

## Informe del Programa anual sobre pez espada (SWOYP)

### Contexto y objetivos del Programa

Desde 2018, el Grupo de especies de pez espada ha llevado a cabo un programa de investigación con el fin de abordar incertidumbres clave que son importantes para mejorar el asesoramiento científico para la ordenación de la especie. El programa abarca los tres stocks de pez espada de ICCAT, y se ha modificado cada año para responder a nuevos conocimientos, prioridades y estimaciones de costes. Este programa tiene como objetivo mejorar el conocimiento de la distribución del stock, edad y sexo de la captura, tasa de crecimiento, edad de maduración, tasa de maduración, temporada de desove y lugar, líneas divisorias del stock y mezcla, contribuyendo así al próximo gran avance en la evaluación del estado del pez espada. El SWOYP también abarca un estudio de marcado electrónico para entender mejor el ciclo vital y el uso del hábitat del pez espada y una evaluación de estrategias de ordenación (MSE) para el stock del Atlántico norte con el fin de seguir el calendario de la MSE acordado por la Comisión. Colectivamente, estos proyectos deberían traducirse en un asesoramiento más fiable sobre el estado del stock para este recurso gestionado de forma colectiva e internacional. El Grupo de especies de pez espada ha asignado a esta tarea una elevada prioridad y abordará deficiencias críticas para nuestro conocimiento de la dinámica de la población y de la ecología de los stocks. El programa, que se ha realizado basándose en un contrato de corta duración desde 2018, fue formalizado como programa de investigación de ICCAT en 2022.

### Visión global de las actividades

El Grupo de especies de pez espada dio prioridad a los siguientes temas de investigación: un estudio de determinación de la edad y de crecimiento para mejorar el conocimiento de los patrones de crecimiento entre los stocks; un estudio de biología reproductiva para mejorar el conocimiento de la madurez y la fecundidad; un estudio genético para definir mejor las líneas divisorias del stock y estimar las tasas de mezcla entre los stocks; un estudio de marcado electrónico para comprender mejor el ciclo vital y el uso del hábitat, y la evaluación de la MSE para seguir el calendario de la MSE acordado por la Comisión. Estos proyectos están supervisados por un consorcio dirigido por Canadá (Dr. Kyle Gillespie y Dr. Alex Hanke, Fisheries and Oceans Canada) y administrado por la Nova Scotia Swordfishermen's Association. Cada una de las tres áreas de investigación está supervisada por un jefe de proyecto: determinación de la edad y crecimiento (Dr. Rui Coelho y Sra. Daniela Rosa, Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA)); reproducción (Dr. David Macías (Instituto Español de Oceanografía (IEO)); y genética (Dra. Oliana Carnevali y Dra. Giorgia Gioacchini (Università Politecnica delle Marche) (UNIVPM)). Un total de 21 instituciones de 14 CPC de ICCAT participan en la recogida y el análisis de las muestras. Se han celebrado cuatro talleres de biología del SWOYP: el primero, en 2019, para perfeccionar y estandarizar los métodos de muestreo y el procesamiento de las muestras, el segundo, en 2021, para revisar los resultados del estudio, crear conjuntos de referencia de determinación de la edad e histología y revisar los resultados de un primer ejercicio de calibración; un tercero en 2023 para avanzar en los protocolos de determinación de la edad, la calibración de la edad, la validación de la edad y el desarrollo de un conjunto de referencia. y un cuarto en 2024 para desarrollar un plan estratégico de investigación para el SWOYP a largo plazo. Las marcas electrónicas se han utilizado para apoyar estudios de movimiento y uso del hábitat en el Atlántico noroccidental y en una posible zona de mezcla en el Atlántico nororiental. La MSE para el Atlántico norte se inició en 2018 y la está llevando a cabo por equipo técnico central y un contratista externo. La Comisión seleccionó un procedimiento de ordenación (MP) en 2024 y el equipo técnico continuará el trabajo técnico sobre un protocolo de circunstancias excepcionales y pruebas de robustez relacionadas con el cambio climático y los límites de talla mínima. En 2024, los esfuerzos se centraron en gran medida en el procesamiento de muestras. Los científicos de las CPC que contribuyen regularmente aportando muestras se centraron sobre todo en el trabajo atrasado de procesamiento de muestras y análisis de material recogido como parte del SWOYP en años anteriores. En esta fase del proyecto se completó el procesamiento adicional de muestras de radiocarbono de bomba.

