



Adrián Enríquez Loira
Tutor: Celestino García Arias

TRABAJO DE FIN DE GRADO

**USO DE MODELOS BASADOS EN AGENTES EN EL DISEÑO DE
POLÍTICAS PÚBLICAS. LA PESCA DE LA SARDINA COMO MODELO
ILUSTRATIVO**

**EMPREGO DE MODELOS BASEADOS EN AXENTES NO DESEÑO DE
POLÍTICAS PÚBLICAS. A PESCA DA SARDIÑA COMA MODELO
ILUSTRATIVO**

**AGENT BASED MODELS USAGE IN PUBLIC POLICY DESIGN. SARDIN'S
FISHING AS AN ILLUSTRATIVE MODEL**

Grado en Ciencia Política y de la Administración
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales

Santiago de Compostela
2022

Índice

Lista de acrónimos	6
Resumen	7
Abstract	7
Introducción	7
Revisión bibliográfica	8
1. Objetivo y patrones.	10
2. Entidades, Variables y Escalas.	10
Entidades	10
Variables	10
Escalas	11
3. Descripción general de los procesos y planificación.	11
1. El modelo se configura.	12
2. Se ejecuta el modelo.	13
4. Conceptos de diseño.	14
Principios fundamentales	14
Emergencia	14
Adaptación	14
Objetivos	15
Predicción	15
Percepción	15
Interacción	16
Aleatoriedad	16
Colectivos	16
Observación	17
5. Inicialización.	17
6. Input data.	22

7. Submodelos.	22
Submodelo 1	22
Puesta en marcha	22
Procedimientos de las sardinas	22
Procedimientos de los barcos	24
Reinicio de valores	26
Submodelo 2	28
Submodelo 3	28
Submodelo 4	28
Submodelo 5	29
Experimentos de simulación.	29
Calibración	29
Corroboración de resultados	30
Sensibilidad del modelo	30
Resultados	30
Experimento 1	30
Experimento 2	34
Experimento 3	50
Experimento 4	56
Experimento 5	77
Conclusiones	85
Conclusiones generales	85
Experimento 2. Política de cuotas	85
Experimento 3. Gravación fiscal	85
Experimento 4. Control de la producción de residuos contaminantes	86
Experimento 5. Subvenciones estatales	86
Veredicto	86
Límites del modelo	86
Anexo Documental	88
Bibliografía	89

Índice de cuadros

1	VARIABLES INCLUIDAS EN EL MODELO	11
2	Experimento 2: Resumen de regresión. VDs= Número de Sardinas, Número de Barcos, Beneficios Medios. VI = Cuota	35
3	Experimento 4: Resumen de regresión. VDs= Número de Sardinas, Beneficios Medios Barcos con modo-eco, Beneficios Medios Barcos más contaminantes, Promedio de alimento por parcela. VIs = Cuota, Control, Multa	57
4	Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Sardinas totales. Cuota = 6000	57
5	Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Sardinas totales. Cuota = 10000	58
6	Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Sardinas totales. Cuota = 15000	58
7	Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Beneficios medios barcos con modo-eco. Cuota = 6000	59
8	Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Beneficios medios barcos con modo-eco. Cuota = 10000	59
9	Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Beneficios medios barcos con modo-eco. Cuota = 15000	59
10	Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Beneficios medios barcos más contaminantes. Cuota = 6000	60
11	Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Beneficios medios barcos más contaminantes. Cuota = 10000	60
12	Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Beneficios medios barcos más contaminantes. Cuota = 15000	60
13	Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Promedio de alimento por parcela. Cuota = 6000	61
14	Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Promedio de alimento por parcela. Cuota = 10000	61
15	Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Promedio de alimento por parcela. Cuota = 15000	62
16	Experimento 5: Resumen de regresión. VDs= Número de Sardinas, Número de Barcos, Beneficios Medios. VIs = Cuota, Control, Multa	78

Índice de figuras

1	Espacio geográfico en el que se desarrolla la simulación	18
2	Aspecto de las sardinas	19
3	Aspecto de los barcos	20
4	Aspecto del modelo configurado y listo para comenzar la simulación	21
5	Aspecto del Submodelo 1 en ejecución	27
6	Submodelo 1: Evolución de la población de sardinas	31
7	Submodelo 1: Evolución del número de barcos	32

8	Submodelo 1: Evolución de los beneficios medios de los barcos	33
9	Submodelo 1: Evolución de la cantidad de alimento medio por parcela	34
10	“Submodelo 2: Rectas de regresión. VDs: Número de sardinas, Número de barcos, Beneficios medios. VI: Cuota”	35
11	Submodelo 2: Evolución de la población de sardinas. Cuota = 2	36
12	Submodelo 2: Evolución de la población de sardinas. Cuota = 4	37
13	Submodelo 2: Evolución de la población de sardinas. Cuota = 6	38
14	Submodelo 2: Evolución de la población de sardinas. Cuota = 8	39
15	Submodelo 2: Evolución de la población de sardinas. Cuota = 10	40
16	Submodelo 2: Evolución del número de barcos. Cuota = 2	41
17	Submodelo 2: Evolución del número de barcos. Cuota = 4	42
18	Submodelo 2: Evolución del número de barcos. Cuota = 6	43
19	Submodelo 2: Evolución del número de barcos. Cuota = 8	44
20	Submodelo 2: Evolución del número de barcos. Cuota = 10	45
21	Submodelo 2: Evolución de los beneficios medios. Cuota = 2	46
22	Submodelo 2: Evolución de los beneficios medios. Cuota = 4	47
23	Submodelo 2: Evolución de los beneficios medios. Cuota = 6	48
24	Submodelo 2: Evolución de los beneficios medios. Cuota = 8	49
25	Submodelo 2: Evolución de los beneficios medios. Cuota = 10	50
26	Submodelo 3: Evolución de la población de sardinas. Impuestos Sardinas = 25 , Impuestos Xoubiñas = 50	51
27	Submodelo 3: Evolución de la población de sardinas. Impuestos Sardinas = 10 , Impuestos Xoubiñas = 30	52
28	Submodelo 3: Evolución del número de barcos. Impuestos Sardinas = 25, Impuestos Xoubiñas = 50	53
29	Submodelo 3: Evolución del número de barcos. Impuestos Sardinas = 10, Impuestos Xoubiñas = 30	54
30	Submodelo 3: Evolución de los beneficios medios de los barcos. Impuestos Sardinas = 25, Impuestos Xoubiñas = 50	55
31	Submodelo 3: Evolución de los beneficios medios de los barcos. Impuestos Sardinas = 10, Impuestos Xoubiñas = 30	56
32	Predicciones condicionales ajustadas. VD: Número de Sardinas. Variables regresoras: Cuota, Control, Multa	58
33	Predicciones condicionales ajustadas. VD: Beneficios medios de los barcos con modo eco. Variables regresoras: Cuota, Control, Multa	59
34	Predicciones condicionales ajustadas. VD: Beneficios medios de los barcos más contaminantes. Variables regresoras: Cuota, Control, Multa	61
35	Predicciones condicionales ajustadas. VD: Promedio de porciones de alimento por parcela de agua. Variables regresoras: Cuota, Control, Multa	62
36	Submodelo 4: Evolución población de sardinas. Cuota = 6000, Control = 95%, Multa = 10000	63

