para TAM (78 ± 40 ms); durante la migración S3 para SPLASH,(41 ± 40 ms) y para TAM (24 ± 24 ms); mientras que en la alimentación también fue S3 para SPLASH (264 ± 233 ms), pero para TAM cambió a S4 (77 ± 82 ms). En este caso, los resultados fueron similares en cuanto al slot de mayor recepción de mensajes, la excepción fue la etapa de alimentación. El promedio máximo de mensajes se registró de 12 pm – 18 pm UTC (06 am – 12 pm, hora local).

**Tabla 2.** Número de mensajes promedio enviados por modelo de transmisor en slots.

	SLOT 1 00 am - 6:00 a.m (UTC)	SLOT 2 6:00 a.m.-12:00 p.m (UTC)	SLOT 3 12:00 pm-18:00 p.m (UTC)	SLOT 4 18:00 p.m.-24:00 a.m (UTC)
<b>SPLASH</b>	87± 96	62± 58	<b>99± 109</b>	63± 81
<b>TAM</b>	30±36	48± 48	<b>65± 70</b>	55± 67



**Figura 7.** Número promedio de mensajes agrupados por slots (paquetes de tiempo de 6 hrs. c/u), por etapa y por especie.

*L. kempii* (Lk) — Para esta especie sólo se colocaron transmisores del modelo SPLASH. Con este modelo se registró el mayor número de mensajes en el S3 para todas las etapas: inter-anidación, ( $54 \pm 30$  ms), migración, ( $158 \pm 97$  ms), y alimentación, ( $111 \pm 129$  ms). Estos datos señalan un horario de envío de mensajes de 12 pm – 18pm (06 am – 12 pm, hora local).

Otra de las variables también cuantificadas fue la distancia promedio recorrida por las tortugas con los dos modelos de transmisores: SPLASH, fue el de mayor distancia ( $401.8 \pm 407$  km) y con mayor variabilidad a la registrada por TAM, ( $385 \pm 287$  km). No se observó un patrón por zona de migración, entre ambos modelos, se registraron desplazamientos sobre la costa, o hacia zonas de mayor profundidad.

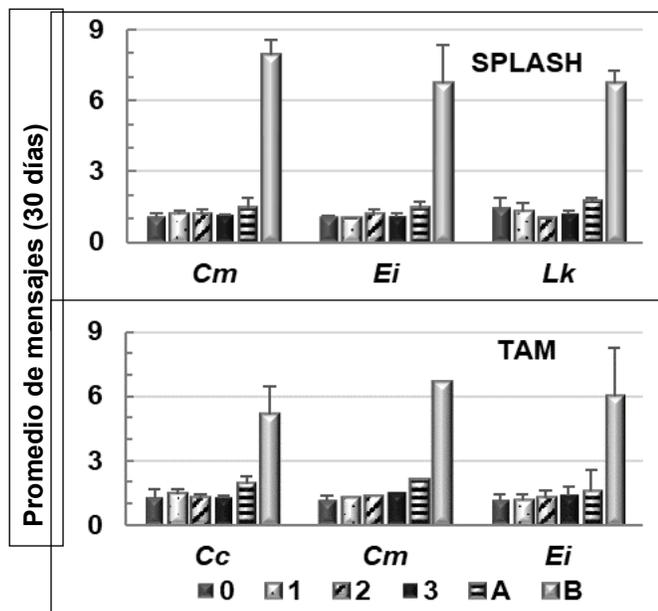
**PRIMEROS 30 DÍAS DE TRANSMISIÓN**

**Calidad de los Mensajes y Mensajes Enviados por Día**

Para los primeros 30 días de transmisión el 60% de los mensajes recibidos fueron de calidad A y B (Figura 8). En este período de tiempo inicial se registró una alta variabilidad en el número de mensajes enviados por cada transmisor. En general se registraron 8 mensajes promedio por día (Figura 9), la especie *C. mydas* presentó el mayor valor para ambos modelos (9 ms). Sólo la especie *E. imbricata*, presentó un comportamiento parecido en el transcurso de los días en ambos modelos 8 ms promedio en SPLASH y 7 ms en TAM.

