

Informe del Programa de investigación sobre atún rojo para todo el Atlántico (GBYP)
(Informe de actividades de la última parte de la fase 13 y de la primera parte de la fase 14 - 2023-2024)

1. Introducción

El Programa de investigación sobre atún rojo para todo el Atlántico (GBYP) comenzó oficialmente a finales de 2009, con el objetivo de mejorar: a) la recopilación de datos básicos, incluidos datos independientes de la pesquería; b) los conocimientos sobre los procesos biológicos y ecológicos clave y c) los modelos de evaluación y la formulación del asesoramiento científico sobre el estado del stock. La información general acerca de las actividades y resultados del GBYP, así como sobre otros temas administrativos y presupuestarios del programa, desde su inicio hasta ahora, están disponibles en la [página web del GBYP](#). Todos los documentos pertinentes relacionados con el desarrollo del programa, incluyendo los informes finales de cada actividad y los documentos científicos derivados, los informes anuales remitidos al Comité Permanente de Investigación y Estadísticas (SCRS) y a la Unión Europea, los informes de los talleres del GBYP y de las reuniones del Comité directivo (SC) están también disponibles en la [página web del GBYP](#).

La fase 13 del GBYP comenzó oficialmente el 1 de mayo de 2023 tras la firma del acuerdo de subvención para la cofinanciación de la fase 13 del GBYP (Proyecto 101133291) y finalizó el 31 de julio de 2024. La fase 14 comenzó el 1 de febrero de 2024 (acuerdo de subvención 101169569) y está previsto que dure 23 meses, como proyecto bianual que abarcará las actividades del GBYP a lo largo de 2024 y 2025. Por lo tanto, este informe describe las actividades realizadas entre septiembre de 2023 y diciembre de 2024.

2. Actividades científicas y resultados obtenidos por principal línea de actividad

2.1 Recuperación y gestión de datos

No ha habido actividades de recuperación de datos en las fases 13 y 14, dado que no se han detectado nuevos conjuntos de datos antiguos relevantes. Por consiguiente, además de las tareas rutinarias de gestión de los datos, como la actualización del repositorio de datos para almacenar la información procedente de la actividad de prospecciones aéreas, la contribución a la actualización de la base de datos de marcas convencionales de ICCAT y la recopilación de conjuntos de datos relevantes para atender seis solicitudes de datos externas, la mayoría de los esfuerzos se han centrado en el desarrollo de bases de datos relacionales. Estas últimas tienen como objetivo almacenar y analizar de manera adecuada los datos biológicos originados por las actividades de investigación y los relacionados con el programa de marcado electrónico.

Una vez concluida la fase de desarrollo, la base de datos biológica relacional integrará toda la información relevante disponible facilitada por el GBYP o por los equipos de investigación nacionales de las CPC. Asimismo, permitirá desarrollar amplios estudios de colaboración para estimar parámetros biológicos más fiables y optimizar programas de muestreo, garantizando su complementariedad.

En relación con la base de datos sobre marcado electrónico (ETAGS), las pruebas realizadas con los conjuntos de datos almacenados revelaron varios problemas que tendrán que abordarse en fases futuras, junto con una mayor optimización del funcionamiento de la base de datos y su perfeccionamiento. Además, como componente adicional de la base de datos de ETAGS, se ha añadido un nuevo conjunto de metadatos que incluye un gran número de datos esenciales de los principales fabricantes de marcas electrónicas y proveedores de servicios por satélite. Permitirá analizar en detalle el desempeño de las marcas por satélite utilizadas (para todas las especies de ICCAT) y, por lo tanto, responder a las peticiones del SCRS en este sentido. Una vez incorporados y compilados todos los conjuntos de datos pertinentes, la base de datos ETAGS permitirá realizar amplios análisis conjuntos, que contribuirán a mejorar los conocimientos sobre la estructura de la población y los patrones espaciales del atún rojo.

2.2 Índices independientes de la pesquería del stock Prospecciones aéreas del GBYP en concentraciones de reproductores de atún rojo y prospecciones en larvas de atún rojo

Durante este periodo de comunicación se han llevado a cabo dos tipos principales de actividades en relación con las prospecciones aéreas del GBYP: la actualización de las series temporales del índice incorporando los resultados de las campañas de 2023 y 2024, y el desarrollo de nuevas campañas durante el verano de 2024.