37	Submodelo 4: Evolución población de sardinas. Cuota = 15000, Control = 50%, Multa = 2000	64
38	Submodelo 4: Evolución beneficios medios barcos con modo eco. Cuota = 6000, Control = 75%, Multa = 8000	65
39	Submodelo 4: Evolución beneficios medios barcos con modo eco. Cuota = 15000, Control = 95%, Multa = 8000	66
40	Submodelo 4: Evolución beneficios medios barcos con modo eco. Cuota = 15000, Control = 50%, Multa = 2000	67
41	Submodelo 4: Evolución beneficios medios barcos más contaminantes. Cuota = 15000, Control = 50%, Multa = 2000	68
42	Submodelo 4: Evolución beneficios medios barcos más contaminantes. Cuota = 10000, Control = 75%, Multa = 6000	69
43	Submodelo 4: Evolución número de barcos más contaminantes. Cuota = 15000, Control = 50%, Multa = 2000	70
44	Submodelo 4: Evolución número de barcos más contaminantes. Cuota = 10000, Control = 75%, Multa = 6000	71
45	Submodelo 4: Evolución número barcos con modo eco. Cuota = 6000, Control = 75%, Multa = 8000	72
46	Submodelo 4: Evolución número barcos con modo eco. Cuota = 15000, Control = 95%, Multa = 8000	73
47	Submodelo 4: Evolución número barcos con modo eco. Cuota = 15000, Control = 50%, Multa = 2000	74
48	Submodelo 4. Evolución alimento medio por parcela. Cuota = 6000, Control = 95, Multa = 10000	75
49	Submodelo 4. Evolución alimento medio por parcela. Cuota = 15000, Control = 50, Multa = 2000	76
50	Submodelo 4. Evolución alimento medio por parcela. Cuota = 10000, Control = 75, Multa = 4000	77
51	“Submodelo 2: Rectas de regresión. VDs: Número de sardinas, Número de barcos, Beneficios medios. VI: Subvención”	78
52	Submodelo 5: Evolución población de sardinas. Subvención = 2000	79
53	Submodelo 5: Evolución población de sardinas. Subvención = 10000	80
54	Submodelo 5: Evolución población de sardinas. Subvención = 6000	81
55	Submodelo 5: Evolución del número de barcos. Subvención = 2000	82
56	Submodelo 5: Evolución del número de barcos. Subvención = 10000	83
57	Submodelo 5: Evolución beneficios medios. Subvención = 2000	84
58	Submodelo 5: Evolución beneficios medios. Subvención = 10000	85

Lista de acrónimos

- **ABM/ABMs** : Agent Based Model/Models. Modelo/Modelos Basados en Agentes.
- **SES** : Social-Ecological Systems.
- **VD/VDs** : Variable Dependiente / Variables Dependientes.
- **VI/VIs** : Variable Independiente / Variables Independientes.
- **AME** : Average Marginal Effect. Efecto Marginal Medio.

Resumen

En este trabajo se explora la posibilidad de implementar Modelos Basados en Agentes (ABMs) en los procesos de toma de decisiones y de elaboración de políticas públicas. Para ello se emplea un modelo abstracto que simula la pesca de la sardina europea en la costa atlántica a modo de ilustración. Los ABMs son una herramienta muy común en las ciencias físicas y naturales que cada vez más se emplea en las ciencias sociales. Esto se debe a que permiten tratar con relativa sencillez la complejidad de los fenómenos sociales. Son, por ende, un método de investigación de uso conveniente para la ciencia política.

Abstract

This End-of-Degree Project explores the possibility of implementing some Agent-Based Models (ABMs) in policy making processes and public management. For this, an abstract model is used simulating how the European sardines are fished on the Atlantic coast for explanatory purposes. ABMs are usually used as a tool in both physical and natural sciences. But they have been greatly used in social sciences lately, due to the fact they allow dealing with the complexity of social phenomena quite easily. Therefore, they have become a suitable research method in political science.

Introducción

El empirismo en las ciencias sociales tradicionalmente sugiere emplear métodos basados en la inducción. Sin embargo, en su obra titulada *Generative Social Science. Studies in Agent-Based Computational Modeling* (2012) ; J.M.Epstein explica que los ABMs permiten desarrollar ciencia social generativa. La pregunta a la que se trata de dar respuesta es la siguiente:

¿Cómo pueden las interacciones locales independientes de actores autónomos y heterogéneos generar los fenómenos del día a día?

Así pues, los ABMs se constituyen como una herramienta idónea a la hora de desarrollar ciencias sociales.

Estos modelos están compuestos por un entorno y los agentes que lo conforman. Este entorno es el espacio virtual en el que se desarrollan las interacciones de los agentes y que cuenta con unas características propias dependiendo de lo que se quiera simular. Los agentes son cada uno de los actores que se encuentran en el modelo, cuya naturaleza puede ser diversa y heterogénea; así como el comportamiento de los mismos y las relaciones que establecen con el resto de agentes. Cada uno de los agentes es autónomo. Es decir, no hay una autoridad superior o un centro de control que indique a cada agente cómo actuar, sino que es la propia interacción de los agentes la que hace emerger las distintas estructuras sociales que influyen posteriormente en el comportamiento de estos. Esta interacción se desarrolla de forma local, entre los agentes más próximos (neighbors), que acaba formando comportamientos agregados. Además, los agentes pueden adaptar su comportamiento según los mecanismos que se hayan introducido a la hora de diseñar el modelo. Estos mecanismos pueden ser de imitación, de aprendizaje, de cálculo de utilidades marginales, de cálculo racional o racional-limitado, etc. Por esto, los ABMs se convierten en una herramienta capaz de representar un comportamiento con un alto grado de fidelidad con la realidad. Así pues, los modelos se programan para tratar de emular un determinado fenómeno social desde el individuo hasta el agregado (bottom-up)(Epstein & Axtell, 1996) por lo que es posible diferenciar cuáles son las condiciones necesarias y suficientes para que estos se produzcan. De este modo, no sólo son un método capaz de formalizar teorías, sino que también permiten contrastarlas con otras teorías en competición de forma rápida, sencilla y poco costosa. Es decir, permiten observar con facilidad cuál de las posibles explicaciones de un suceso es la que más se adecúa a la realidad y cuáles son los elementos indispensables para que este ocurra.

En ciencias sociales, los ABMs se han empleado numerosamente en materia de prevención de la delincuencia, exploración de formas de colaboración, reconstrucción de procesos evolutivos, epidemiología, ecología, etc. Relacionado con la ciencia política, son muy comunes los estudios que han empleado modelos computacionales

basados en agentes como forma de estudiar la gobernanza de los denominados Sistemas Socio-Ecológicos (SES) (Janssen & Ostrom, 2006). En este trabajo se emplea un modelo abstracto que trata de explorar las posibilidades de aplicar una serie de políticas públicas en una región pesquera para tratar de desarrollar un modelo de pesca sostenible que garantice la supervivencia de la especie y la solvencia económica de la actividad. La elección del problema se debe a que en la actualidad existe un conflicto entre los intereses de las empresas que tratan de maximizar sus beneficios derivados de la explotación pesquera de la sardina europea y la conservación de dicha especie. Esto se produce porque en los mercados se cotizan más las sardinas de menor edad y talla (xoubiñas) que las sardinas. Como es lógico, los productores tratan de capturar un mayor número de xoubiñas que de sardinas, ya que estas les reportan mayores ingresos monetarios, pero desgraciadamente las xoubiñas no tienen la edad suficiente como para poder reproducirse. Así pues, esta dualidad de intereses podría desembocar en una tragedia de los comunes (Baden & Noonan, 1998; Mansbridge, 2014; Ostrom, 1990; Schindler, 2012), con las consecuencias que esto podría acarrear en regiones cuya actividad económica es predominantemente pesquera como puede ser Galicia.

Con el modelo ya construido, se seleccionan una serie de configuraciones de parámetros que generan resultados en los que las funciones que representan la población de sardinas y los beneficios empresariales se mantienen estables en el tiempo. A partir de esos estadios, se da respuesta a las siguientes preguntas de investigación:

¿Qué sucede con las distintas funciones al aplicar una política de cuotas?

¿Qué sucede con las distintas funciones al aplicar sanciones por sobrepesca?

¿Qué sucede con las distintas funciones al aplicar sanciones por exceso de contaminación?

¿Qué sucede con las distintas funciones al gravar impositivamente la producción?

¿Qué sucede con las distintas funciones al subvencionar la pesca de sardinas adultas?

La descripción del modelo sigue el protocolo ODD para describir modelos basados en agentes e individuos, actualizado por Grimm et al. (2020).

