

OBJETIVO A:

Determinar la biomasa de angula en el estuario del Oria, los impactos antropogénicos que sufre y realizar una propuesta para gestionar la pesquería de manera sostenible

Estibaliz Díaz (AZTI)

Maria Korta (AZTI)

Eider Andonegi (AZTI)

Aizkorri Aranburu (AZTI)

Javier Franco (AZTI)

Marina Santurtún (AZTI)

A.1 INTRODUCCIÓN

Existen numerosos modelos de dinámica de la población de anguila, desde modelos de gran escala (Dekker, 2000b) hasta modelos puramente teóricos (Lambert y Rochard, 2007) o modelos basados en casos específicos como Arahamian *et al.*, (2007) y Becvaqua *et al.*, (2007) por citar aquellos modelos que utilizan el estadio de angula en sus cálculos. Sin embargo, ninguno de estos modelos estima el impacto antropogénico sobre la angula. El modelo GEMAC (*Glass Eel Model to Assess Compliance*; Beaulaton y Briand, 2007) se desarrolló para llenar este hueco dentro del esfuerzo por modelar la población de la anguila teniendo en cuenta sus diferentes estadios de vida.

En este sentido, el modelo GEMAC se ha desarrollado con el objetivo de determinar el número de angulas que se asientan en el estuario y evaluar los impactos antropogénicos que sufre en el mismo. La anguila comienza a sufrir los primeros impactos antrópicos ya desde su entrada en los estuarios de las cuencas europeas en la fase angula. El modelo permite calcular la proporción de angulas asentadas actualmente y la que hubiera existido en una situación actual en ausencia de impacto antropogénico e incluso con un reclutamiento prístino, por lo que su aplicación resulta de gran interés a la hora de cumplir con los requerimientos de los planes de recuperación de la anguila. Además, el modelo permite simular escenarios de gestión y evaluar el efecto que las medidas de gestión pueden tener sobre la población para contribuir a la recuperación del stock (Beaulaton y Briand 2007).

Este modelo ha sido aplicado hasta el momento en las cuencas de la Villaine y el Loira; siendo la primera una cuenca muy dañada con una alta presión pesquera, y la segunda una cuenca que aunque con moderada pesquería sufre un bombeo significativo por parte de una planta nuclear. La cuenca del Oria debido a sus características (ver introducción general), y a la información que se dispone, hacen que sea posible la aplicación del modelo GEMAC.

A.2 MATERIAL Y MÉTODOS

Pescas Experimentales

Para poder realizar una estima del reclutamiento en el estuario, se vienen realizando una serie de pescas experimentales con cedazo en el río Oria en dos zonas diferenciadas, desde la temporada de 2005-2006, y que se han continuado durante esta última temporada 2011-2012. El protocolo de las pescas se detalla en el ANEXO A.1.

El reclutamiento se ha estimado relacionando la densidad de angula de las pescas experimentales con las CPUEs (capturas por unidad de esfuerzo) medias obtenidas por los pescadores de embarcación para ese mismo día.

Se han analizado más de 3000 angulas durante el periodo 2005-2011 (Tabla A.1); con las cuales, se ha estudiado la variabilidad de la densidad de angulas dependiendo de la fase lunar y de los puntos de muestreo respectivamente.

Tabla A.1. Número de muestreos y angulas utilizadas en la implementación del modelo GEMAC.

Temporada	Muestreos			Angulas (individuos)		
	Punto de muestreo			Punto de muestreo		
	P. Bocana	P. Superior	Total	P. Bocana	P. Superior	Total
2005-2006	10	8	18	416	668	1084
2006-2007	9	9	18	157	327	484
2007-2008	7	6	13	182	183	365
2009-2010	5	5	10	216	346	562
2010-2011	5	4	9	179	132	311
2011-2012	5	4	9	235	205	440
Total	41	36	77	1385	1861	3246

Las angulas se van pigmentando a medida que pasan los días en el estuario; por tanto, el nivel de pigmentación es indicador del tiempo que las anguilas han permanecido en el estuario. Así, para estudiar las variaciones espacio-temporales de las angulas dentro del estuario se han estudiado sus estadios de pigmentación. Para simplificar el análisis estadístico los niveles de pigmentación se han agrupado en tempranos (VB) y avanzados (VIA, VIB y VII) (ver ANEXO A.1).