En cuanto a las prospecciones aéreas del GBYP de 2024, se cubrieron cuatro réplicas tanto en el mar Balear (área A) como en el Mediterráneo central (áreas C y E), entre finales de mayo y principios de julio, siguiendo el mismo diseño y metodología de avistamiento utilizados en 2023. Antes de las misiones, se celebró un curso de formación en línea con la participación de todos los miembros de la tripulación (piloto, avistadores profesionales, dos avistadores científicos), para proporcionarles instrucciones detalladas sobre la metodología y la forma de cumplimentar los formularios de avistamiento.

La prospección en la zona A (mar Balear) se realizó del 4 al 24 de junio de 2024. Para cubrir las cuatro réplicas por completo (30 transectos en total) se realizaron 16 vuelos en 14 días. En total, durante el tiempo de esfuerzo, se registraron 12 observaciones de atún rojo, que sumaron más de 1.935 ejemplares con un peso total de 403 t. De ellas, hubo siete observaciones de pequeños grupos de entre 10 y 30 ejemplares que oscilaban entre la categoría de peces pequeños y medianos. Las otras cinco observaciones correspondieron a bancos de atunes de entre 100 y 1.000 ejemplares, formados principalmente por peces de la categoría mediana a gigante. La mayoría de las observaciones de BFT se localizaron en la parte occidental del bloque y sobre todo en la parte suroccidental alrededor de Ibiza y entre Mallorca e Ibiza.

La prospección en el mar Tirreno meridional (zona C) se llevó a cabo del 4 de junio al 6 de julio de 2024. Hubo un total de 13 vuelos de prospección. Sólo se avistaron tres bancos de atún rojo, de tamaño medio-grande, que sumaban hasta 3.000 ejemplares con un peso total de más de 460 t. Aunque este año se pudo confirmar una vez más la importancia de esta zona para el desove del atún rojo, hubo menos avistamientos que en campañas anteriores. Según la opinión de los avistadores profesionales, parte de los bancos de atún rojo podrían estar en aguas más profundas y serían menos visibles, probablemente debido a las altas temperaturas superficiales del mar. La prospección en la zona E (mar Mediterráneo central-meridional) se realizó del 7 de junio al 1 de julio de 2024 mediante 20 vuelos de prospección. Lamentablemente, debido a la extensión de la zona y a las malas condiciones meteorológicas, no fue posible llevar a cabo la cuarta réplica en toda la zona. En total, se registraron 14 bancos de atún rojo, lo que representa un número similar al registrado en años anteriores. Seis de estos estaban compuestos por pequeños ejemplares en actividades de alimentación. Así pues, sólo ocho estaban compuestos por adultos de talla mediana y grande, que pueden utilizarse para el índice de biomasa del stock reproductor (SSB). En total, se observaron 10.690 ejemplares con un peso total de 1.060 t. Para más detalles, véanse los informes sobre las prospecciones aéreas de 2024 (pestaña "Documentos", fase 14) (disponibles [aquí](#)).

Se adjudicaron dos contratos al equipo del Centro de Investigación en Modelación Ecológica y Ambiental (CREEM) de la Universidad de St. Andrews para el análisis de los datos de las prospecciones aéreas. CREEM son los creadores originales de la metodología DISTANCE aplicada a los análisis de datos de las prospecciones aéreas del GBYP. Dichos contratos comprendían el análisis de los datos de la prospección aérea de 2023 (fase 13) y 2024 (fase 14), respectivamente, así como la actualización de las estimaciones de las prospecciones anteriores. En ambos casos, los índices del atún se actualizaron de dos formas: 1) actualización de toda la serie temporal (Tarea 1); y 2) actualización estricta del índice para 2023 y 2024 (Tarea 2), respectivamente. Para proporcionar una actualización estricta, tal y como solicitó el SCRS, se aplicó la función de detección utilizada la primera vez que se incorporaron los datos de la prospección aérea del GBYP al sistema de evaluación de estrategias de ordenación (MSE) para el atún rojo. Al añadir nuevos datos y calcular una nueva función de detección basada en datos actualizados (Tarea 1), el error estándar y los intervalos de confianza de los años anteriores pueden actualizarse y, con frecuencia, reducirse. El enfoque utilizado en la Tarea 2 no permite tales actualizaciones, ya que el cálculo se basa en la función de detección originada a partir de un conjunto de datos reducido. Por lo tanto, los expertos recomendaron utilizar el enfoque de la Tarea 1 para generar las series temporales del índice utilizadas en el marco de la MSE para el atún rojo. Para el análisis del muestreo a distancia, sólo se tuvieron en cuenta solo se consideraron los avistamientos realizados sobre los transectos de prospección predefinidos y los avistamientos de bancos de no juveniles. Por lo tanto, se excluyeron los avistamientos descritos como 100 % pequeños (ejemplares <25 kg). Sin embargo, los avistamientos restantes aún pueden incluir algunos bancos que contengan ejemplares pequeños entre peces más grandes.