Revisión bibliográfica

Son numerosas las investigaciones que han empleado ABMs en el estudio de lo que se denominan Social-Ecological Systems (SES) (Schulze et al., 2017). En palabras de Laura Rathe (2017), “Los sistemas socio-ecológicos son sistemas complejos adaptativos y evolutivos, en los que los componentes culturales, políticos, sociales, económicos, ecológicos, tecnológicos, y otros interactúan. Los sistemas socio-ecológicos enfatizan la perspectiva “los seres humanos en la naturaleza” en el que los ecosistemas se integran a la sociedad humana. Se componen de diferentes partes que interactúan para formar una entidad más compleja, la visión es integral porque no se centra en una comprensión detallada de las partes, sino en cómo los principales componentes contribuyen a la dinámica de todo el sistema. Partes de un SES responden a los cambios en otros componentes, a veces desencadenan retroalimentaciones que pueden amplificar cambios en todo el sistema o pueden tener un efecto estabilizador. A través de estas interacciones, los sistemas socio-ecológicos pueden organizarse (es decir, ajustarse a través de interacciones entre sus componentes), las configuraciones nuevas pueden surgir, y la adaptación puede hacerse posible. Esta característica de los sistemas socio-ecológicos integrados puede hacer que su gestión sea un reto, pero también crea oportunidades para recuperarse o reorganización tras una perturbación.” (Rathe, 2017).

Ostrom considera a los SES como sistemas adaptativos complejos donde los agentes sociales y biofísicos interactúan a múltiples escalas temporales y espaciales (Janssen & Ostrom, 2006). El autor explica que durante los últimos años, el modelo que se ha empleado para gobernar en estos SES ha seguido un paradigma de control top-down, y que esta perspectiva no siempre es la adecuada y puede derivar en uso no sostenible de los recursos (2006; Schindler, 2012).

Respecto al tema de la pesca en concreto, hay una extensa bibliografía sobre gestión de pesquerías. Partiendo de la premisa de que los recursos pesqueros son bienes de explotación común, su explotación debe ser responsable, para garantizar que no se produzca un agotamiento de los recursos pesqueros. Estas

investigaciones se realizan en el marco de la teoría del control óptimo en tiempo continuo (Cárdenes, 1996; Seijo et al., 1998). En palabras de José Luis Bonifaz F. y Ruy Lama C., “La teoría de control óptimo constituye una generalización del cálculo de variaciones(...). A diferencia del cálculo de variaciones, en el problema de control óptimo se incorpora tanto la variable de control como la variable de estado. Además, las dos variables se encuentran relacionadas mediante la ecuación de movimiento. El objetivo del control óptimo es determinar las trayectorias de las variables de control y estado que optimicen un funcional objetivo”(2013).

Es imprescindible, pues, mencionar el Modelo Bioeconómico de Gordon-Schaefer, empleado en el estudio de los recursos pesqueros para tratar el problema de la sobrepesca en pesquerías no reguladas. Este modelo se fundamenta en la aplicación de ecuaciones diferenciales para estimar el rendimiento de la actividad pesquera basándose en la relación inversa entre el crecimiento de las poblaciones de peces y el esfuerzo realizado en su captura(Lupin et al., 2014).

Para más información respecto a la teoría del control óptimo y gestión de pesquerías mediante modelos de ecuaciones diferenciales, consultar la obra de Lee G. Anderson Fisheries Economics, Volume 1 (2020).

El estudio de SES mediante ABMs permite incorporar la interacción de los actores, guiada por mecanismos de diferente índole (aprendizaje, cálculo de utilidad, aleatoriedad, etc). Así pues, se pueden explorar un gran horizonte de posibilidades mediante estas aproximaciones. Su uso es, pues, conveniente.

En políticas públicas, se han utilizado ABMs en numerosas ocasiones (Adelt et al., 2018; Bennett, 2008; Brown & Harding, 2002)... Según explican Gilbert et al., (2018), en la gobernanza hay dos grandes áreas en las que el empleo de simulación computacional es, no sólo interesante, sino que es conveniente. Estas son el diseño de políticas y su posterior evaluación.

En relación al diseño, los modelos pueden ser utilizados para comparar opciones de actuación, aislar factores explicativos, encontrar sinergias en las posibles intervenciones, etc. En relación a la evaluación de políticas públicas, la simulación basada en agentes permite crear grupos de control con suma facilidad, con los que evaluar el efecto de la introducción de una determinada medida. Además, estas simulaciones se pueden replicar una gran cantidad de veces, con ligeras variaciones en sus parámetros, con el objetivo de identificar y delimitar los outcomes de una actuación estatal.

La gran ventaja que los ABMs ofrecen respecto a otras herramientas es que permiten estudiar con sencillez la complejidad inherente a los fenómenos sociales, así como la emergencia de los mismos. Según García-Valdecasas Medina García-Valdecasas Medina (2011), “Un fenómeno complejo es aquel cuyo comportamiento no se puede determinar diseccionándolo en sus unidades constituyentes y analizando los comportamientos de dichas unidades aisladamente”. Usualmente, los fenómenos sociales no se pueden estudiar únicamente analizando el comportamiento de los actores que forman parte del mismo, y además hay una gran cantidad de procesos que ocurren simultáneamente y que son mutuamente influyentes, por lo que es complicado discernir a qué se debe la emergencia de estos a un nivel macro si no se emplean los métodos adecuados. Se entiende que la emergencia ocurre cuando las interacciones de los objetos en un nivel dan lugar a diferentes tipos de objetos en otro nivel” (Gilbert & Troitzsch, 2005). De este modo, los ABMs nos brindan la posibilidad de explorar las interacciones que suceden entre los individuos y estas macroestructuras emergentes.

Otra de las funciones de los modelos basados en agentes, especialmente de los modelos empíricos, es su capacidad de predicción. Es decir, los ABMs nos permiten predecir, aunque sea vagamente, cómo serán los escenarios posteriores de un fenómeno dadas unas determinadas condiciones previas. Obviamente, el alcance de estos es limitado y se tiene que garantizar que los resultados del modelo no se alcanzan únicamente empleando los valores y parámetros empleados en la simulación. O lo que es lo mismo, se debe garantizar la validez del modelo. De este modo, al construir un modelo empírico que reproduzca un determinado fenómeno con un alto grado de adecuación con la realidad se pueden extraer al menos aproximaciones de la evolución del mismo con el transcurso del tiempo.

Otro aspecto a destacar del empleo de ABMs es que estos permiten integrar el azar en las investigaciones, lo cual es algo muy interesante para las ciencias sociales en general, y para la ciencia política en concreto. Además, estos permiten aislar algunos procesos con la intención de corroborar que la alteración de determinados parámetros es de hecho la causante de las variaciones observadas en el entorno(García-Valdecasas Medina, 2011) . En el mundo real, hay multitud de elementos que tal vez puedan intervenir en

la producción de unos resultados concretos y que son muy difíciles de tener en cuenta en una investigación, por lo que tener la posibilidad de obviarlos en la simulación es sin duda beneficioso.

Finalmente, los ABMs ofrecen una gran ventaja respecto a otros métodos, que es la supresión de los posibles impedimentos éticos de experimentación. Al emplear entornos y actores virtuales, no hay ninguna población concreta que sufra los posibles efectos adversos de la investigación, ni hay cabida para ningún tipo de cuestionamiento moral sobre la conveniencia de los experimentos por esto mismo. Se trata al fin y al cabo de simulaciones teóricas (Epstein, 2012).

1. Objetivo y patrones.

El propósito de este modelo es describir el funcionamiento teórico de la pesca de la sardina europea en la costa atlántica. Para ello se crea una región pesquera en la que se introduce un número variable de barcos y de sardinas de distinta edad y valor monetario. El objetivo es explorar, de forma teórica, cómo la introducción de determinadas políticas públicas afecta a los distintos estados de explotación. Los patrones que se observan son simples y sirven para evaluar de forma general la sostenibilidad del modelo, observando el tamaño de las poblaciones de sardinas y el resultado monetario de explotación. Se entiende que el sistema es sostenible si este es estable y la actividad pesquera no implica la extinción de las sardinas, y a su vez, se obtienen beneficios económicos. Por el contrario, el sistema no será sostenible si se llega a la extinción de las sardinas, o si la actividad pesquera se convierte en deficitaria.

2. Entidades, Variables y Escalas.

Entidades

En el modelo se encuentran presentes las siguientes entidades: parcelas de color azul y verde, agentes representando barcos y sardinas y el entorno representando el ecosistema. Las parcelas azules y verdes son las unidades espaciales que delimitan el espacio geográfico en el que se desarrolla la simulación. Las parcelas de color verde actúan como espacios de tierra y las de color azul como espacios de agua. Sobre estas últimas se desplazarán los barcos y las sardinas. Los barcos tratarán de pescar a las sardinas mientras que estas intentan evadirlos al tiempo que realizan sus funciones vitales. El entorno u observador es el ecosistema en el que estos interactúan y que determina las reglas del juego.