Muestreo de paso en migración ascendente

El muestreo se realiza en un paso específico para anguilas en la presa de Orbeldi (Usurbil, Gipuzkoa) a 15 km aguas arriba de la desembocadura del río Oria donde se determina el reclutamiento fluvial. Esta trampa se ha muestreado en colaboración con la Diputación de Gipuzkoa 4 días por semana y en general durante los meses de verano, ya que la migración de las anguilas desde el estuario al río comienza a mediados de mayo y se alarga hasta mediados de octubre. En el paso se contabilizan, miden y pesan las anguilas capturadas de menos y más de un año por separado. Así mismo, se realiza el mantenimiento del paso. El protocolo de muestreo de la trampa se adjunta en el ANEXO A.2.

Desde que se instaló la trampa en el 2005 el número de individuos ha aumentado en general aunque la migración en toda la temporada es muy irregular, produciéndose picos de valores significativos de más de 1.000 individuos en un día concreto (como se puede observar en la Tabla A.2 de la sección de resultados). Son individuos en su mayoría de tallas inferiores a 15 cm, es decir, individuos que han pasado menos de un año en el río.

Este reclutamiento no representa el reclutamiento fluvial total de la cuenca, ya que algunas anguilas consiguen subir por la presa o evitarla lateralmente y no entran en el paso. No obstante, se considera que la mayoría de las anguilas migran mediante el paso, por lo que se admite como indicador del reclutamiento fluvial.

Implementación del modelo GEMAC

El modelo GEMAC es un modelo con estructura espacial basado en procesos biológicos que se puede aplicar a una escala de tiempo diaria. Sus principios son similares a otros modelos basados en procesos como SMEP (Arahamian *et al.*, 2007) y Globang (Lambert y Rochar, 2007).

El modelo simula la dinámica poblacional de un lote de angulas reclutadas en el estuario un determinado día y cómo la mortalidad natural, la mortalidad por pesca, la migración y el asentamiento afectan a éste. El resultado principal del modelo es el porcentaje de angula que se asienta, esto es que escapa a los impactos antropogénicos, en la situación actual con referencia a una situación teórica prístina donde los impactos antropogénicos fueran cero y a un valor de reclutamiento históricamente más alto.

El porcentaje de asentamiento respecto al reclutamiento puede relacionarse con el %SPR (*spawner per recruit* - porcentaje de hembras desovantes por recluta), que representa la proporción actual de plateadas que produce una cuenca en condiciones de ausencia de impactos y en consecuencia, su escape potencial de las anguilas plateadas al mar.

Calibración:

Los procesos de los que se nutre GEMAC, 6 en total, son estimados mediante referencias externas, o calibrados mediante la optimización del modelo:

1. Reclutamiento diario

El primer paso en el modelo es la simulación del reclutamiento diario. El reclutamiento diario es calculado mediante las variaciones mensuales en el reclutamiento y según los factores medio ambientales locales como la marea y la corriente fluvial. Los datos se obtienen a través de las pescas experimentales.

2. Pigmentación

Desde que entra en el estuario la angula se va pigmentando siendo este proceso dependiente de las condiciones ambientales tales como la salinidad y la temperatura. Por tanto, la determinación del estadio pigmentario, junto con la medición de la temperatura y la salinidad, permite estimar el tiempo que la angula ha pasado en el estuario. En este estudio la clasificación se ha realizado siguiendo el protocolo de Elie *et al.*, (1982).. Este periodo de pigmentación es también la base para la calibración del proceso de asentamiento el cual comienza en los estadios VIA1 y que ocurre principalmente en los estadios VIA2 y VIA3 (Briand *et al.*, 2005). Los datos se obtienen a través de las pescas experimentales.

3. Asentamiento

Se refiere a que la angula adopta un comportamiento bético típico de la anguilla amarilla y se hace inaccesible a la pesquería. La angula se asienta en el estuario de acuerdo a su tiempo de pigmentación. El asentamiento de las anguilas se estima mediante el tiempo de pigmentación, que a su vez se calcula mediante los registros de temperatura y salinidad. La fase sedentaria, desde la angula asentada hasta la anguilla amarilla, se debe de tener en cuenta ya que puede ser una fase crítica. Los parámetros ambientales se obtienen durante las pescas experimentales y mediante las estaciones de aforo de la Diputación Foral de Gipuzkoa.

4. Migración

La angula migra aguas arriba en el estuario. La probabilidad de que una angula migre a una zona superior es inversamente proporcional a la largura de la zona y directamente proporcional a la velocidad de migración determinada empíricamente (Beaulaton y Castelnaud, 2005) o estimada por el modelo.