En cuanto a la prospección de 2023, al igual que en años anteriores, la mayoría de los avistamientos se registraron en el bloque A (mar Balear). El tamaño de los bancos observado en 2023 fue, por término medio, mayor que en los años anteriores. Esto también se reflejó en la segunda mayor biomasa media observada en la serie temporal (el pico se observó en 2021). La actualización de los índices del atún para 2023 mostró un aumento de atún rojo tanto en abundancia como en biomasa en los bloques A y E y una disminución en el bloque C. En 2024 las mayores tasas de encuentro correspondieron también al bloque A. Los tamaños de

los bancos fueron, a diferencia de 2023, menores que en años anteriores (periodo 2021-2023), y similares a los observados en el periodo 2017-2019. Los valores de biomasa y abundancia también disminuyeron en relación con los registros de 2023, en todas las zonas. Para más detalles, véanse los informes disponibles [aquí](#) (pestaña "Documentos", Fases 13 y 14, respectivamente).

2.3 Actividad de marcado

Esta línea de investigación se ha enfrentado a varios problemas desde el inicio del programa, como bajas tasas de recuperación, el desprendimiento prematuro de marcas electrónicas debido a metodologías de marcado inadecuadas o a problemas técnicos de la marca (por ejemplo, rotura del dardo, problemas con la batería, etc.). Estos problemas se han minimizado a lo largo de las fases anteriores del GBYP mediante acciones de concienciación y mejoras metodológicas, que han incrementado significativamente el tiempo dedicado a los peces y el porcentaje de marcas recuperadas durante los últimos años. Lamentablemente, un problema técnico adicional afectó al desempeño de las marcas por satélite desplegadas dentro del programa GBYP, lo que ha provocado que un porcentaje de las marcas superior al habitual muestre una transmisión de datos deficiente o nula. Por ello, se ha realizado un intenso trabajo, en estrecha colaboración con la empresa fabricante de las marcas, para prevenir y minimizar los efectos negativos de estos posibles problemas. Ello incluía proporcionar a todos los equipos de marcado protocolos estrictos de mantenimiento y prueba, además de las mejoras del software de marcado llevadas a cabo por el fabricante.

2.3.1 Lotería de marcas

Como en fases anteriores, el programa de marcado del GBYP en 2023 y 2024 se ha llevado a cabo junto con los programas de marcado electrónico desarrollados a nivel nacional, lo que ha permitido estrechar la colaboración con los equipos nacionales, aprovechando las sinergias entre los diferentes programas de marcado y, por tanto, aumentando su eficiencia.

Dentro de la fase 13, se firmaron 13 memorandos de entendimiento (MoU) con diferentes instituciones que respondieron a la convocatoria difundida en julio de 2023 para colaborar con el programa de marcado electrónico del GBYP, lo que permitió el despliegue de 70 de las 75 marcas satélite pop-up adjudicadas. Así pues, sólo la campaña prevista en el mar de Liguria no pudo llevarse a cabo por motivos de "fuerza mayor", pero las cinco marcas restantes se desplegarán en el marco de los MoU de marcado de la fase 14. Para más detalles véanse los informes sobre las campañas de marcado disponibles [aquí](#) (sección Documentos, Fase 13).

