

## 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 de investigación 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. Los objetivos del programa son 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 colectiva e internacional. El Grupo de especies de pez espada ha asignado a esta tarea una elevada prioridad y abordará deficiencias críticas para el conocimiento de la dinámica de la población y de la ecología de los stocks. El programa, que se ha realizado en base a 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 (SWO SG) 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 estrategias de ordenación 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 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 Macias (Instituto Español de Oceanografía (IEO)); y genética (Dra. Olyana 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 tres 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 y 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. Se han utilizado marcas electrónicas para apoyar los estudios de movimiento y el uso del hábitat en regiones con datos limitados. La MSE del Atlántico norte, iniciada en 2018, está siendo llevada a cabo por un equipo técnico principal y un contratista externo. Está previsto que el Grupo de especies de pez espada entregue a la Comisión un conjunto final de CMP en 2023.

### Recogida y cobertura de muestras

En todas las fases de este programa, se han recogido 4.647 muestras de pesquerías de palangre, cubriendo 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. Los datos recopilados también incluyen datos sobre sexo, talla, ubicación y fecha de la captura de los peces. Un subconjunto de muestras incluye otolitos para la determinación de la edad o un trozo de gónada para el análisis reproductivo.

Se recopilaron muestras en varias de las principales zona de pesca en el Atlántico norte y sur y el Mediterráneo. El muestreo en las primeras fases del proyecto 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 son especialmente importantes para comprender la mezcla entre los stocks del Atlántico y del Mediterráneo. En fases posteriores del programa, se obtuvo un número significativo de muestras de la costa este de Estados Unidos. (zona de muestreo de istiofóridos 92); sin embargo, siguen existiendo 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.

Los muestreos en el Atlántico sur se realizaron entre los 5°N y los 6°S, 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 en las flotas pesqueras de aguas distantes. También es una presunta zona de mezcla para los stocks del Atlántico norte y del Atlántico sur. Además, se recogieron muestras en aguas de Brasil y en aguas de la costa de Sudáfrica y Namibia. La costa sur de Brasil y Uruguay, y que se extiende hacia el este a lo largo del paralelo 30°S, es una zona importante para la captura de pez espada, pero hasta ahora esta zona ha contribuido con un muestreo limitado a este programa.

Los muestreos en el Mediterráneo se realizaron en tres regiones: 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 los patrones espaciotemporales de la captura. Se necesitan más muestras en la región más occidental del Mediterráneo, en el mar de Alborán y al acercarse al estrecho de Gibraltar, donde se sospecha que hay mezcla entre los stocks del Atlántico norte y del Mediterráneo. También se requiere un muestreo adicional en el Mediterráneo oriental en los mares Jónico y Egeo.

### **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 y la 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, las gónadas no estaban disponibles para su evaluación, para el 13,5 % restante de las muestras, 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 exigen en la comunicación a ICCAT, por lo que resulta difícil evaluar en qué medida estos datos son representativos de la región. En todas las regiones, las hembras superan a los machos en la muestra. La diferencia más extrema en la proporción 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.*, 2020b). En total, se han recogido 2.434 muestras con datos sobre el sexo y la madurez macroscópica del pez espada del Atlántico norte y sur y del mar Mediterráneo, estos 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 (fase 1) o maduros (fases 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 (UE-España). El estado de 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 proporción 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 las secciones histológicas de ovarios examinadas mostraron que las hembras clasificadas microscópicamente como inmaduras a menudo se clasificaban incorrectamente como en desarrollo (fase 2, maduras) cuando se utilizaban los criterios macroscópicos. En 2023, se han procesado otras 42 muestras de Taipei Chino y 247 muestras de 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 macroscópica 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 de 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 carbono radiactivo, 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 3.535 muestras de espinas dorsales (1.396 machos, 1.774 hembras, 365 ejemplares de sexo indeterminado) en el Atlántico norte, sur y Mediterráneo. Se recogieron para este estudio un total de 1.352 muestras de otolitos (583 machos, 731 hembras, 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 lectura de la edad anual y 56 otolitos para la lectura de la edad diaria para el Atlántico norte. Para el Atlántico sur, se procesaron 979 espinas, 500 otolitos para la lectura de la edad anual y 11 otolitos para para la lectura de la edad diaria. Para el Mediterráneo, se han procesado 173 espinas, 44 otolitos para la lectura de la edad anual y 6 otolitos para la lectura de la edad diaria.