5. Mortalidad natural

Dado que no existen datos para la cuenca del Oria se utiliza una mortalidad natural media proveniente de la literatura (Beautalon y Briand, 2007) de 0.01.

6. Pesquería (filtración y volumen)

La tasa de filtración de la pesquería se calcula mediante la división entre el volumen filtrado por la pesquería y el volumen del área.

El volumen del área se calcula a partir de mediciones de profundidad cada 1m de orilla a orilla en los puntos de muestreo. El perfil resultante se integra junto con la altura de manera equivalente a cada momento de pesca para obtener el área de la sección del río. Esta área a su vez se multiplica con la distancia recorrida por el pescador durante ese determinado momento de pesca. El volumen filtrado por la pesquería es la suma de las áreas de los cedazos de superficie y profundidad multiplicados por la distancia recorrida por el pescador.

Implementación

Para el caso del Oria se dispone para cada una de las zonas diferenciadas:

- Resultados de los muestreos de angula llevados a cabo entre 2005 y 2011, con información referente a abundancia, pigmentación y parámetros ambientales (procesos 1, 2 y 3).
- Datos de un paso piscícola situado en el límite mareal del Oria, que ofrece información sobre el reclutamiento fluvial (proceso 1, índice de reclutamiento).
- Base de datos de la pesquería con datos de capturas y esfuerzo. Largura y área de la sección del río en los puntos de muestreo; así como la altura de marea (proceso 6).

A.3 RESULTADOS

Pescas Experimentales

En la desembocadura, a medida que la salinidad del fondo incrementa también aumenta la abundancia de angulas, coincidiendo la mayor densidad con el máximo de la corriente fluvial (Fig. A.1). El hecho de que la abundancia de angulas a profundidad sea mayor que en la superficie, indica que las angulas entran en el estuario del río Oria aprovechando el frente de la marea, tal y como se ha visto en los estuarios de Holanda y Francia respectivamente (Creutzberg, 1961; Elie, 1979; Gascuel, 1986).

En cambio, en el punto de aguas arriba la abundancia aumenta junto con la corriente, y antes que aumente la salinidad, sin diferenciarse significativamente las abundancias de superficie y de fondo. Esto indica que estas angulas no han entrado ese día con el frente de la marea sino que ya se encontraban en el estuario (Feunteun *et al.*, 2003), y que han aprovechado la fuerza de la corriente para subir en el estuario.

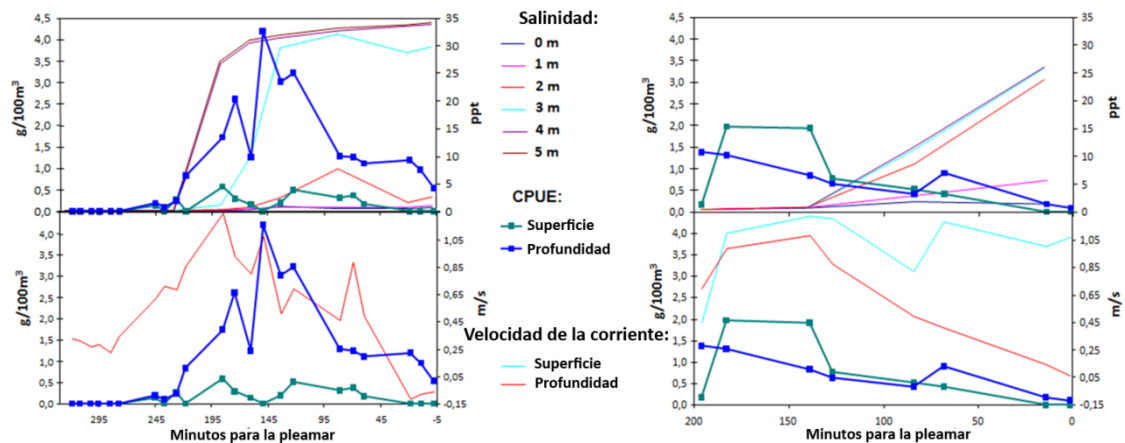


Figura A.1. Evolución de la captura de angulas a medida que sube la marea, y según la salinidad y la corriente en los puntos de bocana y superior.

La densidad de angula varía significativamente de mes a mes, sin seguir un patrón determinado; ya que los picos de densidad aparecen en distintos meses según el año (Fig.A.2). (ANOVA bocana: $F=1.53$, $p=0.2322$; punto superior: $F=1.11$, $p=0.3804$). Así mismo, el patrón espacial de distribución de densidades varía de año en año.