Variables

Las variables incluidas en el modelo se muestran en el Cuadro 1.

Nombre de la variable	Tipo de variable y unidades	Rango	Significado
Politica-cuotas?	Boolean	Rango	Aplicación de una política pública que limite la cantidad máxima de sardinas que un barco pueden pescar en un periodo de un año
Cuota	Numérica, estática, ejemplar de sardina	0 : 10	Cantidad máxima de sardinas que los barcos pueden pescar
Sancion-contaminacion?	Boolean	true, false	Aplicación de una política pública que limite la cantidad máxima de contaminación que un barco puede producir en un periodo de un año
Cuota-contaminacion	Numérica, estática, residuo contaminante	0 : 20000	Cantidad máxima de contaminación que un barco puede producir
Control-contaminacion	Porcentaje, estática	0 : 100	Porcentaje de control que se ejerce para sancionar los excesos de contaminación
Multa-contaminacion	Numérica, estática, unidad monetaria	0 : 10000	Cantidad monetaria que un barco tendrá que añadir a sus costes en caso de que sea sancionado por generar demasiados residuos contaminantes
Politica-fiscal?	Boolean	true, false	Aplicación de una política pública que grave impositivamente la producción pesquera
Subvenciones?	Boolean	true, false	Aplicación de una política que subvencione a los barcos que prioricen la pesca de sardinas adultas sobre la de xoubiñas
Subvencion	Numérica, estática, unidad monetaria	0 : 10000	Cantidad monetaria que un barco tendrá que añadir a sus costes en caso de que sea subvencionado
Contador	Numérica, dinámica, día	0 : 365	Recuento de días transcurridos
Alimento	Numérica, dinámica, porción de alimento	0 : 50	Cantidad de alimento disponible en un parche
Contaminacion	Numérica, dinámica, residuo contaminante	0 : +∞	Cantidad de contaminación presente en un parche
Countdown	Numérica, dinámica, tick	0 : 30	Tiempo restante para que se reponga el alimento de un parche
Ingresos	Numérica, dinámica, unidad monetaria	0 : +∞	Cantidad monetaria que un barco obtiene de la pesca
Costes	Numérica, dinámica, unidad monetaria	0 : +∞	Cantidad monetaria que un barco deduce de la pesca
Beneficios	Numérica, dinámica, unidad monetaria	-∞ : +∞	Cantidad monetaria que un barco obtiene de la diferencia entre sus ingresos y sus costes
Capacidad-carga	Numérica, dinámica, unidad	0 : 20	Cantidad de sardinas que un barco puede almacenar
Velocidad-descarga	Numérica, dinámica, tick	0 : 10	Tiempo que a un barcos le toma descargar las sardinas
Presas	Conjunto de agentes, dinámica		Conjunto de sardinas que un barco identifica como presas
Nearest-presa	Conjunto de agentes, dinámica		Presa más cercana de un barco
Competitor	Conjunto de agentes, dinámica		Conjunto de barcos que un barco identifica como competidores
Nearest-competitor	Conjunto de agentes, dinámica		Competidor más cercano de un barco
Volumen-pesca	Numérica, dinámica, ejemplar de sardina	0 : +∞	Cantidad de sardinas pescadas por un barco
Impacto-medioambiental	Numérica, dinámica, residuo contaminante	0 : +∞	Cantidad de contaminación producida por un barco
Contador-sardinas	Numérica, dinámica, ejemplar de sardina adulta	0 : +∞	Cantidad de sardinas adultas pescadas por un barco
Contador-xoubiñas	Numérica, dinámica, ejemplar de xoubiña	0 : +∞	Cantidad de xoubiñas pescadas por un barco
Modo-eco	Boolean		Forma de producción menos contaminante
Color	Numérica, estática	0 : #FFFFFF	Código de color de un barco
Tiempo-transcurrido	Numérica, dinámica, día	0 : 365	Cantidad de días transcurridos contabilizados por un barco
Carga-impositiva	Numérica, dinámica, unidad monetaria	0 : +∞	Magnitud económica asociada a procesos fiscales que tiene un barco
Energy	Numérica, dinámica, unidad energética	0 : +∞	Cantidad de energía disponible con la que cuenta una sardina
Age	Numérica, dinámica, año	0 : 15	Edad de una sardina
Valor	Numérica, dinámica, unidad monetaria	0 : 500	Valor monetario de una sardina
Companeras	Conjunto de agentes, dinámica		Conjunto de sardinas que una sardina identifica como sus compañeras
Nearest-neighbor	Conjunto de agentes, dinámica		Compañera más cercana de una sardina
Predators	Conjunto de agentes, dinámica		Conjunto de barcos que una sardina identifica como sus depredadores
Nearest-Predator	Conjunto de agentes, dinámica		Depredador más cercano de un barco
Tiempo-transcurrido	Numérica, dinámica, día	0 : 365	Cantidad de días transcurridos contabilizados por una sardina
Carga-impositiva	Numérica, dinámica, unidad monetaria	0 : 50	Magnitud económica asociada a procesos fiscales que tiene una sardina

Cuadro 1: Variables incluidas en el modelo

Escalas

El modelo cuenta con una extensión espacial de 60x77 parcelas cuadradas que representa una región geográfica de la costa atlántica de una superficie de aproximadamente 11.000.000 km². Esta simulación no trata de replicar con fidelidad las características de la región seleccionada, sino que se ha elegido esa distribución de agua y tierra para simular de forma aproximada el funcionamiento de este tipo de sistemas. Este es un espacio toroide, los agentes que desaparecen por un extremo reaparecen en el extremo contrario. El modelo se ejecuta a una velocidad de 5 días transcurridos por cada tick hasta alcanzar un máximo de 10 años (730 ticks). Esta configuración se ha seleccionado con el objetivo de permitir a las sardinas completar su ciclo vital, al tiempo que se aplica una determinada política pública consecutivas veces en una misma población, sin necesidad de que la simulación se extienda por un tiempo excesivo.

3. Descripción general de los procesos y planificación.

El modelo está diseñado para reflejar el comportamiento de dos comunidades de agentes: barcos y sardinas. La simulación se ejecuta con intención de cubrir el ciclo de vida completo de las sardinas, al tiempo que los barcos tratan de capturarlas en un entorno dinámico. Las actividades principales que realizan las sardinas se concentran en 7 amplios procedimientos, y las de los barcos en 10. La secuencia de procesos es la siguiente:

1. El modelo se configura.

El entorno se ejecuta con la combinación de parámetros correspondientes al submodelo seleccionado y se actualizan las variables “Politica-cuotas?”, “Cuota”, “Duracion-cuota”, “Sancion-contaminacion?”, “Periodicidad-control-contaminacion”, “Cuota-contaminacion”, “Control-contaminacion”, “Politica-fiscal?”, “Subvenciones?” y “Subvencion”.

- **1.1.** Se configuran los parches.
 - **1.1.1.** Se crea una distribución de parches azules y verdes que representan zonas geográficas de agua y tierra respectivamente.
 - **1.1.2.** En los parches azules se actualizan las variables “alimento” y “countdown”. La variable alimento obtendrá un valor aleatorio comprendido entre los números 0 y el que determine el deslizador del parámetro “alimento-por-parcela”. La variable “countdown” obtendrá el valor que determine el deslizador del parámetro “tiempo-reparacion-alimento”.
- **1.2.** Se configuran las sardinas.
 - **1.2.1.** Se crea un número inicial de sardinas determinado por el deslizador del parámetro “numero-sardinas”.
 - **1.2.2.** Se les asigna un aspecto determinado. Su tamaño es de 0.7 unidades, su color es el blanco y su forma es la de un pez.
 - **1.2.3.** Se desplazan a alguno de los parches de color azul.
 - **1.2.4.** Se les asigna una edad al azar de entre 0 y 15 años, que se asigna a la variable “age”.
 - **1.2.5.** Se les asigna una energía inicial determinada por el deslizador del parámetro “energia-sardinas”.
 - **1.2.6.** Se les asigna un valor de 0 para la variable tiempo-transcurrido.
- **1.3.** Se configuran los barcos.
 - **1.3.1.** Se crea un número inicial de barcos determinado por el deslizador del parámetro “numero-barcos”.
 - **1.3.2.** Se les asigna un aspecto determinado. Su tamaño es de 3 unidades, su color es el rojo y la forma que tienen es la de un barco.
 - **1.3.3.** Se desplazan a alguno de los parches de color azul.
 - **1.3.4.** Se les asigna la propiedad modo-eco a aproximadamente la mitad de los barcos.
 - **1.3.5.** Se les asigna un valor para la variable “capacidad-carga” determinado por el deslizador del parámetro “capacidad”.
 - **1.3.6.** Se les asigna un valor para la variable “velocidad-descarga” determinado por el deslizador del parámetro “tiempo-descarga”.
 - **1.3.7.** Se les asigna un valor de 0 para la variable “volumen-pesca”.
 - **1.3.8.** Se les asigna un valor de 0 para la variable “tiempo-transcurrido”.
 - **1.3.9.** Se les asigna un valor de 0 para la variable “carga-impositiva”.
- **1.4.** Se resetean los ticks.