**Tiempo de Transmisión por Modelo**

Los transmisores se colocaron desde marzo hasta septiembre de 2016, durante ese tiempo algunos dispositivos dejaron de enviar mensajes, pero otros continuaron transmitiendo hasta el 2017. Para este análisis se hizo un corte

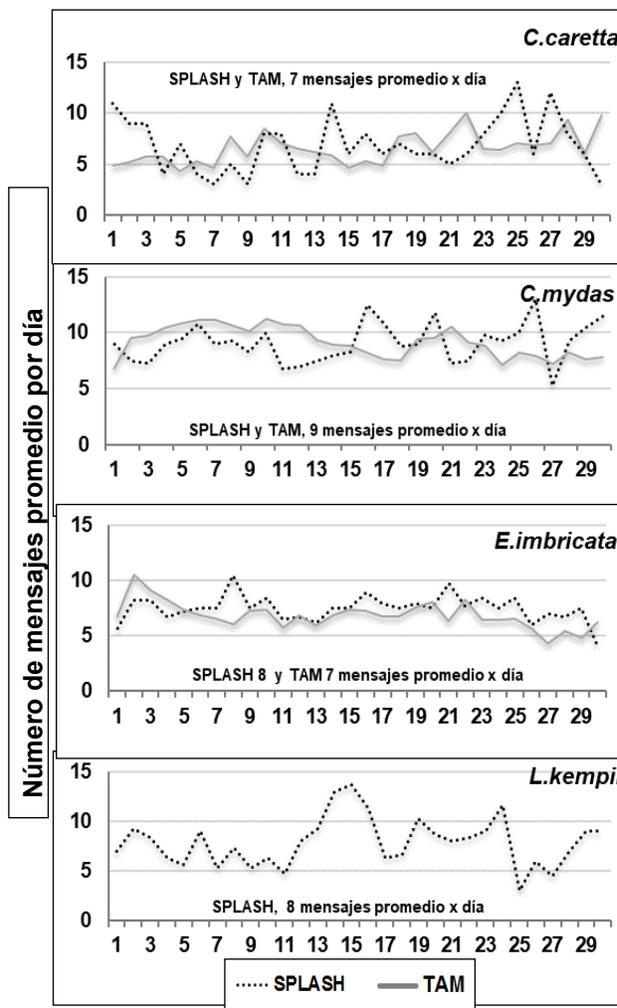


**Figura 8.** Calidad de la señal enviada por especie durante un periodo de 30 días.

de la información al 31 de diciembre de 2016, y los resultados de la duración de transmisión hasta esa fecha muestran que la especie *C. caretta* y *E. imbricata*, presentaron el tiempo máximo de transmisión ( $252 \pm 132$  días y  $250 \pm 130$  días, respectivamente) incluyendo ambos modelos.

**DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

Los métodos tradicionales de estudio ecológico frecuentemente son insuficientes para abordar las estrategias de conservación de las especies amenazadas y con un amplio rango de movimiento y un ciclo de vida complejo (Sandhu 2017). El análisis espacial permitió generar información novedosa sobre patrones migratorios y áreas de alimentación de las tortugas marinas que ayuda en la toma de decisiones para la conservación de este recurso (Cuevas et al. 2008).



**Figura 9.** Número de mensajes promedio enviados durante los 30 primeros días de transmisión por especie.

El incremento en la red de satélites y los avances de las técnicas informáticas han permitido el desarrollo de transmisores con mejores características y menor tamaño (Cheng 2011, White y Garrott 2012). Para este caso, el modelo SPLASH presentó mejores resultados en términos de eficiencia y calidad de registros colectados, considerando las comparaciones de los modelos entre especies. Este modelo, alcanzó el IEL más elevado (más mensajes con coordenadas), a pesar de registrar un mayor tiempo de inicialización y menor cantidad de mensajes. Esto puede asociarse, a que presentó el mayor tiempo de duración del pase, sosteniendo de mejor forma la comunicación con el satélite. Asumiendo con esta variable que a mayor tiempo de conexión existen más posibilidades de enviar más mensajes; sin embargo, esta característica está condicionada por el comportamiento de buceo de las especies.