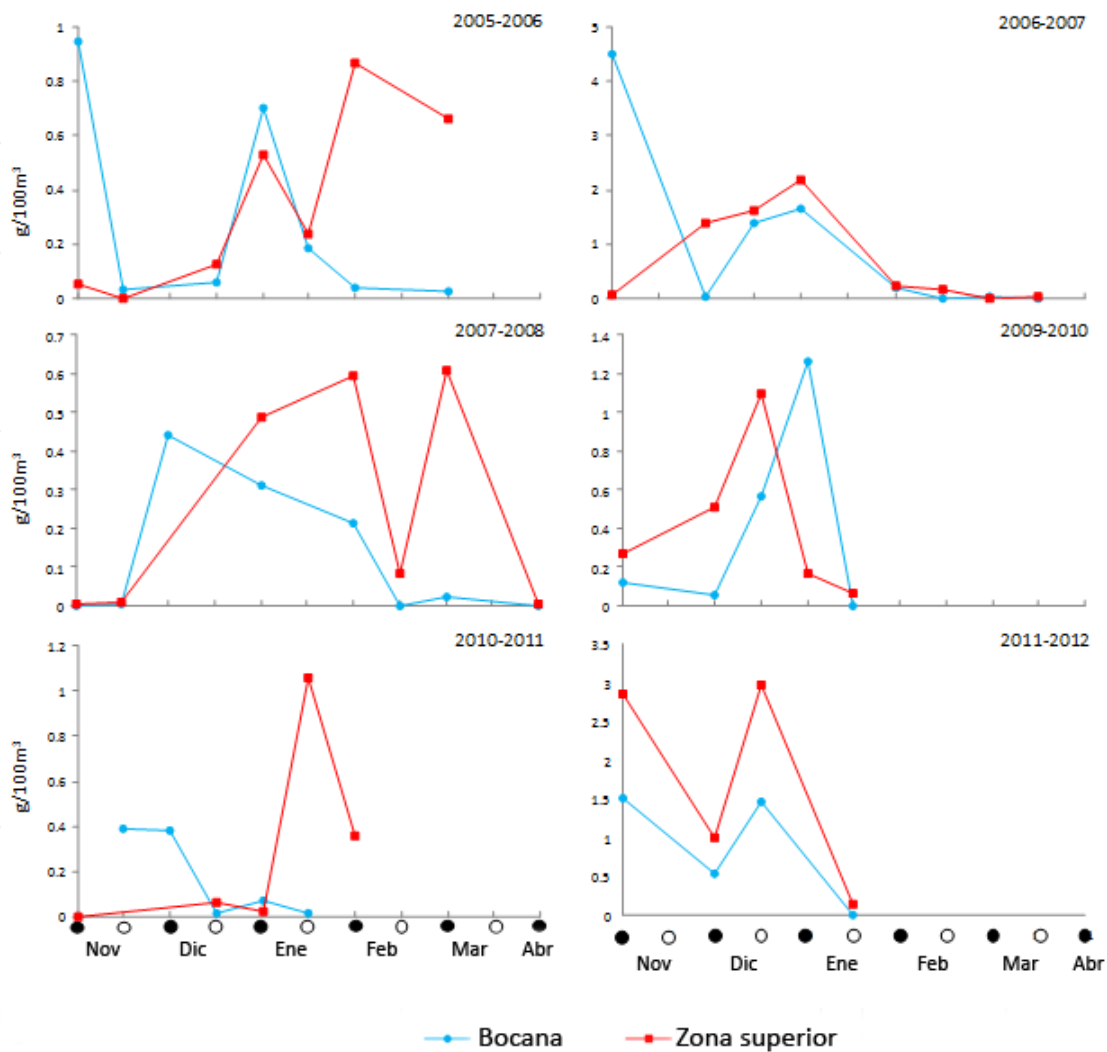


Figura A.2. Densidades mensuales de angulas según la luna en cada una de las temporadas de pesca.

En la desembocadura los picos de densidad de angula se relacionan con la luna nueva (Fig.A.3). En el punto de arriba ocurre lo mismo con excepción de un mes en 2009, 2010 y 2011. Sin embargo únicamente en el punto de muestreo superior son significativas las diferencias de densidades respecto a la luna (ANOVA bocana: $F=0.14$, $p=0.7124$; punto superior: $F=5,34$, $p=0.0285$).