### Recogida y cobertura de muestras

En todas las fases de este programa, se han recogido 4.712 muestras de pesquerías de palangre, que cubren los tres stocks. La mayoría de las muestras recogidas se componen de una espina de la aleta anal para la

determinación de la edad, una porción de tejido para el análisis genético, e incluye datos sobre el sexo, la talla, la ubicación y la fecha de la captura de los peces. Un subconjunto de muestras incluye otolitos para la determinación de la edad y/o un trozo de gónada para el análisis reproductivo.

En todas las fases del SWOYP se recogieron muestras en muchas de las principales zonas pesqueras del Atlántico norte y sur y del Mediterráneo. El muestreo en el Atlántico norte se concentró en tres zonas: la plataforma de Nueva Escocia, en el Atlántico occidental; a lo largo del paralelo 39°N, en el Atlántico oriental; y en aguas frente a la costa occidental de Marruecos, en el Atlántico oriental. Las tres son zonas importantes para la captura de pez espada. Las muestras obtenidas cerca del estrecho de Gibraltar serán de especial importancia en futuros análisis genéticos para comprender la mezcla entre los stocks atlántico y mediterráneo. En la fase 3 del programa, se obtuvo un número significativo de muestras de la costa este de Estados Unidos (zona de muestreo de istiofóridos 92), aunque sigue habiendo lagunas en el golfo de México (BIL91) y el Caribe (BIL93). También se añadieron muestras de las aguas costeras de Venezuela. En los casos del golfo de México y el Caribe, la captura de pez espada es relativamente escasa. Sin embargo, prevemos que los futuros esfuerzos de muestreo incluirán datos de estas zonas. El Consorcio está intentando asociarse con institutos de estas zonas para aumentar la cobertura espacial.

Desde 2018, el muestreo en el Atlántico sur se ha producido entre 5°N y 6°S, extendiéndose desde la costa de Brasil hasta el golfo de Guinea. Más de la mitad de las muestras se obtuvieron en esta zona que abarca dos zonas de muestreo de istiofóridos (BIL96 y 97). Se trata de una zona de importantes capturas de pez espada para las flotas pesqueras de aguas distantes. También es una supuesta zona de mezcla para los stocks del Atlántico norte y del Atlántico sur. Además, se recogieron muestras en aguas del sur Brasil y en aguas de la costa de Sudáfrica y Namibia. La costa sur de Brasil y su extensión hacia el este a lo largo del paralelo 30°S es una zona importante para la captura de pez espada, pero no fue muestreada por este programa. Las CPC con flotas que faenan en esta zona han sido contactadas por el SWOYP para obtener muestras de esta zona. Estas CPC se han negado a apoyar los esfuerzos de muestreo. En la fase 6, se proporcionaron 51 muestras de tejido muscular de pez espada para análisis genéticos. Estas muestras se recogieron entre 2016 y 2019 y ayudarán en gran medida a comprender la dinámica espacial del stock de pez espada del Atlántico sur.

Durante el SWOYP se han realizado muestreos en tres regiones del Mediterráneo hasta la fecha: el mar Balear, en el Mediterráneo occidental; los mares Tirreno y Adriático, en el Mediterráneo central; y las islas griegas. La cobertura de muestreo de estos mares parece algo representativa de captura. Se necesitan más muestras en la región más occidental del Mediterráneo, en el mar de Alborán y en las inmediaciones del estrecho de Gibraltar, donde se sospecha que hay mezcla entre los stocks del Atlántico norte y del Mediterráneo. Se requiere un muestreo adicional en el Mediterráneo oriental en los mares Jónico y Egeo. Se ha contactado con las CPC que pescan en estas zonas y hasta ahora no han accedido a apoyar los esfuerzos de muestreo.