Dentro de la fase 14, en julio de 2024 se lanzó una nueva convocatoria de manifestaciones de interés, que dio lugar a la firma de 10 nuevos memorandos de entendimiento, para desplegar un total de 109 marcas electrónicas propiedad de GBYP, entre las que se incluyen: marcas vía satélite, pero también marcas archivo internas y transmisores acústicos, tal y como se resume en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Número y tipo de marcas electrónicas adjudicadas por equipo en la Fase 14 - año 2024.

<i>Institución</i>	<i>Tipo de marca</i>		
	<i>Marcas archivo satélite pop-up (PSAT)</i>	<i>Interna</i>	<i>Acústica</i>
Marine Institute	4		8
Technical University of Denmark (DTU)	6		8
Acadia University	5		
AZTI	4	8	
Stanford (Canaries)	6		5
Zoo Barcelona	3	4	8
Stanford (Slope Sea)	8	6	
Exeter University	4		3
Institute of Marine Research (IMR)	5		
Swedish University of Agricultural Sciences (SLU)	6		8
TOTAL	51	18	40

En cuanto a las marcas convencionales, dentro de la fase 13 se entregaron 1.750 marcas "espagueti", junto con aplicadores y los protocolos de marcado y formularios para informar de las operaciones de marcado, a raíz de solicitudes ad hoc de instituciones situadas en Canadá, Dinamarca, Italia, Reino Unido y Suecia. Durante el periodo que cubre el informe, se marcaron un total de 630 peces.

2.3.2. Recuperación de marcas

Las actividades de recuperación de marcas del GBYP de ICCAT, respaldadas por programas de concienciación y recompensa, han continuado como de costumbre durante el periodo del informe. La actual estrategia de recuperación de marcas incluye las siguientes recompensas: 50 euros o una camiseta por cada marca convencional; 100 euros por cada marca acústica, 1.000 euros por cada marca archivo electrónica. Además, la lotería anual GBYP de ICCAT (septiembre) incluyó: 1.000 € para la primera marca sorteada y 500 € para la 2ª y 3ª marcas sorteadas. Esta política de recompensas, junto con la intensa actividad de concienciación sobre las marcas, incluidas las reuniones con los representantes de las ORP de ICCAT, han demostrado ser muy útiles para mejorar las recuperaciones de marcas. Como resultado, en los últimos años se ha producido un aumento exponencial de las recuperaciones de marcas electrónicas, coincidiendo con las acciones específicas de concienciación destinadas a los observadores de ICCAT, que han pasado de un número en torno o muy inferior a 10 por año antes de 2020 a una media de más de 30 marcas a partir de 2021, alcanzando valores máximos de 52 marcas tanto en 2023 como en 2024.

2.4 Estudios biológicos

2.4.1. Muestreo biológico y análisis

En la fase 13 se difundió una convocatoria de ofertas para el mantenimiento y la gestión del banco de tejidos del GBYP de ICCAT, la recogida de muestras de tejidos y otolitos, y la realización de estudios genéticos destinados a profundizar en el conocimiento de la estructura y la dinámica de los stocks de atún rojo. Como resultado, se adjudicaron dos contratos.

El primer contrato incluía el muestreo biológico de peces juveniles y adultos, concretamente 1.384 muestras de 732 atunes de diferentes regiones (mar Balear, Mediterráneo central, islas Canarias, mar de Noruega y Atlántico central), así como la actualización del catálogo de muestras almacenadas en el banco de tejidos del GBYP. El catálogo está disponible a través de un enlace a un [repositorio público](#) en el sitio web permanente y fiable. Esta interfaz de fácil uso se desarrolló como parte de una aplicación Shiny y ofrece una herramienta de visualización de datos integrada e interactiva que permite compilar datos de varias bases y fuentes de datos.

Otra actividad consistió en clasificar e identificar larvas procedentes de estudios realizados en la zona de desove del mar Balear para posibles análisis de parentesco cercano. En total, se identificaron 2.923 individuos de 25 muestras recogidas durante 2023. Se encontraron larvas de atún rojo en 21 de las 25 muestras analizadas. Los individuos clasificados se conservaron en etanol y se guardaron en el congelador para su perfecta conservación.

En cuanto a los estudios genéticos, se abordaron varias tareas, que se resumen a continuación.