La migración de las angulas está relaciona con las mareas, y por consiguiente se han encontrado diferencias significativas con el cambio de luna. Sin embargo, estas diferencias se oscurecen debido a la interacción con la variabilidad interanual; ya que además de las mareas existen otros factores que condicionan la migración. Entre estos factores, los más importantes son: la temperatura, que

condiciona la migración según la latitud (Creutzberg, 1961; Tesch, 2003; Briand *et al.*, 2006), la turbidez del agua debido a la fototaxis negativa de las angulas (Tesch, 1980; Tesch, 1986), la corriente, la salinidad y la conductividad (Gascuel, 1986; Elie; Rochard, 1994; Ciccotti *et al.*, 1995; White y Knights, 1997; Jellyman y Lambert, 2003), así como los cambios oceánicos a nivel de corrientes y producción primaria (Arribas, 2009).

En general, el estadio de pigmentación VB es el más abundante en ambos puntos de muestreo (Fig.A.3). Sin embargo en el punto superior se encuentran porcentajes mayores de estadios de pigmentación más avanzados (ANOVA: $F=16.23$, $p=0.002$). Esto, subraya la idea que las angulas aprovechan la fuerza de la corriente para subir en el estuario, lo que se denomina transporte selectivo respecto a la marea (Dou y Tsukamoto, 2003; Tesch, 2003). Con la pleamar, las angulas se mueven por debajo de la haloclina y se distribuyen en toda la columna cuando no está estratificada. En bajamar, en cambio, se entierran en el sustrato para evitar ser arrastradas por la corriente vaciante (McCleave y Klecner, 1982).

A medida que la temporada avanza se encuentran estadios de pigmentación más avanzados en ambos puntos de muestreo. Sin embargo, las variaciones mensuales en los estadios de pigmentación son sólo significativas en el punto de muestreo superior (ANOVA bocana: $F=0.91$, $p=0.4506$; punto superior: $F=3.10$, $p=0.277$). Ello indica que la población en este punto está envejeciendo, y en consecuencia, las angulas se asientan tanto en la desembocadura como en la parte superior del estuario. De hecho, no todas las angulas tienden a colonizar el río y se quedan en el estuario hasta convertirse en plateadas (Briand *et al.*, 2006)