Para el análisis por etapas, la etapa de inter-anidación resultó ser la de mejor IEL, posiblemente sea el resultado de una mayor permanencia cerca de la costa donde realiza buceos prolongados y en consecuencia períodos de recuperación también prolongados en superficie, lo que permite el envío de mensajes y su captación por los satélites (Houghton et al. 2002, Hays et al. 1999). Particularmente el comportamiento migratorio de algunas especies como *E. imbricata*, indica que se mueven a lo largo de la plataforma costera hacia áreas de alimentación cercanas o pueden permanecer en áreas neríticas en la vecindad de la playa de anidación, migrando solo distancias cortas (Cuevas et al. 2008).

Los estudios realizados sobre el comportamiento de buceo de las diferentes especies de tortugas marinas señalan la existencia de diferencias significativas entre sus fases de su ciclo de vida (Cuevas 2009, Parker et al. 2014). Cuando los ejemplares flotan en la superficie, afectan positivamente la precisión y número de señales recibidas desde el transmisor (Parker et al. 2014). La tasa de éxito de transmisión también se asocia a la batimetría, ya que existe una correlación positiva entre la duración de inmersión y la profundidad de descanso en las tortugas marinas (Hays et al. 2000). En este caso *C. mydas*, registró el mayor número de mensajes, particularmente en la alimentación, probablemente su mayor ocurrencia en la superficie le permitió presentar esa característica. Por otro lado, en la especie *E. imbricata*, se colocaron los dos modelos de transmisores y los resultados no siempre coincidieron en forma positiva.

Los datos analizados permitieron identificar una gran variabilidad temporal e individual del comportamiento de buceo, y particularmente permanencia en superficie, por las tortugas (Gaos et al. 2012, Storch 2003). Por ello se requiere un estudio más detallado de cada especie para asociar los datos obtenidos de rastreo individual y sus características particulares biológicas y de comportamiento.

Por otro lado, se indica que el número de mensajes enviados depende de la potencia del transmisor (Sakamoto et al. 2000), en este caso, ambos modelos tenían la misma potencia de 0.5W, y el modelo TAM, registró el mayor número de mensajes, aunque un valor promedio IEL menor que los SPLASH. En cuanto a la calidad de los datos obtenidos, estos fueron de las clases consideradas como ubicaciones no estándar, con poca exactitud (ARGOS 2008).

ARGOS (2008) establece seis clases de ubicación (3,2,1,0, A y B) y las clases A y B son consideradas ubicaciones no estándar con poca exactitud y obtenida con menos de cuatro mensajes. Clase A se logra hasta con 3 mensajes y clase B, con 1 ó 2 mensajes (utilizando el filtro de datos de Kalman). En animales marinos la obtención de localidades con mayor exactitud no es muy frecuente por su comportamiento de buceo que interfiere en el tiempo que el transmisor envía la información al satélite (Hays et al. 2001). Así mismo, debido a la rotación de la Tierra, y el desplazamiento de los satélites alrededor del eje polar, con cada revolución, hay una superposición entre franjas sucesivas de rastreo, las cuales aumentan con la latitud y el número de pasos diarios sobre un transmisor también aumenta con la latitud. En los polos, los satélites ven cada transmisor en cada pasada, aproximadamente 14 veces al día por satélite y estos se reducen considerablemente hacia el ecuador, así como la calidad de los mensajes (Argos 2008). Sin embargo, se ha demostrado que la información con la calidad registrada con telemetría, en animales como tortugas marinas, es suficiente para abordar diferentes aspectos espaciales y de comportamiento de los organismos estudiados (Godley et al. 2008).

Debido a la configuración de la constelación de satélites de órbita polar en la que está montado el sistema ARGOS, la probabilidad de una conexión satelital exitosa es significativamente menor en el ecuador (~ 12% para una sola señal) que, en los polos, afectándose también la calidad de la señal con la hora del día (Jeanniard-du-Dot, et al. 2017). Aunado a ello, una de las mayores debilidades para estudios marinos con telemetría satelital son los animales que emergen sólo brevemente (como las tortugas), y no hay tiempo suficiente para generar localizaciones de buena calidad (Rutz and Hays 2009). Por ello, la precisión limitada de los datos de telemetría satelital derivada de localizaciones con el sistema Doppler (Hays et al. 2001) ha sido señalada como un problema en su uso para estimar los análisis a escala fina y la toma de decisiones (Renaud & Carpenter 1994).