A partir de un análisis de secuenciación del genoma completo, se identificó un conjunto de variantes genéticas candidatas que podrían afectar al estado físico del atún rojo del Atlántico, originadas por un evento de introgresión pasado (transferencia de información genética de una especie a otra como resultado de la hibridación) a partir del atún blanco que tuvo lugar en el Mediterráneo. La detección de estos alelos del atún blanco en larvas y juveniles del mar de Slope validó la conectividad entre las zonas de desove del Mediterráneo y del mar de Slope.

Se estudiaron las variantes genéticas que afectan al estado físico en las primeras etapas de la vida del atún rojo del Atlántico comparando la diferenciación genética entre larvas y los juveniles del año. El hallazgo de variantes genómicas candidatas que afectan a la supervivencia durante las primeras etapas de la vida del atún rojo del Atlántico supone un avance en la comprensión de las bases genómicas de la capacidad de adaptación de la especie a condiciones medioambientales cambiantes, como el aumento progresivo de las temperaturas de la superficie del mar durante el periodo de desove del atún rojo del Atlántico y las intensas

olas de calor observadas en las últimas décadas en las principales zonas de desove del atún rojo del Atlántico, que podrían tener un impacto directo en el proceso de reclutamiento de la especie y, por tanto, en la abundancia de los stocks.

Se confirmó la idoneidad de las larvas para el análisis de parentesco necesario para la aplicación del modelo de marcado y recaptura de individuos estrechamente emparentados (CKMR) en el atún rojo del Atlántico oriental. Además, los resultados sugieren que los individuos adultos pueden desovar en diferentes lugares del Mediterráneo occidental durante la misma temporada de desove. Para determinar la conectividad espacial y temporal entre los lugares de desove en el mar Mediterráneo y la fidelidad a los lugares de desove a una escala fina dentro del mar Mediterráneo, se necesitan más estudios y un mayor tamaño de muestreo. El origen genético de los individuos que no se había podido determinar basándose en el panel de 96 polimorfismos de un solo nucleótido (SNP) desarrollado en las fases anteriores del GBYP se exploró de nuevo utilizando la matriz SNP BFT, desarrollada recientemente y que incluye más de 7000 SNP, lo que permitió asignar un stock de origen específico a la mayoría de estos individuos no asignados anteriormente. Se descubrió que los estudios basados en la matriz de 96 SNP podrían haber sobrestimado la proporción de individuos del golfo de México y la mezcla de ambos componentes a ambos lados del océano Atlántico norte. Este hecho puso de manifiesto la necesidad de una herramienta más completa y potente, como la nueva matriz BFT SNP, para el seguimiento del atún rojo del Atlántico, con el objetivo de proporcionar información más precisa sobre el origen genético, la dinámica de mezcla y el comportamiento del atún rojo del Atlántico.

El perfil genético del atún rojo capturado en el golfo de Vizcaya en diferentes estaciones mostró que los individuos de origen mediterráneo y del golfo de México pueden encontrarse en el golfo de Vizcaya en diferentes proporciones a lo largo de diferentes años, estaciones y clases de edad, lo que sugiere un comportamiento migratorio dinámico de la especie. Estos análisis mostraron que el inusual aumento de las capturas de atún rojo del Atlántico que se produjo en el golfo de Vizcaya durante el invierno de los últimos tres años estaba compuesto por individuos de origen mediterráneo, aunque se necesitan muestras de mayor tamaño para inferir conclusiones más sólidas.

Otra actividad consistió en evaluar la capacidad de asignación de sexo de los marcadores genéticos incluidos en la matriz SNP, con el objetivo de establecer hipótesis de migración sesgada por sexo. Los resultados mostraron una tasa de asignación del 92,6 %. En conclusión, la correcta asignación del sexo de las muestras de atún rojo del Atlántico utilizando los marcadores genéticos para la determinación del sexo incluidos en la matriz SNP permitirá una identificación automatizada fiable del sexo de los individuos atún rojo del Atlántico, minimizando los costes requeridos para el análisis de parentesco necesario para la implementación del CKMR.

Para más información sobre el informe final del Consorcio dirigido por AZTI, pulse [aquí](#) (pestaña “Documentos”, fase 13).