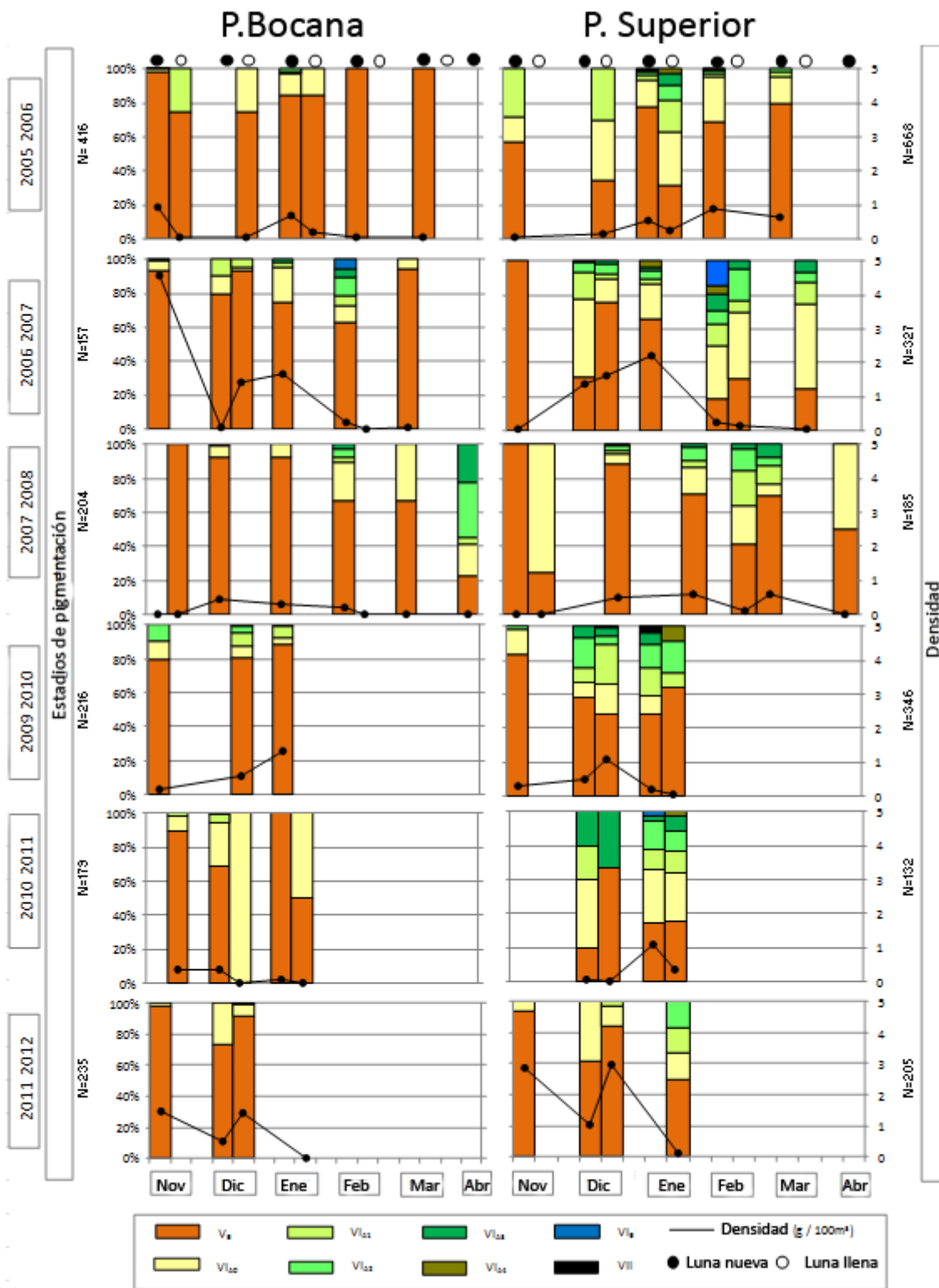


Figura A.3. Porcentajes de los estadios de pigmentación en los dos puntos de muestreo y dependiendo de la fase lunar, en cada temporada de pesca.

La ausencia de un patrón fijo espacio-temporal en el comportamiento de las anguilas en el estuario del río Oria puede deberse a que se hayan tenido en cuenta los factores secundarios antes mencionados.

Muestreo de paso en migración ascendente

Durante el periodo de migración ascendente (entre mayo y octubre), en el año 2011 han pasado un total de 11.466 anguilas por la trampa de Orbeldi, lo que indica un aumento considerable en el número de anguilas respecto al años anteriores (Fig. A.4).

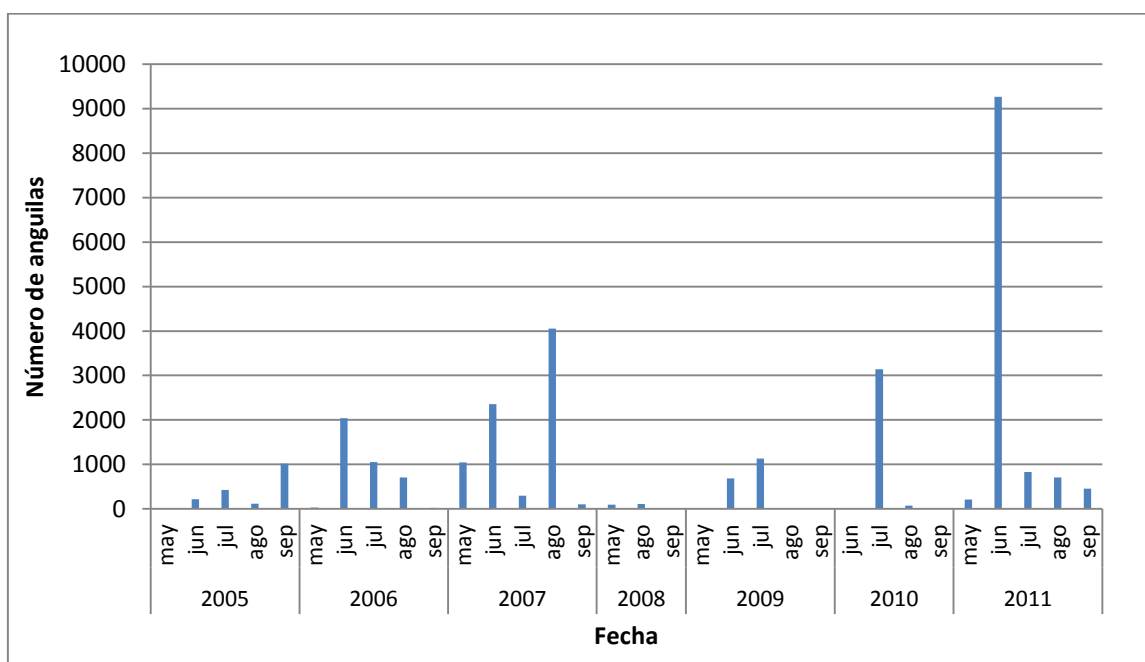


Figura A.4. Entrada de anguilas en la trampa de Orbeldi durante los últimos años agrupados por meses.