El seccionamiento de espinas y otolitos se realiza en los Servicios de determinación de la edad de los peces (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 hacen 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 estuviera 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 película 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 lecturas de la edad para el stock del Atlántico norte. Varios lectores leyeron tanto las espinas como los otolitos; se encontraron sesgos entre los lectores para ambas estructuras. La edad modal máxima en espinas era de siete años y que en otolitos era 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 (EPBR) y los 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.

Una nueva área del proyecto de determinación de la edad y crecimiento SWOYP en 2023 fue la validación de la edad mediante análisis del carbono radioactivo. 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 carbono radioactivo ( $^{14}\text{C}$ ). Las mejoras tecnológicas, unidas a los conocimientos sobre la propagación de la señal  $^{14}\text{C}$  en los ecosistemas acuáticos, permiten ahora resolver los problemas de estimación de la edad en peces que plantean dificultades y, en concreto, en peces pelágicos de crecimiento rápido recogidos recientemente.

Se seleccionaron otolitos de pez espada cuya edad se había determinado entre los ejemplares archivados en el SWOYP (IPMA) y en la National Oceanic and Atmospheric Administration - Southeast Fisheries Science Center (NOAA-SEFSC) C que incluyen las colecciones reunidas en las décadas de 1980 y 1990 hasta las décadas de 2010 y 2020. De más de 1000 otolitos archivados en el marco del SWOYP (IPMA), se seleccionaron una serie de tallas y edades de pez espada para un análisis de la masa de los otolitos como posible aproximación de la edad que podría dilucidar las edades máximas. Esto permitió obtener 30 ejemplares de pez espada que tenían ambos otolitos sagitales (uno para el que se había determinado la edad y otro para el que se tenía que determinar y otro intacto para el análisis de  $^{14}\text{C}$ ). Estos ejemplares cubrían un rango de tallas de 88-258 cm de LJFL con masas de otolitos de 0,234-4,267 mg. Las selecciones se centraron en los años de recolección 2018-2019 para cubrir el máximo de tallas disponibles y para aprovechar al máximo el declive del  $^{14}\text{C}$  posterior al pico. Los peces jóvenes a viejos de un período de recogida corto (1-2 años) trazarían progresivamente niveles de  $^{14}\text{C}$  más elevados a medida que los años de eclosión calculados (derivados de la lectura de la edad de los otolitos) se remontan hacia atrás en el tiempo, hacia el pico de  $^{14}\text{C}$ . Por lo tanto, la tasa de cambio del  $^{14}\text{C}$  registrada en el núcleo del otolito de peces para los que se había determinado la edad coincidiría con la tasa de cambio del  $^{14}\text{C}$  en el medio ambiente. Se prevé que este trabajo continúe en futuras fases del proyecto.

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

Los objetivos del estudio genético son a) secuenciar el genoma del pez espada e identificar marcadores genéticos para diferenciar los tres stocks, b) evaluar las líneas divisorias del stock y c) identificar las zonas de mezcla de los stocks.

El ensamblaje del genoma del pez espada se completó utilizando una estrategia de secuenciación que combinaba las tecnologías de Oxford Nanopore (MinION) e Illumina (NovaSeq 6000) siguiendo los análisis estándar en un flujo de trabajo bioinformático consolidado.

Al comparar el genoma del pez espada con el de otras 19 especies de peces, se identificó el porcentaje de genes específicos del pez espada y el porcentaje de genes compartidos. Se realizó un análisis de enriquecimiento de ontología génica (GOEA) sobre varios grupos ortólogos para destacar aquellos que participaron en procesos biológicos diferentes, funciones moleculares y componentes celulares. Por último, el nuevo genoma ensamblado se utilizó como referencia para guiar el análisis de ADN asociado a sitios de restricción de doble digestión (ddRAD). En consecuencia, la justificación de esta estrategia se basaba en: 1) los mejores desempeños (es decir, la precisión de la genotificación cuando se guía con un genoma de referencia, y 2) la escala más fina de resolución y el conjunto ampliado de cuestiones biológicas que pueden abordarse cuando se dispone de un genoma de referencia.