Información como la generada en este análisis, es poco reportada y dada la necesidad de información espacial, ecológica y de comportamiento para las tortugas en la región de estudio, además de las restricciones financieras para adquirir transmisores con mayor calidad de localización (GPS), creemos que se justifica proporcionar la información disponible para definir y enfocar estrategias de planificación de conservación de estas especies (Cuevas et al. 2008).

Los investigadores que utilizan transmisores satelitales normalmente ajustan su programación a medida que acumulan datos y experiencia, de tal forma que los datos de estudios anteriores se pueden utilizar para informar de una manera cuantitativa a los futuros investigadores de rastreo satelital (Patterson y Hartman 2011). Por ello, ampliar el conocimiento de rastreo, permite mejorar la programación de los transmisores (Breed et al. 2011, Hays et al. 2011). En este sentido, consideramos que los resultados de investigación de rastreo satelital expuestos conforman la línea base al conocimiento de este tema y se enfocan al logro de mejores resultados para proporcionar recomendaciones de conservación que respalden diversas estrategias de gestión.

## LITERATURA CITADA

- ARGOS. 2008. *Argos User's Manual. Worldwide Tracking and Environmental Monitoring by Satellite*. 2007–2016 CLS. 60 pp.
- Balazs, G.H, R.K. Miya y S.C. Beavers. 1996. Procedures to attach a satellite transmitter to the carapace of an adult Green turtle, *Chelonia mydas*. Páginas 21–26 en: J.A. Keinath, D.E. Barnard, J.A. Musick y B.A. Bell (Eds.) *Proceedings of the 15th Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation*. NMFS-SEFSC-387.
- Bograd, S.J., B.A. Block, D.P. Costa y B.J. Godley. 2010. Biologging technologies: new tools for conservation. Introduction. *Endangered Species Research* **10**:1-7.
- Breed, G.A., D.P. Costa, M.E. Goebel y P.W. Robinson. 2011. Electronic tracking tag programming is critical to data collection for behavioral time-series analysis. *Ecosphere* **2**(1):1-12.
- Cooke, S.J., S.G. Hinch, M. Wikelski, R.D. Andrews, L.J. Kuchel, T.G. Kuchel Wolcott y P.J. Butler. 2004. Biotelemetry: a mechanistic approach to ecology. *Trends in Ecology & Evolution* **19**(6):334-343.
- Coyne, M.S. y B.J. Godley. 2005. Satellite tracking and analysis tool (STAT): an integrated system for archiving, analyzing and mapping animal tracking data. *Marine Ecology Progress Series* **301**: 1–7.
- Cuevas, E., F.A. Abreu-Grobois, V. Guzmán-Hernández, M.A. Liceaga-Correa y R.P. Van Dam. 2008. Post-nesting migratory movements of hawksbill turtles *Eretmochelys imbricata* in waters adjacent to the Yucatan Peninsula, Mexico. *Endangered Species Research* **10**:123-133.
- Cheng, I.J. 2011. *Sea Turtle Research. In Modern Telemetry*. In Tech.
- Gallegos-Fernández, S.A., E. Cuevas y M.A. Liceaga-Correa [En preparación]. Protocolo para la Colocación de Transmisores Satelitales y el Muestreo de los Individuos de Tortugas Marinas. Manuscrito no publicado. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Mérida, Yucatán, México. 30 pp.
- Gaona, P.O. y R.A.R. Barragan (Coordinadoras). 2016. Las tortugas marinas en México: logros y perspectivas para su conservación. Programa de Conservación de Especies en Riesgo. CONANP.
- Gaos, A.R., R.R. Lewison, B.P. Wallace, I.L. Yañez, M.J. Liles, A. Baquero y J.A. Seminoff. 2012. Dive behaviour of adult hawksbills (*Eretmochelys imbricata*, Linnaeus 1766) in the eastern Pacific Ocean highlights shallow depth use by the species. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **432**:171-178.