### **Biología reproductiva del pez espada en el Atlántico y Mediterráneo**

El estudio de biología reproductiva tiene los siguientes objetivos: a) mejorar los conocimientos de la reproducción y la madurez del pez espada del Atlántico y Mediterráneo, b) obtener ojivas de madurez específicas por sexo, c) identificar zonas de desove a nivel espacial y temporal y d) estimar  $L_{50}$  y la fecundidad relacionada con la talla /edad.

El sexo de los peces se determinó mediante la observación macroscópica y el análisis histológico. En el 86,5 % de las muestras se evaluó el sexo, mientras que en el 13,5 % restante las gónadas no estaban disponibles para su evaluación o se encontraban en un estado en el que el sexo era ambiguo. Los datos sobre el sexo no suelen recogerse en los programas nacionales de muestreo, ni tampoco se requieren en la comunicación a ICCAT, por lo que resulta difícil evaluar la representatividad de estos datos. En todas las regiones, las hembras superan a los machos en la muestra. La diferencia más extrema en la ratio de sexos se observó en el Mediterráneo, donde solo el 30 % de los peces fueron evaluados como machos. Esta región también presentaba el mayor nivel de incertidumbre, ya que se desconocía el sexo en aproximadamente el 30 % de los peces. El desequilibrio en las ratios de sexo puede ser el resultado de la zonificación espacial inherente entre los sexos o podría ser el resultado de que los machos sean clasificados como "desconocidos" en mayor proporción que las hembras. Por ejemplo, una gran proporción de los peces muestreados procede de aguas más septentrionales, donde se sabe que las hembras de pez espada son más abundantes.

La madurez se evaluó en una escala de seis puntos. Casi un tercio de los peces muestreados tenían estados de madurez clasificados como "indeterminados" y estos datos requieren una mayor verificación. En algunos casos, se dispone de datos histológicos de las muestras y, en estos casos, las evaluaciones macroscópicas de las gónadas se compararán con los datos histológicos.

En 2020, se llevó a cabo un análisis preliminar de  $L_{50}$  comparando los datos macroscópicos y microscópicos (Saber *et al.*, 2020). En total, se han recogido 2.434 datos sobre el sexo y la madurez macroscópica del pez espada del Atlántico norte y sur y del mar Mediterráneo, que cubren una amplia gama de tallas (58 a 261 cm LJFL). Se han recopilado unas 768 muestras de gónadas en el Atlántico norte y el mar Mediterráneo. Se realizarán nuevos análisis tras aumentar el tamaño de la muestra. En Saber *et al.* (2020b) puede consultarse un análisis preliminar de las muestras recogidas hasta la fecha, y recomendaciones para los próximos pasos para la recogida de datos y muestras. También se describen las frecuencias de talla por mes/temporada y por stock de los peces espada muestreado para los datos de madurez.

Los peces se clasificaron como inmaduros (estadio 1) o maduros (estadio 2 - 5).  $L_{50}$  se estimó utilizando los datos de madurez macroscópica. Se enviaron muestras de gónadas al coordinador de los estudios reproductivos en el IEO-Málaga (España). La determinación de la madurez microscópica de las gónadas se basó en una modificación de los criterios de Schaefer (2001) y Farley *et al.* (2013).

Como se esperaba, el análisis de la ratio de sexos mostró que las hembras eran más abundantes que los machos, pero es necesario seguir trabajando para verificar si el programa de muestreo tiene en cuenta ambos sexos. Las estimaciones de  $L_{50}$  en el análisis preliminar para los tres stocks fueron sistemáticamente inferiores a las adoptadas por el SCRS. Sin embargo, cabe señalar que un número considerable de secciones histológicas de ovarios examinadas mostraron que las hembras clasificadas microscópicamente como inmaduras a menudo se clasificaban incorrectamente como en desarrollo (estadio 2, maduras) cuando se utilizaban los criterios macroscópicos. En 2023, se han procesado otras 42 muestras de Taipei Chino y 247 muestras de UE-Portugal. El análisis histológico de estas muestras está en curso.