2. Se ejecuta el modelo.

- **2.1.** Se detiene la simulación en caso de que el número de ticks llegue a los 730.
- **2.2.** Se detiene la simulación en caso de que no quede ninguna sardina o ningún barco en el modelo.
- **2.3.** Se detiene la simulación en caso de que el valor del parámetro “valor-sardinas” sea superior al valor del parámetro “valor-xoubiñas”
- **2.4.** En caso de que se haya seleccionado el submodelo que simula la aplicación de una política fiscal, se detiene la simulación en caso de que el valor del parámetro “impuestos-exp-sardinas” sea mayor al valor del parámetro “impuestos-exp-xoubiñas”.
- **2.5.** Se pide a los barcos y a las sardinas que actualicen el valor de su variable “tiempo transcurrido”, añadiendo 5 unidades.
- **2.6.** Se pide a las sardinas que ejecuten sus procedimientos.
 - **2.6.1.** Se pide a las sardinas que se desplacen.
 - **2.6.2.** Se asigna un valor monetario a las sardinas.
 - **2.6.3.** Se pide a las sardinas que consuman alimento.
 - **2.6.4.** Se pide a las sardinas que se reproduzcan.
 - **2.6.5.** Se pide a las sardinas que crezcan.
 - **2.6.6.** Se pide a las sardinas que actualicen el valor de la variable “energy”. En caso de que el valor de la variable “age” sea mayor o igual a 2, estas restarán 2 unidades al valor de “energy”. En caso contrario, restarán 1 unidad.
 - **2.6.7.** Se pide a las sardinas que mueran en los siguientes casos:
- **2.7.** Se pide a los barcos que ejecuten sus procedimientos.
 - **2.7.1.** Se pide a los barcos que se desplacen.
 - **2.7.2.** Se pide a los barcos que pesquen sardinas.
 - **2.7.3.** Se pide a los barcos que descarguen las sardinas pescadas.
 - **2.7.4.** Se pide a los barcos que contaminen el agua.
 - **2.7.5.** Se pide a los barcos que calculen la contaminación producida.
 - **2.7.6.** Se pide a los barcos que actualicen el valor de la variable “costes”, añadiendo las unidades correspondientes al deslizador del parámetro “costes-explotacion”.
 - **2.7.7.** Se pide a los barcos que calculen el resultado en términos monetarios de la explotación pesquera.
 - **2.7.8.** Se pide a los barcos que quiebren.
 - **2.7.9.** Se pide a los barcos que se expandan.
 - **2.7.10.** Se pide a los barcos que reinicien su contador de pesca.
- **2.8.** Se pide a los parches que repongan el alimento.
- **2.9.** Se contabiliza un tick.
- **2.10.** Se actualiza el valor de la variable “contador”, añadiendo 5 unidades.
- **2.11.** Cuando el contador tiene un valor de 365, este se reinicia.

Estos procedimientos serán abordados en profundidad en los Capítulos 4 y 7, referentes a los conceptos de diseño y a los submodelos.

4. Conceptos de diseño.

Principios fundamentales

Este modelo se ha configurado con intención de simular la producción pesquera de sardina en una región geográfica teórica. En la mayoría de mercados, las sardinas de mayor talla de entre los grupos de menor edad son las más cotizadas (Ruiz Domínguez, 2019). Así pues, el problema fundamental de la presente investigación es el siguiente:

¿Puede la actividad pesquera de la sardina regulada única y exclusivamente bajo leyes de oferta y demanda conllevar una desaparición de la especie?

La hipótesis que se plantea sostiene que ya que los individuos más cotizados todavía no han alcanzado la edad de madurez, una sobreexplotación de estos podría provocar una extinción debido al nulo reemplazo generacional. Por esto, se explorará el efecto de la introducción de distintos tipos de políticas públicas en el sistema productivo, de forma que podrían ser utilizadas para prevenir una “Tragedia de los Comunes”. Existe una extensa literatura que ha abarcado el problema de las políticas públicas como mecanismo regulador en materia económica y medioambiental [Gilbert et al. (2018); Schulze et al. (2017); @] Este modelo se ha inspirado en dos famosos ABMs ampliamente explorados, que son el “Flocking Behavior” (Nathan & Barbosa, 2008; Wilensky, 1998) y el “Wolf Sheep Predation” (Wilensky & Reisman, 2006).

Tal y como ocurre en la realidad, en este modelo las sardinas realizan sus funciones vitales al tiempo que se alejan de sus depredadores que, en este caso, son los barcos. Simultáneamente, los barcos pescan las sardinas mientras se alejan lo máximo posible de sus competidores, que son el resto de barcos.

Las sardinas tratan de mantenerse vivas garantizando sus necesidades metabólicas y los barcos buscan su solvencia económica.

La aleatoriedad, conducida por procesos probabilísticos, tiene un papel muy relevante en este modelo, tal y como se indicará en apartados posteriores.

Emergencia

Los resultados del modelo son distintos estados de sostenibilidad. Dadas las características de los agentes que intervienen en la simulación y la naturaleza del entorno, los distintos patrones observables están fuertemente condicionados a las reglas del modelo, predefinidas por la configuración de los parámetros empleados. De este modo, modificando los valores de estos parámetros se pueden alcanzar estados de pesca sostenible o, por el contrario, estados en los que la actividad pesquera es deficitaria en términos económicos y/o medioambientales.

Adaptación

Los principales comportamientos adaptativos los protagonizan dos tipos de agentes: las sardinas y los barcos. Con cada unidad temporal, las sardinas se desplazan por los parches azules hacia delante. En caso de que se encuentren con un barco en su campo de visión, estas cambiarán la dirección de su movimiento tratando de evitarlo. Al mismo tiempo, si encuentran alguna sardina en su campo de visión, estas se alinearán y eventualmente formarán bancos de mayor tamaño. Cuando se cumplen unas condiciones determinadas, las sardinas se reproducen, y en caso de que estas no consigan satisfacer sus necesidades metabólicas, fallecerán por inanición.

Al igual que las sardinas, los barcos también se desplazan por los parches azules hacia delante, y sus procedimientos son similares a los que describen el grupo de los peces. Cuando un barco entra en el campo de visión de otro, estos cambiarán sus direcciones, para alejarse el uno del otro. A su vez, se desplazarán hacia el grupo de sardinas más cercano, para así pescarlas. Cuando se cumplen unas condiciones determinadas, los barcos pueden expandirse, de modo que un nuevo barco formará parte de la simulación. Por el contrario, si

la actividad pesquera se vuelve excesivamente deficitaria, el barco se eliminará, representando la quiebra de la empresa.

Objetivos

El objetivo que guía los procesos de adaptación de las sardinas es la supervivencia individual durante el periodo de la simulación. Esta se consigue mediante unos procedimientos automáticos, que son los de nutrición y reproducción; además de los procedimientos de evasión de barcos y de formación de bancos. Con cada unidad temporal, las sardinas pierden energía procedente de los procesos metabólicos. Para tratar de compensar estas pérdidas, las sardinas consumen el alimento de los parches en los que se encuentran. Cuanto mayor sea la talla de los peces, mayores serán sus consumos y su gasto energético. Es importante que las sardinas se encuentren en superávit calórico, no sólo por su supervivencia, sino para que se pueda dar la reproducción.