El segundo contrato se adjudicó para investigar la divergencia adaptativa en el atún rojo del Atlántico utilizando la secuenciación del genoma completo (WGS), con el objetivo de caracterizar mejor la estructura del stock y los mecanismos que impulsan la divergencia evolutiva. Los resultados, basados en muestras representativas de los stocks de atún rojo del Atlántico occidental y oriental, incluido el mar Mediterráneo, mostraron una variación genómica significativa entre ambas zonas. Los resultados detallados están disponibles [aquí](#) (pestaña “Documentos”, fase 13).

Dentro de la Fase 14, se adjudicó un nuevo contrato para el mantenimiento del Banco de tejidos del GBYP y para desarrollar nuevos estudios relacionados con la viabilidad del CKMR, con el fin de identificar haplotipos cuya baja frecuencia permitiera utilizarlos para saber si dos individuos comparten la misma madre (objetivo 1), y evaluar la hermandad entre larvas de BFT muestreadas dentro la prospección de ictioplancton del DFC de la UE en el mar Balear (objetivo 2).

Para abordar el objetivo 1, se prepararon tres conjuntos de datos diferentes basados en secuencias genómicas: uno que incluía datos de secuenciación genómica completa en su conjunto, otro que incluía datos de secuenciación genómica completa individual y, por último, se generó un tercer conjunto de datos a partir de la base de datos GeneBank de acceso público. El estudio concluyó que estos conjuntos de datos permitirán futuros análisis de la variabilidad mitocondrial en la población mediterránea de atún rojo del Atlántico, lo que constituye el primer paso para determinar la viabilidad de ensayos eficaces a nivel de costes dirigidos a regiones genómicas mitocondriales adecuadas para determinar los haplotipos mitocondriales.

Para abordar el objetivo 2, se seleccionaron larvas de la zona de desove del mar Balear procedentes de diferentes estaciones, incluidas las de alta, media y baja densidad larvaria, y se genotipificaron. No se encontraron parejas de padres e hijos, pero se identificaron parejas de hermanos y medio hermanos. El análisis reveló altas proporciones de hermandad en algunas estaciones y confirmó que un adulto puede desovar en varias estaciones en una misma temporada. Para más información pulse [aquí](#) (pestaña "Documentos", fase 14).

2.5 Enfoques de modelación

En cuanto a la MSE, dentro de la fase 13 el GBYP apoyó el desarrollo y la implementación del proceso de MSE cubriendo los gastos de viaje de los miembros del Grupo técnico sobre MSE para el BFT. Está previsto que en la fase 14 del GBYP, a lo largo de 2025, se aborden de nuevo los modelos operativos de MSE relacionados con el reacondicionamiento de los modelos operativos de la MSE. Además, para investigar las diferentes opciones de muestreo necesarias para la aplicación de CKMR al stock oriental de atún rojo, comprobando qué tipo de precisión podría alcanzarse y en qué plazo, se adjudicó un contrato para elaborar un modelo inicial presentado y debatido en la Reunión intersesiones de 2024 de ICCAT del Grupo de especies de atún rojo (BFTSG) (formato híbrido/ Sliema, Malta, 15-18 de abril de 2024) (ICCAT, 2024). La principal conclusión de este trabajo de modelación fue que es posible establecer y aplicar niveles de muestreo en un pequeño número de pesquerías seleccionadas (y un estudio de larvas), para proporcionar en 2030 una precisión muy buena en lo que concierne a la abundancia de adultos (~10% CV) y a Z (a saber, a M) - bajo supuesto razonables sobre la estructura espacial y la abundancia actual. También debería haber suficientes parejas de ejemplares emparentados para comprobar los supuestos sobre la estructura espacial, por ejemplo, el grado de fidelidad al lugar de desove. Puede consultarse más información pulsando [aquí](#) (pestaña "Documentos", fase 13) y en Bravington y Fernández, 2024.

Referencias

- Bravington M., and Fernandez C. 2024. Model-based sampling design for eastern bluefin tuna close-kin mark recapture. Collect. Vol. Sci. Paps ICCAT, 81(5): 1-32.
- ICCAT, 2024. Report of the 2024 ICCAT Intersessional Meeting of Bluefin Tuna Species Group (BFTSG) (hybrid/ Sliema, Malta, 15-18 April 2024). Collect. Vol. Sci. Paps ICCAT, 81(5): 1-70.