- Godley, B.J., J.M. Blumenthal, A.C. Broderick, M.S. Coyne, M.H. Godfrey, L.A. Hawkes y M.J. Witt. 2008. Satellite tracking of sea turtles: where have we been and where do we go next?. *Endangered Species Research* **4**(1-2):3-22.
- Hart, K.M. y K.D. Hyrenbach. 2009. Satellite telemetry of marine megavertebrates: the coming of age of an experimental science. *Endangered Species Research* **10**:9-20.
- Hays, G.C., P. Luschi, F. Papi, C. del Seppia y R. Marsh. 1999. Changes in behaviour during the inter-nesting period and post-nesting migration for Ascension Island green turtles. *Marine Ecology Progress Series*, **189**: 263-273.
- Hays, G.C., S. Hochscheid, A.C. Broderick, B.J. Godley y J.D. Metcalfe. 2000. Diving behaviour of green turtles: dive depth, dive duration and activity levels. *Marine Ecology Progress Series* **208**: 297-298.
- Hays, G.C., S. Åkesson, A.C. Broderick, B.J. Godley, P. Luschi y P. Santidrian. 2001. The implications of location accuracy for the interpretation of satellite-tracking data. *Animal Behaviour* **61**:1035-1040.
- Houghton, J.D.R., A.C. Broderick, B.J. Godley, J.D. Metcalfe y G.C. Hays. 2002. Diving behavior during the interesting interval for loggerhead turtles *Caretta caretta* nesting in Cyprus. *Marine Ecology Progress Series* **227**:63-70.
- Jeanniard-du-Dot, T., K. Holland, G.S. Schorr y D. Vo. 2017. Motes enhance data recovery from satellite-relayed biologgers and can facilitate collaborative research into marine habitat utilization. *Animal Biotelemetry* **5**(1):17.
- Kenward, R.E. 2000. *A Manual for Wildlife Radio Tagging*. Academic Press, Cambridge, Massachusetts USA. 311 pp.
- Meyburg, B.U. y M.R. Fuller. 2007. Satellite tracking. Páginas 242-248 en: D.M. Bird y K.L. Bildstein (Eds.). *Raptor Research and Management Techniques*, Hancock House Publishers Ltd., Canada, 464 pp.
- Ogburn, M.B., A.L. Harrison, F.G. Whoriskey, S.J. Cooke, J.E. Mills Flemming y L.G. Torres. 2017. Addressing challenges in the application of animal movement ecology to aquatic conservation and management. *Frontiers in Marine Science* **4**:70.
- Parker, D., G. Balazs, M. Rice y S. Tomkeiwicz. 2014. Variability in reception duration of dual satellite tags on sea turtles tracked in the Pacific Ocean. *Micronesica* **3**:1-8.
- Patterson, T.A. y K. Hartmann. 2011. Designing satellite tagging studies: estimating and optimizing data recovery. *Fisheries Oceanography* **20** (6):449-461.
- Pinter-Wollman, N., K.E. Mabry, M. Breed y J. Moore. 2010. Remote-sensing of behavior. Páginas 33-40 en: *Encyclopedia of Animal Behavior, 3rd Ed.* Academic Press, Oxford, United Kingdom.
- Renaud, M.L. y J.A. Carpenter. 1994. Movements and submergence patterns of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) in the Gulf of Mexico determined through satellite telemetry. *Bulletin of Marine Science*, **55**(1):1-15.
- Rutz, C. y G.C. Hays. 2009. *New Frontiers in Biologging Science*. Royal Society Publishing, London, England.
- Sakamoto, W., S. Chantrapornsy, K. Kittiwattawanong y N. Arai. 2000. Report on PTT-attached green turtles *Chelonia mydas* in the Andaman Sea., *Proceedings of The First SEASTAR2000 Workshop*. **2000**:25-28.
- Sandhu, P.K. 2017. Role of information and communication technology in wildlife conservation. *International Journal of Engineering Technology Science and Research* **4**(5):434-438.
- Storch, S. 2003. *The Behaviour of Immature and Female Hawksbill Turtles (Eretmochelys imbricata) at Sea*. Doctoral dissertation, Christian-Albrechts-Universität. University of Kiel, Germany.
- White, G.C. Y R.A. Garrott. 2012. *Analysis of Wildlife Radio-tracking Data*. Elsevier Press, Amsterdam, Netherlands. 382 pp.
- Wildlife Computers. 2016. *Attachment Protocol for Kit-000 (AZ-ATTCHKIT-000)*. 10 pp.