Se aplicó la tecnología de secuenciación de ADN asociada al sitio de restricción de doble digestión (ddRAD) para obtener más de 40.000 SNP para el análisis de las diferencias genéticas entre 672 muestras recogidas de los stocks del Atlántico norte, Atlántico sur y Mediterráneo. Se analizaron un total de 322 muestras del Atlántico norte, con 54 muestras de BIL92, 12 muestras de BIL93, 44 muestras de BIL94A, 182 muestras de BIL94B y 30 muestras de BIL94C. Se analizó un total de 105 muestras del Atlántico sur, con 11 de BIL96 y 94 de BIL97. Por último, también se analizaron 243 muestras del Mediterráneo, de las cuales 100 eran de las islas Baleares. Las muestras se seleccionaron de forma homogénea basándose no solo en la zona de captura, sino también en el sexo, la madurez de las gónadas, la talla/peso y el periodo de captura.

Para analizar la diferenciación genética entre muestras, se aplicaron algunos análisis estadísticos, lo que incluye el análisis de componentes principales (PCA), el análisis discriminante de componentes principales (DAPC), las distancias genéticas por pares (matriz de mapa de calor) y el cladograma NEIGHBOR-JOINING. Se calcularon los valores para el índice de fijación (FST), la heterocigosidad (tanto observada como esperada), la heterocigosidad observada relacionada con genes codificantes únicos, el coeficiente de consanguinidad (FIS) y la riqueza alélica (tanto media como total). La estructura genética se evaluó mediante la cuantificación de los conglomerados de frecuencia de alelos y su distribución entre las muestras. Se identificaron claramente dos poblaciones y surgieron pruebas considerables sobre la presencia de subpoblaciones dentro de las dos poblaciones a partir de las primeras 288 muestras analizadas. En 2022 se analizaron 672 muestras adicionales.

También en 2022, se completó un análisis de la secuenciación del genoma completo (WGS) en 30 muestras de cada stock para identificar un conjunto de SNP que puedan utilizarse para asignar una muestra desconocida a uno de los stocks y para identificar regiones específicas del sexo para asignar el sexo a una muestra desconocida.

El acoplamiento de los análisis de SNP y WGS con un ensamblaje del genoma mostró lo siguiente: 1) el stock del Mediterráneo está claramente diferenciado genéticamente de los dos stocks del Atlántico; 2) los stocks del Atlántico norte y sur se diferencian débilmente, y su diferenciación es detectable únicamente con pocas pruebas estadísticas; 3) el acoplamiento del análisis de SNP de todo el genoma con un ensamblaje del genoma de la riqueza alélica es el índice de diversidad genética óptimo para controlar estos stocks; 4) el stock del Mediterráneo está perdiendo la riqueza alélica de importantes genes asociados a la detoxificación, la respuesta inmunitaria, la captación de vitaminas y la señalización del metabolismo y la serotonina; 5) se encontró una zona de mezcla en el Atlántico nordeste para los tres stocks y la presencia de estos ejemplares debería considerarse cuando se controle la variabilidad genética en esta zona y 6) no se encontró ningún ejemplar perteneciente al stock del Atlántico norte en el mar Mediterráneo.

A partir de los trabajos que identificaron marcadores genéticos para la diferenciación de stocks, se analizaron 200 muestras en 2023. El trabajo genético previo del SWOYP ha identificado un área en el Atlántico nororiental como una zona de mezcla de stocks potencialmente importante. Las muestras

procedían de 150 peces espada capturados en la zona del Atlántico nororiental en la que se han muestreado los tres stocks (NA, SA y MD), además de 50 muestras procedentes de la zona MED. Estas nuevas muestras se analizarán y compararán con las muestras secuenciadas en fases anteriores del proyecto, utilizando un análisis genético adicional para establecer las "estadísticas F3". Este análisis estadístico representa una forma alternativa de medir las correlaciones de frecuencias alélicas y la relación entre los tres stocks (NA, SA y MD) para evaluar mejor si existe mezcla. La integración del análisis ya realizado mediante la técnica genética "Estructura" aportará un apoyo estadístico suplementario al análisis.