Para garantizar que las sardinas no son pescadas, estas forman bancos. Así pues, cuando una cambia su dirección al notar la presencia de un barco, se desencadenará una reacción del grupo en su conjunto, de modo que todos los individuos tratan de alejarse del depredador.

Los barcos, por su parte, tienen por objetivo el beneficio económico y la solvencia financiera. Los procedimientos que estos realizan y los principios que rigen sus adaptaciones son muy similares a los de las sardinas. Al igual que estas, los barcos pierden con cada unidad temporal un recurso necesario para ellos, que es el dinero, representado en unidades monetarias. Esta pérdida representa los costes de explotación. Para intentar compensar las pérdidas, los barcos tratan de pescar sardinas, ya que estas les reportan ingresos económicos derivados de su venta. Para que la pesca se produzca, los barcos avanzan hacia los grupos de sardinas más cercanos, tratando de atraparlas con sus redes. Un superávit económico suficiente permite a los barcos experimentar una expansión, que se representa con la introducción de un nuevo barco en el modelo.

Predicción

En este modelo, el comportamiento adaptativo de los agentes no se fundamenta en predicciones explícitas. Es decir, este no se basa en estimaciones explícitas de condiciones futuras. Sin embargo, sí existen “predicciones implícitas” que orientan las actuaciones. Así pues, es esperable que las sardinas, al aproximarse a grupos de sardinas cada vez mayores, sean conducidas a grandes bancos.

Del mismo modo, cuando los barcos persiguen un rastro de sardinas progresivamente más grande, acabarán encontrándose con un gran banco.

Percepción

En este modelo, los agentes son capaces de percibir cierta información durante la ejecución de la simulación.

En primer lugar, tanto los barcos como las sardinas son capaces de saber si el parche que tienen enfrente es de tierra o de agua, así como la cantidad de porciones de alimento que hay disponible en las parcelas azules.

Las sardinas son capaces de percibir a los barcos a una distancia regulada por el valor del parámetro “vision-sardinas”, y en un ángulo de 45° . Además, conocen también el número de sardinas que hay en un radio determinado por el mismo parámetro y cuál es la más próxima. Finalmente, las sardinas conocen su edad, su balance energético y el del año en la que se encuentran. Esto les permite efectuar la reproducción que, unido a los aspectos anteriores, les sirve para garantizar su supervivencia y la de la especie.

A su vez, los barcos perciben a los competidores y a las sardinas que se encuentran en un radio determinado por el valor del parámetro “vision-barcos”. También conocen el estado de su balance económico, y el momento del año en que se encuentran. Esto es especialmente relevante para los submodelos en los que se simulan las implementaciones de distintas formas de intervención estatal que se discutirán en el apartado “Submodelos”.

Otro tipo de agentes que también es capaz de percibir distintos estímulos son los parches azules. Estos conocen el número de sardinas con las que interactúan y su edad, así como también perciben la cantidad de contaminación que los barcos producen con su actividad. En cuanto a sus propios atributos, los parches conocen la cantidad de alimento disponible que contienen, y el valor de la variable “countdown”, que interviene en los procesos de reposición del mismo.

Interacción

En este modelo están previstas formas de interacción directa y de interacción mediada. Los barcos interactúan de forma directa con las sardinas, ya que estos las pescan. Para eso, hacen que las sardinas con edad suficiente para ser pescadas que se encuentran en el radio de sus redes mueran, a la vez que ellos ingresan el valor económico correspondiente a cada uno de los individuos. Las sardinas interactúan con los parches azules de forma directa, ingiriendo el alimento que estos tienen disponible. Los barcos, cuando contaminan las aguas, interactúan de forma directa con los parches azules, disminuyendo la cantidad de alimento con la que estos cuentan. En consecuencia, se produce una interacción mediada con las sardinas, ya que estas se ven afectadas por la interacción que se produce entre los barcos y las parcelas azules.

Estas interacciones se complejizan cuando se simula alguna de las políticas públicas. Esto se desarrollará en el apartado “Submodelos”.

Aleatoriedad

La aleatoriedad está implementada en varios de los procesos que se ejecutan durante la simulación. Esta se emplea al configurar las condiciones iniciales del modelo y a lo largo de la ejecución.

Las condiciones iniciales que dependen de procesos aleatorios son las siguientes: la cantidad de alimento inicial presente en cada parche de agua, la edad de cada sardina y su tiempo vivido, la cantidad máxima de contaminación que un barco produce y la posición en la que los barcos y las sardinas se generan.

Los aspectos que dependen de factores aleatorios y que forman parte de los procesos que se ejecutan durante la simulación son los siguientes: la dirección que los barcos y las sardinas toman cuando tienen de frente un parche de tierra, la cantidad de contaminación que un barco produce sobre un parche azul, la posición en la que se genera un barco cuando se produce una expansión y la cantidad de alimento que se repone en un parche. También hay procesos que se dan con mayor o menor probabilidad y que dependen de factores aleatorios, que son la reproducción de las sardinas cuando se dan las condiciones necesarias, la muerte de las sardinas cuando se alcanzan los 8 años de vida y la quiebra y expansión de los barcos cuando el balance económico está en un déficit o superávit muy pronunciado.

También hay procesos exclusivos de los submodelos que se describirán en el apartado “Submodelos” que implementan la aleatoriedad.

Colectivos

Los principales agregados de agentes que se observan en el modelo son las regiones de agua, las regiones de tierra y los bancos de sardinas. Las regiones de agua y tierra están formadas por parches azules y verdes respectivamente. Aunque no cuentan con propiedades específicas, su configuración se establece desde el inicio y es estática. El funcionamiento de las unidades que las componen sólo tiene sentido cuando se observa al agregado. Es decir, los parches azules y verdes por sí mismos no tienen utilidad, es el hecho de que estén próximos los unos a los otros de entre su misma clase lo que hace que se puedan comportar como masas de agua y tierra.

Con los bancos de sardinas ocurre lo contrario. Estos surgen de las interacciones individuales de las sardinas que existen en el modelo, conducidas por una serie de reglas específicas. Se originan por lo tanto debido a procesos de emergencia. Estos grupos son divisibles y el comportamiento de sus unidades constituyentes

tiene sentido fuera del agregado. Como ocurre con los otros colectivos, los bancos de sardinas no cuentan con propiedades ni comportamientos específicos.

Observación

El resultado de la simulación del modelo son distintos estados de sostenibilidad. A simple vista no es sencillo reconocer cada uno de estos, por lo que se han añadido monitores que muestran la evolución de distintas funciones relevantes. Es necesario pues analizar las series temporales que reflejan los siguientes aspectos: número total de sardinas, cantidad media de alimento disponible, beneficios medios de los barcos y número total de barcos.

Cuando se simulan determinadas políticas pesqueras, resulta interesante medir otros aspectos además de los anteriormente mencionados. Esto se hace necesario a la hora de evaluar los efectos resultantes de la aplicación de las mismas.

En este modelo no está implementado el aprendizaje.

5. Inicialización.

En este apartado se describe detalladamente cómo se realiza la configuración inicial de las entidades y sus variables antes de que dé comienzo la simulación. Además, se indica cuál ha sido la selección de valores de los parámetros en los experimentos que se han llevado a cabo.

Para crear el espacio geográfico se genera una serie de parches de color azul y verde que representan masas de agua y de tierra y cuya distribución origina un escenario muy similar al de una región de la costa atlántica. A las parcelas de color azul se les asigna un valor a sus variables “countdown” y “alimento”. Estos valores se seleccionan en los parámetros “tiempo-reaparicion-alimento” y “alimento-por-parcela”, y para los experimentos realizados se han seleccionado los valores 15 y 10 respectivamente. Su aspecto se muestra en la Figura 1.



Figura 1: Espacio geográfico en el que se desarrolla la simulación

Para crear las sardinas se escoge un valor para el parámetro “numero-sardinas”, que en las simulaciones llevadas a cabo es de 150. Estas se originan en alguno de los parches de color azul, y en cuanto al aspecto, cuentan con un tamaño de 0.7 unidades, color blanco y forma de pez. Su variable “age” toma un valor aleatorio entre 0 y 15, y a la variable “tiempo-transcurrido” se le asigna un valor al azar comprendido entre 0 y 365. La variable “energy” recibe el valor del parámetro “energia-sardinas”, que en los distintos experimentos realizados ha sido 55. Su aspecto se muestra en la Figura 2.