Se necesitan más calibraciones y ejercicios para aumentar la capacidad del Grupo de analizar muestras de gónadas. Además, se necesitan muestras de zonas de reproducción hipotéticas en el mar de los Sargazos y el golfo de Guinea.

Es necesario aumentar el muestreo del pez espada en todo el mar Mediterráneo y el océano Atlántico, a fin de reunir suficientes datos para la estimación fiable de la madurez y otros rasgos reproductivos, así como la validación de los datos de madurez macroscópicos mediante el examen histológico de las gónadas.

### **Determinación de la edad y crecimiento del pez espada del Atlántico y Mediterráneo**

Los objetivos del estudio de determinación de la edad y del crecimiento son: a) desarrollar una metodología estandarizada para la determinación de la edad de las espinas y los otolitos, b) validar las edades mediante procedimientos como el radiocarbono de bomba, y c) actualizar las fórmulas de crecimiento específicas para cada sexo utilizando nuevos datos de muestras y técnicas de modelación.

Se recogieron para este estudio un total de 3542 muestras de espinas dorsales (1.396 machos, 1.783 hembras, 365 ejemplares de sexo indeterminado) en el Atlántico norte, sur y Mediterráneo. Para este estudio se recogieron 1.359 muestras de otolitos (583 machos, 731 hembras y 38 ejemplares de sexo indeterminado) en el Atlántico norte, sur y Mediterráneo.

De las muestras de espinas y otolitos recogidas, se han procesado 1.093 espinas, 288 otolitos para la determinación de la edad anual y 56 otolitos para la determinación de la edad diaria para el Atlántico norte. Para el Atlántico sur, se procesaron 979 espinas, 500 otolitos para la determinación de la edad anual y 11 otolitos para la determinación de la edad diaria. Para el Mediterráneo, se han procesado 173 espinas, 44 otolitos para la determinación de la edad anual y 6 otolitos para la determinación de la edad diaria.

El seccionamiento de espinas y otolitos se realiza en los Servicios de determinación de la edad de los peces (Fish Ageing Services, FAS) (Australia). La preparación de las espinas sigue a Quelle *et al.* (2014). La segunda espina de la aleta anal se incrustó individualmente en resina para seccionarla, se hicieron dos secciones de aproximadamente 0,5 mm a una distancia del ancho del cóndilo (1D) y a la mitad del ancho del cóndilo

(0,5D). Las espinas más pequeñas se seccionaron con una máquina de corte de gemas modificada con una sierra de alta velocidad, utilizando un único disco de diamante Pro-Slicer, mientras que las espinas más grandes se seccionaron utilizando una IsoMet con un disco de diamante de corte en láminas. Las secciones de las espinas se conservaron en resina de modelado de poliéster transparente ortoftálica y se fotografiaron bajo un microscopio de disección con una cámara digital.

Antes del procesamiento, se midió la longitud y la anchura de los otolitos enteros y se fotografiaron con un Leica M80 con luz transmitida y un aumento de 5x. Los otolitos se prepararon para las lecturas de la edad anual y diaria en secciones transversales finas moliendo el otolito en un proceso de tres pasos. En primer lugar, se fijó el otolito en el borde (extremo) de un portaobjetos utilizando un medio de montaje termoplástico (Crystalbond 509) con la parte anterior del otolito colgando sobre el borde. Se tuvo cuidado de que el primordio se situara justo en el interior del borde del cristal. A continuación, el otolito se lija hasta el borde con papel de lija de 400 y 800 granos en seco y en húmedo. A continuación, se recalentó el portaobjetos y se retiró el otolito, que se colocó (con la parte molida hacia abajo) en otro portaobjetos y se dejó enfriar el Crystalbond. Una vez enfriada, la sección del otolito se lijó horizontalmente hasta la superficie de lijado, utilizando diferentes grados (grano 400, 800 y 1500) de papel de lija húmedo y seco y, finalmente, una lámina de lapeado de 5  $\mu\text{m}$ . Durante este proceso, se comprobó continuamente el grosor adecuado de la preparación del otolito (220  $\mu\text{m}$  - 250  $\mu\text{m}$  para las lecturas anuales o 50  $\mu\text{m}$  - 80  $\mu\text{m}$  para las lecturas diarias). Las secciones de los otolitos se conservaron en resina de poliéster transparente ortoftálica y se fotografiaron con un aumento de 40 utilizando un microscopio de disección Leica M80 iluminado con luz transmitida.