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 realizar un estudio piloto para evaluar la viabilidad de estas técnicas en el pez espada. Para desarrollar un estudio piloto sobre la determinación de la edad con técnicas epigenéticas, se identificaron 1.311 sitios CpG que presentaban niveles de metilación adecuados. Se determinó que estos lugares presentaban una correlación significativa con la edad de los peces en otros taxones de peces (por ejemplo, el pez cebra) y, por lo tanto, son prometedores para el análisis de la edad del pez espada que el SWOYP desea desarrollar. La disponibilidad de expertos en secuenciación del genoma completo en el SWOYP permitirá a este programa identificar los sitios CpG conservados relacionados con la determinación de la edad en los stocks de pez espada.

Este primer paso proporcionó al SWOYP un conjunto de datos de sitios CpG relacionados con la edad del pez espada que se utilizará para definir los relojes epigenéticos del pez espada mediante secuenciación bisulfítica de representación reducida (RRBS). En la próxima fase del proyecto SWOYP, diez peces espada de diferentes edades, previamente determinadas por análisis de otolitos y confirmadas por análisis de radiocarbono, serán analizados mediante RRBS.

## **Marcado**

Los objetivos del estudio de marcado de pez espada son 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. Se han adquirido 50 marcas financiadas por ICCAT desde 2018, cuando se implementó el programa de marcado. Hasta la fecha, se han colocado un total de 35 marcas miniPAT (12 marcas facilitadas por el NOAA) en el Atlántico norte (n = 19) y sur (n = 12) y en el mar Mediterráneo (n = 4). Además, se desplegaron 5 marcas X-Tag en el Atlántico norte. Los datos de 10 marcas, con días de colocación entre 67 y 240 días, muestran que el pez espada se desplazó en varias direcciones, recorriendo distancias considerables tanto en el océano Atlántico norte como en el sur, mientras que tuvo desplazamientos más cortos en el mar Mediterráneo. En cuanto al uso del hábitat vertical, el pez espada pasó la mayor parte del tiempo del día en aguas más profundas/frías, y permaneció más cerca de la superficie durante la noche, principalmente entre la superficie y los 50 metros de profundidad. Los esfuerzos para incluir en el análisis las marcas históricas desplegadas por NOAA y DFO comenzaron en 2023. Las actualizaciones de este trabajo se proporcionan regularmente al Grupo de especies de pez espada del SCRS, habiéndose presentado la última en Rosa *et al.* (2022). En 2023 se realizó una marea dedicada al marcado en el Atlántico nororiental. Desgraciadamente, esta marea no tuvo éxito. Aproximadamente 20 marcas electrónicas están disponibles para su despliegue en 2024.

## **Evaluación de la estrategia de ordenación en el Atlántico norte**

Está previsto que la Comisión adopte un procedimiento de ordenación en 2023.

Tras las revisiones menores de los valores de la matriz de OM en 2023, el equipo técnico consultó a la Subcomisión 4 de ICCAT sobre los elementos clave del marco MSE. La selección de un procedimiento de ordenación requiere la evaluación de los procedimientos de ordenación candidatos (CMP) en función de unos objetivos de ordenación predeterminados. El equipo técnico trabajó con la Subcomisión 4 para definir mejor la medición del desempeño, los valores de probabilidad aceptables para esos objetivos de ordenación y los intervalos de tiempo sobre los que deben calcularse esas probabilidades. Se desarrollaron varios CMP basados en modelos y empíricos, se ajustaron y, a continuación, se evaluó su desempeño. Se desarrollaron herramientas interactivas para mostrar la compensación de factores entre los distintos CMP. Una serie de reuniones de la Subcomisión 4, así como sesiones de comunicación con los embajadores, sentaron las bases para que los gestores y las partes interesadas comprendieran las incertidumbres de la

EMS y, a continuación, proporcionaran orientaciones al equipo técnico de la EMS sobre las prioridades de ordenación, así como las prioridades de las pruebas de robustez.

Basándose en las orientaciones de la Subcomisión 4, en septiembre de 2023, el equipo técnico de la MSE para NSW0 elaboró una lista restringida de CMP para que la Subcomisión considerase su adopción. Esta lista incluye una variedad de normas de control de la captura, cada una de las cuales abarca el espacio de compensación de factores del desempeño. Debe elaborarse un protocolo de circunstancias excepcionales en colaboración con la Subcomisión 4.