Incluso durante esta última temporada se ha registrado la entrada del mayor número de anguilas en un único episodio (Tabla A.2).

Tabla 3. Número total de anguilas que han entrado en la trampa de Orbeldi anualmente y episodios donde el número de anguilas ha superado los 1.000 ejemplares.

Año	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Número de anguilas	2656	3868	8957	233	1823	3244	11466

Aplicación del Modelo GEMAC

Para la calibración del modelo GEMAC con los datos del estuario del Oria, se han introducido los datos de capturas y CPUEs para el periodo 2002-2010 (Fig. A.5 y A.6) y los de los muestreos experimentales de la temporada 2007-2008 (Fig. A.7).

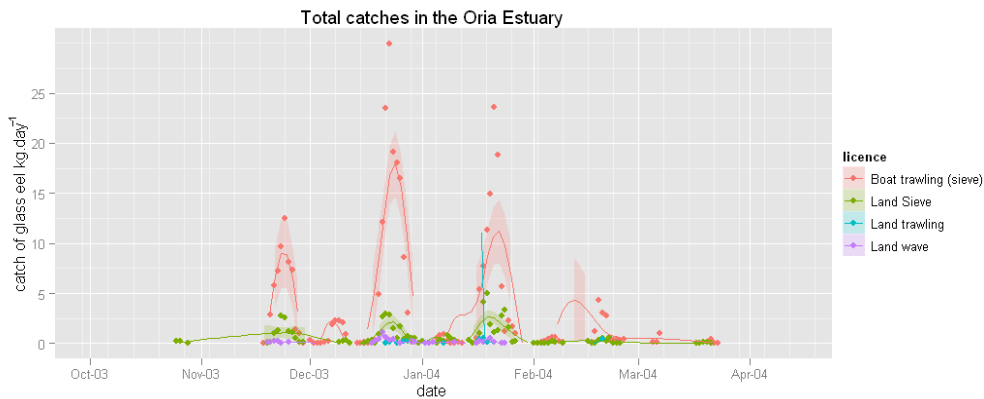


Figura A.5. Capturas totales por modalidad de pesca en el estuario del Oria.

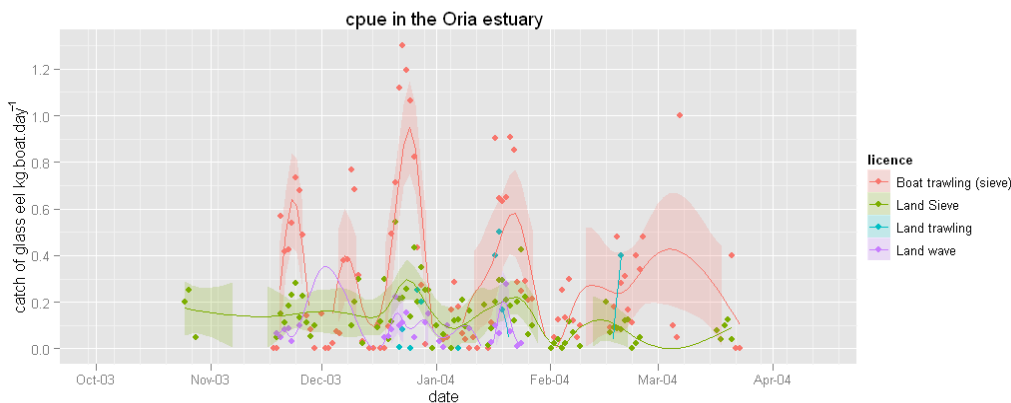


Figura A.6. CPUEs por modalidad de pesca en el estuario del Oria.

El ajuste entre la estima de capturas observadas y las modeladas por GEMAC es bueno (Fig. A.7). Sin embargo, esta primera calibración ha servido para detectar algunos problemas de calibración: así, se ha observado que la población asentada observada es notablemente inferior a la modelada (Fig. A.7). Tras consultarlo con los desarrolladores del modelo se ha llegado a la conclusión de que va a ser necesario realizar una serie de modificaciones al modelo GEMAC para que se pueda aplicar en el río Oria. El modelo, originalmente, considera que la densidad de anguila es similar en todo el estuario. Sin embargo, tal como se ha descrito en el apartado anterior, la densidad y el comportamiento de la anguila en el estuario del