En 2022, se completó un análisis preliminar de la lectura de la edad para el stock del Atlántico norte. Varios lectores leyeron tanto las espinas como los otolitos, y se encontraron sesgos entre los lectores para ambas estructuras. La edad modal máxima en espinas era de siete años y en otolitos de cinco años. La talla media por edad de las espinas era similar a las tallas medias por edad del estudio de Arocha *et al.* (2003). El muestreo, el procesamiento y las lecturas de la edad continuarán en el marco del programa, que contribuirá al desarrollo de nuevos modelos de crecimiento específicos del sexo para los tres stocks.

Durante la fase 5 del SWOYP se celebraron un taller para el pez espada (SWOYP), los istiofóridos (Programa de investigación intensiva sobre marlines, EPBR) y los pequeños túnidos (Programa anual de pequeños túnidos, SMTYP) con el objetivo de mejorar la experiencia de los científicos de ICCAT mediante el intercambio de conocimientos, la estandarización de metodologías, la revisión del trabajo ya realizado y el desarrollo de planes para los próximos pasos en estos programas de investigación.

Un campo del proyecto de determinación de la edad y crecimiento SWOYP en 2023 fue la validación de la edad mediante análisis de la boba de radiocarbono. El objetivo de este componente de la edad y el crecimiento es utilizar un sistema de referencia bien desarrollado para la validación de la edad del pez espada con el fin de proporcionar protocolos válidos de lectura de la edad de los otolitos y para las características del ciclo vital que son esenciales para la ordenación sostenible de la pesca. En los últimos 30 años se ha perfeccionado un método de vanguardia utilizado para resolver estos problemas, conocido como datación por radiocarbono de bomba ( $^{14}\text{C}$ ). Las mejoras tecnológicas, unidas a los conocimientos sobre la propagación de la señal carbono 14 producida por la bomba en los ecosistemas acuáticos, permiten ahora resolver los problemas de estimación de la edad en peces que plantean dificultades en este sentido y, en concreto, en peces pelágicos de crecimiento rápido recogidos recientemente.

En este estudio se utilizó una cronología de carbono 14 de bomba bien establecida del Atlántico norte para comprobar la validez de las estimaciones de edad del pez espada comparando los valores de carbono 14- medidos mediante la novedosa tecnología gas- espectrometría de masas con acelerador (AMS) de la ETH Zürich- de otolitos de peces cuya edad se determinó con referencias regionales de carbono 14. La alineación o desalineación de los valores de carbono 14 en el tiempo, calculados como fechas de eclosión de cada estimación de lectura de edad de los otolitos, se utilizó para establecer o refinar los protocolos. En algunos casos, el desfase de algunos valores de carbono 14 de los otolitos con respecto a la cronología de referencia se utilizó como base para reexaminar la sección de otolitos en busca de escenarios alternativos de interpretación de la edad, lo que a menudo se combinó con el uso de la masa de los otolitos y la longitud de los peces (en el caso de los peces más pequeños) para dilucidar problemas relacionados con las interpretaciones de la edad en las secciones de otolitos. Para muchas de las estimaciones de edad originales,