Este nuevo marco MSE supone un cambio importante en la forma en que el SCRS y la Comisión interactúan para la formulación del asesoramiento en materia de ordenación. Cabe esperar que la revisión de este proceso y de los supuestos utilizados para modelar la dinámica de las stocks se revise periódicamente. En 2023, la Subcomisión 4 y el equipo técnico elaboraron un calendario que define cuándo se utilizarán las evaluaciones de stock y otros controles para evaluar el desempeño de la MSE. Este proceso de colaboración entre científicos y gestores de ICCAT requerirá un compromiso continuado entre el SCRS y la Comisión en los próximos años.

### Gastos en 2022 y 2023

Los presupuestos totales en el marco de SWOYP en 2018, 2019, 2020 y 2021 ascendieron a 199.000 €, 373.700 €, 280.614 € y 343.480 €, respectivamente. Los gastos efectivos de ese periodo fueron 149.895 €, 312.434 €, 194.734 € y 292.134,47 €, respectivamente.

En 2022 y 2023, para llevar a cabo las principales actividades planificadas en el marco del SWOYP, el presupuesto total proporcionado por ICCAT ascendió a 170.000 € y 250.000 €, respectivamente.

El fondo detallado disponible para SWOYP durante 2022 y 2023 y los respectivos gastos a 11 de septiembre de 2023 se detallan en la siguiente tabla.

Año	2022		2023	
	Presupuesto (€)	Gastos (€)	Presupuesto (€)	Gastos (€)
Componente				
Marcado	10.000	2.640,25	20.000	-
Estudios biológicos	15.000	6.000	5.000	-
Genética	70.000	28.000	80.000	-
Edad y crecimiento	45.000	18.000	25.000	-
Recogida y envío de muestras	10.000	4.462,43	5.000	-
MSE			100.000	45.000
Talleres	20.000	22.642,89	15.000	
<b>TOTAL</b>	<b>170.000</b>	<b>81.745,57</b>	<b>250.000</b>	<b>45.000</b>

### Actividades y plan para 2024

#### Muestreo

El enfoque del SWOYP ha cambiado significativamente hacia el análisis de muestras ya recopiladas por el programa, si bien el muestreo continuará en 2024, dirigido a las lagunas de muestreo espacial como, por ejemplo: el golfo de México, Caribe, estrecho de Gibraltar, el extremo del Mediterráneo oriental, el Atlántico norte medio, el sur de Brasil y la zona que se extiende al este del paralelo 30°S. Se invertirá un esfuerzo adicional en recopilar gónadas y otolitos ya que ha resultado más difícil adquirir dichos materiales. Además, se recopilarán pares de otolitos-espinas en peces de mayor tamaño para respaldar la modelación de la curva de crecimiento. 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 2024 con el procesamiento y las imágenes de gónadas. En 2024, un taller sobre reproducción, edad, crecimiento y genética se centrará en crear un conjunto de referencia de imágenes histológicas y científicos de las CPC que participan en el estudio trabajarán en la estandarización de los métodos de determinación de la fase de madurez. 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 2024. Son necesarias muestras adicionales antes de que este trabajo pueda comenzar para el Atlántico sur. Los trabajos preliminares comenzarán en 2024 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 2024: continuación de lecturas de edad procedentes de espinas y otolitos, modelación de crecimiento y validación de la edad mediante análisis por carbono radiactivo. Un equipo principal de lectores de edad ha preparado un conjunto de referencia de espinas de aleta y otolitos y ha llevado a cabo 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 carbono radioactivo, iniciado en 2023, continuará. Este análisis permitirá la validación de las lecturas de edad y respaldará el trabajo de la determinación de la edad mediante técnicas epigenéticas.

### ***Genética***

El trabajo de genética en 2024 continuará con el análisis de la población de 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 carbono radiactivo. Se prevé que este trabajo prosiga en 2024.

### ***Marcado***

El trabajo de marcado continuará en 2024 con la colocación de marcas ya disponibles. 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 de especies del pez espada.

### ***Evaluación de la estrategia de ordenación***

El Grupo de especies de pez espada (SWO SG) tiene previsto proporcionar a la Comisión un conjunto final de CMP a finales de 2023 para que se utilicen en el asesoramiento de ordenación de 2024. En 2024, el trabajo continuará, sobre todo relacionado con el desarrollo del protocolo de circunstancias excepcionales y la continuación del desarrollo de las pruebas de robustez. El Grupo de especies también continuará realizando un estudio de simulación preliminar para examinar la idoneidad de la MSE en el stock del Atlántico sur.