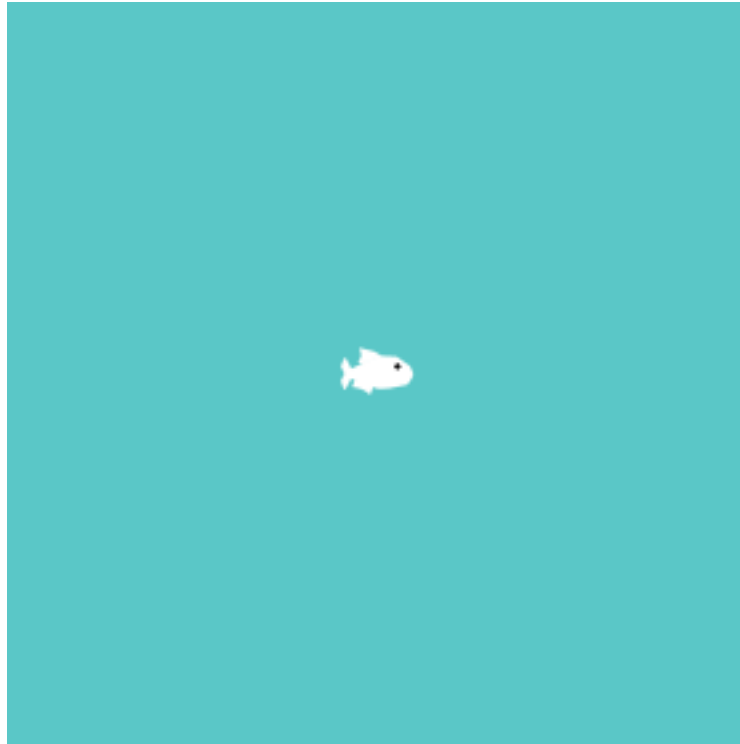


Figura 2: Aspecto de las sardinas

Para crear los barcos se escoge un valor para el parámetro “numero-barcos”, que en las simulaciones llevadas a cabo ha sido de 10. Al igual que las sardinas, estos se originan en alguno de los parches de color azul. Su tamaño es de 3 unidades, su color es el rojo y su forma se ha personalizado para emular el aspecto de un barco real. El valor de la variable booleana “modo-eco” se asigna aleatoriamente de forma equiprobable. Las variables “capacidad-carga” y “velocidad-descarga” reciben sus valores de los parámetros “capacidad” y “tiempo-descarga”. En los experimentos realizados han tomado los valores 6 y 2 respectivamente. Finalmente, se inicializan las variables “volumen-pesca”, “tiempo-transcurrido” y “carga-impositiva” con un valor de 0. Su aspecto se muestra en la Figura 3.

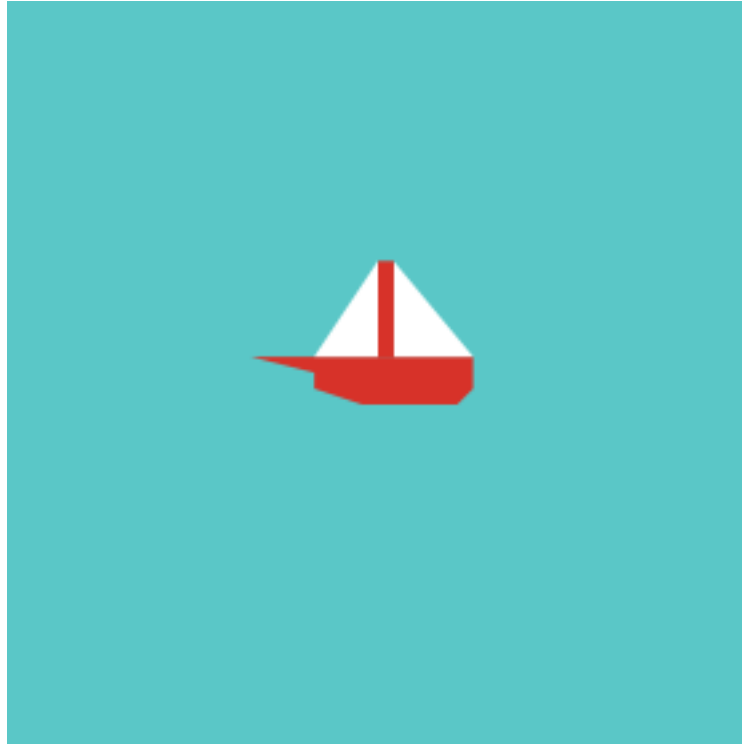


Figura 3: Aspecto de los barcos

A la variable global “contador” se le asigna el valor 0.

El aspecto del modelo configurado y listo para comenzar la simulación es similar al de la Figura 4.

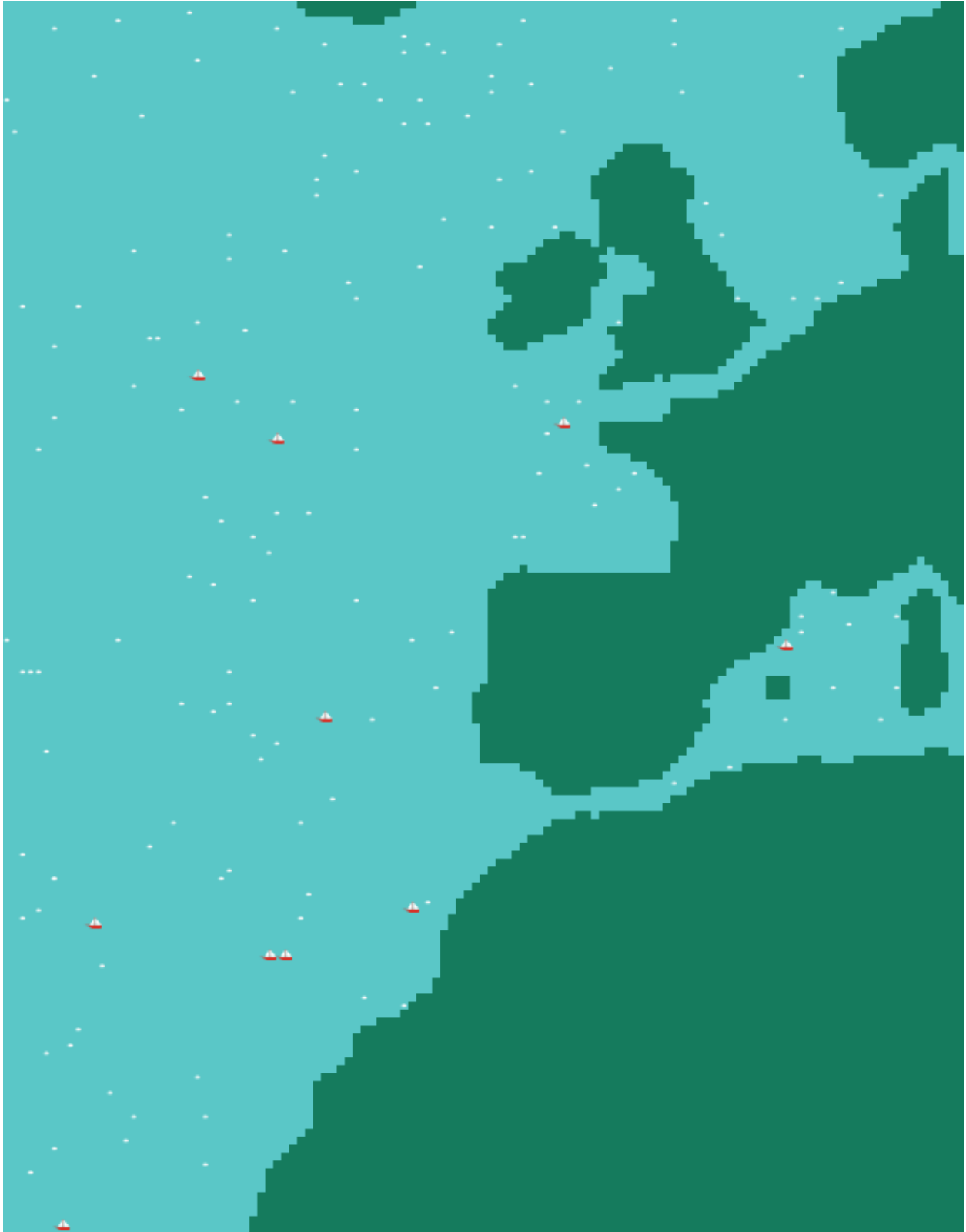


Figura 4: Aspecto del modelo configurado y listo para comenzar la simulación

6. Input data.

Este modelo no utiliza datos imputados para representar procesos variantes en el tiempo.