los años de eclosión calculados condujeron a una ubicación temporal del valor de carbono 14 medido (a partir del núcleo del otolito) dentro del rango esperado de valores de referencia del carbono 14. Las mayores fuentes de error se identificaron como, (1) zonas de crecimiento mal definidas en secciones de otolitos, (2) protocolo de recuento coherente que incluía el crecimiento más temprano (primer anillo), (3) posibles problemas con algunas extracciones de muestras, y (4) alineación de valores de fechas de recogida más antiguas. La extracción del material del otolito fue todo un reto y se acercó a los límites de lo que se puede evaluar con gas-AMS, pero sobre todo porque el control del objetivo de extracción fue difícil y fue un trabajo en curso que mejoró con el tiempo. En general, la datación mediante carbono 14 tras el pico la bomba permitió determinar la edad del pez espada desde la mitad hasta el final de la pubertad aunque es evidente que los protocolos de lectura de la edad necesitan perfeccionarse para las secciones de otolitos difíciles de leer, así como para determinar la ubicación del primer anillo utilizado para iniciar el recuento utilizado para estimar la edad.

Los resultados de este estudio proporcionan una base validada para el uso continuado del recuento de la zona de crecimiento anual en otolitos de sección fina con margen de mejora para el pez espada del Atlántico norte. Las alineaciones de muchas de las muestras medidas condujeron a una buena concordancia con lo que se esperaba de la cronología del radiocarbono 14 de bomba del Atlántico norte, pero algunas no se alinearon y dieron lugar a una serie de observaciones que se atribuyeron a complicaciones experimentales o ambientales: control coherente de las extracciones de muestras del núcleo de los otolitos muy pequeños y posibles diferencias en los niveles fuente de carbono 14 para el crecimiento más temprano de los otolitos. Basándose en el análisis del pez espada en este estudio, actualmente se está realizando una serie de seguimiento de 20 mediciones en muestras adicionales proporcionadas por IPMA a ICCAT para investigar más a fondo las estimaciones de edad. Estas muestras cubren una gama similar a la del conjunto de datos existentes en términos de talla de los peces, masa de los otolitos y edad estimada para obtener más información sobre el patrón de captación de carbono 14 del material de los otolitos del año de eclosión a lo largo del tiempo. Además, se ha realizado un análisis del incremento diario del crecimiento más temprano para proporcionar una base sólida para la localización del primer anillo, que se unirá a los recientes descubrimientos que permiten asignar una edad decimal debido a la estructura de la zona de crecimiento del otolito. El perfeccionamiento de los protocolos de lectura de la edad es la razón por la que los resultados aquí presentados son necesariamente provisionales y se ajustarán posteriormente según sea necesario cuando se adquiera más información, lo que proporcionará una base validada por edad para un documento publicable.

### **Genética, delimitación de stocks y mezcla para el pez espada del Atlántico y el Mediterráneo**

La diferenciación de los stocks, la identificación de los límites y las tasas de mezcla entre los tres stocks de pez espada (Atlántico norte, Atlántico sur y Mediterráneo) es una incertidumbre crítica en la ciencia y la ordenación del pez espada del Atlántico. El SWOYP ha empleado diversas técnicas genéticas nextGen para resolver algunas de las incertidumbres de conocimiento de este Grupos de especies. Durante las fases anteriores del proyecto, el acoplamiento de los resultados obtenidos mediante el análisis de 635 muestras con variantes de nucleótido único (evaluadas mediante ADN asociado a sitios de restricción de doble digestión (ddRADseq)) y 30 muestras con variantes estructurales (evaluadas mediante secuenciación del genoma completo [WGS]) permitió determinar la diferenciación de los stocks (en términos de estructura y diversidad genéticas, estado físico y potencial evolutivo e identificar los límites de los stocks y la mezcla genética entre los stocks del Atlántico norte, sur y Mediterráneo). En esta fase del proyecto (6), el acoplamiento de los análisis ddRAD y WGS permitió identificar, a partir de los 32.459 SNP utilizados para el análisis genético de la población, un conjunto mínimo de variantes (SNP) necesarias para establecer una diferenciación entre los stocks del Mediterráneo y del Atlántico y entro los stocks del Atlántico norte y del Atlántico sur. Se han desarrollado dos modelos de aprendizaje automático para diferenciar los stocks.