Oria, es diferente en los dos puntos de muestreo. De esta manera, va a ser necesario compartimentar el modelo para que tenga en cuenta las dos zonas; lo que requiere realizar modificaciones en la programación del mismo. De esta manera, **no ha sido posible realizar la simulación de las medidas pesqueras y la propuesta de gestión de la pesquería.**

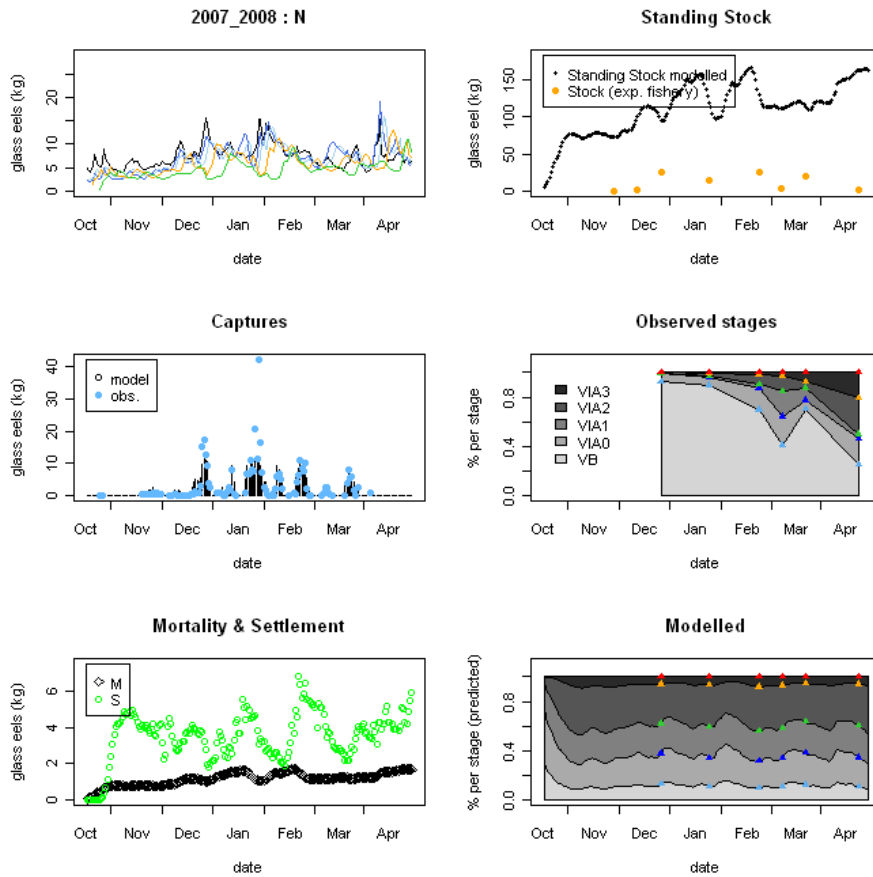


Figura A7. Resultados de la implementación del modelo GEMAC.

A.4 CONCLUSIONES

- El hecho de que la abundancia de angulas a profundidad sea mayor que en la superficie, indica que las angulas entran en el estuario del río Oria aprovechando el frente de la marea.
- La densidad de angula varía significativamente de mes a mes, sin seguir un patrón determinado; ya que los picos de densidad aparecen en distintos meses según el año y lo mismo sucede con el patrón espacial de distribución de densidades que varía de año en año.

-
- La migración de las angulas está relacionada con las mareas, y por consiguiente se han encontrado diferencias significativas con el cambio de luna. Sin embargo, estas diferencias se oscurecen debido a la interacción con la variabilidad interanual; ya que además de las mareas existen otros factores que condicionan la migración.
 - Las angulas aprovechan la fuerza de la corriente para subir en el estuario, lo que se denomina transporte selectivo respecto a la marea
 - Las angulas se asientan tanto en la desembocadura como en la parte superior del estuario.
 - Durante el periodo de migración ascendente (entre mayo y octubre), en el año 2011 pasaron un total de 11.466 anguilas por la trampa de Orbeldi,
 - El ajuste entre la estima de capturas observadas y las modeladas por GEMAC es bueno. Sin embargo, se ha observado que la población asentada observada es notablemente inferior a la modelada.
 - De esta manera, va a ser necesario compartimentar el modelo para que tenga en cuenta las dos zonas; lo que requiere realizar modificaciones en la programación del mismo. De esta manera, no ha sido posible realizar la simulación de las medidas pesqueras y la propuesta de gestión de la pesquería.