El primer modelo se creó para diferenciar los stocks del Mediterráneo y del Atlántico Para ello, se ha utilizado el genotipado obtenido a partir del modelo de estructura con dos poblaciones ancestrales (K=2, G1 que representa al pez espada del Atlántico y G2 que representa al pez espada del Mediterráneo). El segundo modelo se creó para diferenciar los stocks del Atlántico norte y del Atlántico sur. Para ello, se ha

utilizado el genotipado obtenido a partir del modelo de estructura con tres poblaciones ancestrales (K=3, G1, G2 y G3) (de la fase 5 del proyecto). Se han descartado las muestras de mezcla y mediterráneas (G3). Para crear estos dos modelos de aprendizaje automático, se ha calculado el FST por pares en ambos conjuntos de datos, seleccionando únicamente los SNP con el índice FST más alto.

Para diferenciar el stock Mediterráneo del stock Atlántico se calculó el índice FST por pares de todas las muestras y después se seleccionaron 18 SNP con una puntuación FST superior a 0,65. Para diferenciar el stock del Atlántico norte del stock del Atlántico sur se calculó el índice FST por pares de las muestras incluidas en el segundo modelo y, a continuación, se seleccionaron 14 SNP con una puntuación FST superior a 0,55.

Ambos conjuntos de datos se han dividido en datos de formación y datos de prueba y se han probado los distintos algoritmos de aprendizaje automático para predecir el origen de las muestras de pez espada: análisis diferenciador lineal, árboles de clasificación y regresión, vecinos k más cercanos, máquinas de vectores de apoyo con un núcleo lineal y bosque aleatorio. Los dos modelos funcionaron muy bien, se obtuvo una precisión del 100 % con las muestras utilizadas para la prueba.

### **Estudio exploratorio del determinación de la edad epigenética**

Los análisis de determinación de la edad y el crecimiento del pez espada se enfrentan a numerosos retos debido al pequeño tamaño de los otolitos, las dificultades para obtenerlos y la vascularización de las espinas de las aletas que, de otro modo, podrían proporcionar lecturas de la edad. Las nuevas técnicas epigenéticas han permitido avanzar en la estimación de la edad mediante el examen del nivel de metilación del material genético. El objetivo de este componente del proyecto era continuar el estudio piloto iniciado durante la fase 5 para evaluar la viabilidad de estas técnicas en el pez espada. Para ello, se extrajo ADN total de 40 muestras pertenecientes al stock del Atlántico y se analizaron mediante el enfoque de secuenciación bisulfítica de representación reducida (RRBS). En concreto, estas muestras han sido secuenciadas y, en cuanto se disponga de los resultados y una vez comprobada su calidad, se utilizarán para elaborar BAM que se cotejarán con el genoma. Para ello, se realizarán archivos BEDGRAPH con valores de metilación, diagramas con el perfil de metilación a través de genes/TSS/promotores o regiones específicas de interés. Por último, se identificarán los mCpG asociados a la determinación de la edad utilizando también análisis preliminares realizados en el pez cebra y centrándose en los mCpG ya seleccionados en la fase 5 del proyecto

### **Marcado**

El objetivo del estudio de marcado de pez espada es analizar los patrones de uso vertical del hábitat y de migración de pez espada y ayudar a delimitar las líneas divisorias del stock y la tasa de mezcla del pez espada entre el mar Mediterráneo y el Atlántico norte y sur. En 2024, se colocaron 20 marcas en dos campañas de marcado SWOYP: Diez en el Atlántico noroccidental y otras 10 en el Atlántico nororiental. Se han identificado zonas prioritarias para nuevos despliegues de marcas para 2025: el Atlántico sur, el golfo de Guinea y el Atlántico nordeste en una posible zona de mezcla de stocks.

### **Evaluación de estrategias de ordenación en el Atlántico norte**

Tras varios años de desarrollo técnico, la Comisión adoptó un procedimiento de ordenación (MP) en 2024 mediante la *Recomendación de ICCAT sobre medidas de conservación y ordenación, incluido el procedimiento de ordenación, para el pez espada del Atlántico norte* (Rec. 24-10).

### **Actividades y plan para 2025**

#### **Muestreo**

Los responsables del SWOYP han identificado los lugares prioritarios y las clases de tallas que requieren muestreos adicionales. Se invita e insta a otras CPC e institutos a respaldar la recopilación y el análisis de muestras.

### **Biología reproductiva**

El componente de biología reproductiva del SWOYP continuará en 2025 con el procesamiento y las imágenes de gónadas. Al prever un aumento de la capacidad en el grupo para evaluar la fase de madurez, se espera que las ojivas de madurez preliminares desarrolladas en las fases anteriores del proyecto se actualizarán para los stocks del Atlántico norte y del Mediterráneo en 2025. Son necesarias muestras adicionales antes de que este trabajo pueda comenzar para el Atlántico sur. Los trabajos preliminares comenzarán en 2025 para estimar la fecundidad por stock.

### **Determinación de la edad y crecimiento**

El componente de determinación edad y crecimiento del SWOYP incluirá lo siguiente en 2025: continuación de lecturas de edad procedentes de espinas y otolitos, modelación de crecimiento y validación de la edad mediante análisis de radiocarbono de bomba. Un equipo principal de lectores de edad ha preparado un conjunto de referencia de espinas de aleta y otolitos y ha realizado un ejercicio inicial de calibración. Este Grupo continuará las lecturas para aumentar el número de muestras incluidas en la modelación de crecimiento. El análisis de radiocarbono de bomba, iniciado en 2023, continuará. Este análisis permitirá validar las lecturas de edad y respaldará el trabajo de determinación de la edad mediante técnicas epigenéticas.

### **Genética**

El trabajo de genética en 2025 continuará con el análisis de la población mediante muestras de tejidos procedentes de nuevas zonas (Sudáfrica, Brasil, océano Atlántico norte central, estrecho de Gibraltar, costa del norte de África) para el análisis de diferenciación de stock. En 2023, el equipo de genética realizó un estudio piloto sobre la determinación de la edad epigenética, para correlacionarlo con los otolitos, las espinas y el estudio por radiocarbono de bomba. Se prevé que este trabajo prosiga en 2025.

### **Marcado**

Los trabajos de marcado continuarán en 2025 en zonas prioritarias (Atlántico sur; zonas de mezcla de stock en el nordeste y en el golfo de Guinea). Este trabajo continuará respaldando los estudios sobre la distribución, el movimiento y la utilización del hábitat del pez espada. Estos datos también respaldarán el trabajo en curso sobre el modelo de distribución del pez espada.

### **Evaluación de estrategias de ordenación (MSE)**

Tras la adopción de un MP, en 2025, proseguirán los trabajos, relacionados sobre todo con la elaboración de un protocolo de circunstancias excepcionales y el desarrollo ulterior de pruebas de robustez. El Grupo de especies también continuará realizando un estudio de simulación preliminar para examinar la idoneidad de la MSE para el stock del Atlántico sur.

### **Referencias**

- Arocha F., Moreno, C., Beerkircher, L., Lee, D.W., Marcano, L. 2003. Update on growth estimates for swordfish, *Xiphias gladius*, in the Northwestern Atlantic. Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 55(4), pp.1416-1429.
- Farley J.H., Williams A.J., Hoyle S.D., Davies C.R., Nicol S.J. 2013. Reproductive dynamics and potential annual fecundity of South Pacific albacore tuna (*Thunnus alalunga*). PloS ONE 8 (4), e60577. doi: 10.1371/journal.pone.0060577.
- Quelle P., González F., Ruiz M., Valeiras X., Gutierrez O., Rodriguez-Marin E., Mejuto J. 2014. An approach to age and growth of South Atlantic swordfish. Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 70(4): 1927-1944.
- Saber S., Ortiz de Urbina J., Gillespie K., Poisson F., Coelho R., Rosa D., Puerto M.A., Macías D. 2020b. A preliminary analysis of the maturity of ICCAT swordfish stocks. Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT 77(3): 537-551.
- Schaefer K.M. 2001. Reproductive biology of tunas. In: Tuna: Physiology, Ecol