7. Submodelos.

Al configurar los parámetros iniciales, se pueden ejecutar 5 submodelos principales, que se relacionan con la simulación de determinadas formas de intervención estatal en materia de política pesquera.

Submodelo 1

El primero de los submodelos se relaciona con la no introducción de políticas públicas y con el libre albedrío de los agentes. A partir de este se desarrollarán el resto de submodelos, los cuales experimentan ligeras variaciones. Cuando se ejecuta, ocurre lo siguiente:

Puesta en marcha

Se inicia el procedimiento “go”. Primero se establecen las condiciones que conllevan la detención del modelo. Esto se produce cuando los ticks alcanzan el valor 730, cuando no quedan barcos o sardinas en la simulación, o cuando el valor de las sardinas es superior al valor de las xoubiñas. Si bien se puede intuir el porqué de las primeras condiciones, esta última tal vez necesite una justificación, que es la siguiente: como se ha comentado anteriormente, en la mayoría de mercados, tanto nacionales como internacionales, las sardinas de menor talla tienen una mayor demanda y por ende un superior valor de compra que las sardinas adultas (Ruiz Domínguez, 2019). Es necesario, por tanto, garantizar que existe esta diferencia de valor monetario en el modelo, para poder simular el conflicto económico-medioambiental por el que se interesa la investigación.

A continuación los barcos y las sardinas suman 5 unidades al valor de su variable “tiempo-transcurrido”, y estas últimas inician sus procedimientos.

Procedimientos de las sardinas

Desplazamiento: El primero de los procedimientos de las sardinas es “move-sardinas”, que es el que las desplaza a lo largo del espacio geográfico. Para ello, la primera instrucción que se les encomienda es que, en el caso de que el parche que tengan inmediatamente a continuación sea de color verde, se giren hacia la derecha y hacia la izquierda en un ángulo aleatorio de entre 0 y 360 grados. Si visualizan algún barco en un ángulo de 45° y a una distancia determinada por el parámetro “vision-sardinas”, estas deben realizar el procedimiento “evitar-barcos”. El valor escogido para el parámetro mencionado en los experimentos realizados es 3. Es decir, las sardinas son capaces de percibir a un barco que esté hasta a tres casillas de distancia. Cuando se inicia el procedimiento “evitar-barcos”, las sardinas identifican como depredadores a los barcos que se encuentren a su alrededor, en un radio determinado también por el parámetro “vision-sardinas”. Posteriormente, identifican al depredador más próximo y realizan un giro de 45° respecto a la orientación de este. En caso de que no se haya visualizado ningún barco, las sardinas inician el procedimiento “formar-banco”, y proceden a identificar como compañeras a las sardinas que se encuentren a su alrededor en un radio determinado por el valor de “vision-sardinas”. Si encuentran a alguna compañera, proceden a identificar a la más próxima, y dependiendo de la distancia que las separe, proceden a alejarse y alinearse o a aproximarse. Cuando la distancia que las separa es menor que 1, estas giran 1’5° respecto a la orientación de su compañera más próxima, y se orienta con giros de 5° hacia el punto medio al que están orientadas el resto de compañeras. Si no se cumple la condición, las sardinas se orientan con giros de 3° hacia el grupo en el que se encuentran sus compañeras. Finalmente, las sardinas avanzan 0.2 casillas hacia delante. La selección de estos valores se ha realizado observando modelos en los que se simulan procedimientos similares (Nathan & Barbosa, 2008;

Wilensky, 1998; Wilensky & Rand, 2015; Wilensky & Reisman, 2006) y mediante pruebas de ensayo y error, con el objetivo de reproducir un comportamiento lo más realista posible.

Asignación de valor monetario: El siguiente de los procedimientos que realizan las sardinas es “asignar-valor-sardinas”, que es el que asigna un valor monetario para cada pez. Cuando la edad es menor a 1, el valor monetario es de 0 unidades. Esto se debe a que se considera que la sardina todavía no cuenta con la talla suficiente como para ser comercializada. Cuando la edad es mayor o igual que 1 y menor que 2, el valor de la sardina lo determina el parámetro “valor-xoubiñas”, que en los experimentos realizados ha sido de 250 unidades monetarias. Este es el grupo de edad más cotizado, y se corresponde con grupo de talla con mayor valor de mercado en la realidad. Las sardinas tardan alrededor de 2 años en alcanzar la etapa adulta (Ruiz Domínguez, 2019). Así pues, se ha establecido la división entre xoubiñas y pezqueñines por asignación lógica. Finalmente, cuando la edad es superior a los 2 años, a la sardina se le asigna un valor monetario determinado por el parámetro “valor-sardinas”, que ha sido de 100 unidades monetarias en las simulaciones llevadas a cabo.

Nutrición: El procedimiento siguiente es “consumir-alimento”, y sirve para simular la función vital de la nutrición de las sardinas. Cuando la edad de una sardina es menor a 1 año y el alimento del parche en el que se encuentra es superior o igual a 1 unidad, se resta 1 unidad a la cantidad de alimento disponible en el parche y se añade el valor establecido por el parámetro “energía-del-alimento” a la variable “energy” de la sardina. En los experimentos realizados, el valor de este parámetro es de 3 unidades. Si la edad de la sardina es mayor o igual a 1 año y menor a 2 años, y el alimento disponible en el parche en el que se encuentra supera o iguala las 2 unidades, se restan 2 unidades al valor de la variable “alimento” de la parcela y se añaden las unidades de energía correspondientes al parámetro “energía-del-alimento” a la variable “energy” de la sardina. Finalmente, cuando la edad es mayor o igual a 2, se restan 3 unidades del alimento disponible en el parche y se añaden las unidades que corresponden al valor de “energía-del-alimento” a la energía de las sardinas, cuando el alimento disponible es igual o superior a 3. Esta diferencia se debe a que, cuanto mayor es el tamaño del pez, mayor es su consumo de alimento y sus necesidades calóricas. Al igual que con el procedimiento anterior, la selección de estos valores también ha sido guiada por pruebas de ensayo y error y ha sido inspirada por modelos similares (Wilensky & Rand, 2015)

Reproducción: El procedimiento que se ejecuta posteriormente es “reproduce”, que sirve para simular la función vital reproductiva de las sardinas. Estas la realizan cuando se cumplen las siguientes condiciones:

La edad es mayor o igual a los dos años. Sólo las sardinas adultas pueden reproducirse.

La energía es igual o superior al valor del parámetro “energía-sardinas”. Las sardinas deben contar con una cantidad de energía suficiente para poder reproducirse. Esta cantidad la determina el mismo parámetro que determina la energía con la que se generan las sardinas en el momento inicial. Esto se debe a que, con esta configuración, se evita que se produzcan fenómenos poco verosímiles durante el primer año que comprometen la dinámica de la simulación durante el resto de ticks.

La variable “contador” debe tener un valor comprendido entre el 0 y el 90, o entre el 274 y el 335. Esto se debe a que estos puntos se corresponden con las épocas de desove de las sardinas (Dantart et al., 1997; Macer, 1974).

Un número elegido al azar entre 0 y 100 debe ser inferior al valor del parámetro “reproduccion-sardinas”. El valor escogido para este parámetro durante los experimentos realizados es de 10. Esto permite que las sardinas no se reproduzcan todas a la vez, sino que esto se realice de forma eventual durante los periodos determinados en la anterior condición.

Cuando se cumplen todas estas condiciones, la sardina original divide su energía a la mitad y se duplica. La nueva sardina es desplazada a alguno de los parches de agua, sus variables “age” y “tiempo-transcurrido” toman el valor 0, y se asigna un valor de 5 unidades para su variable “energy”. Como ocurre con el procedimiento “consumir-alimento”, este ha sido inspirado por el modelo “wolf sheep predation” (Wilensky & Reisman, 2006).

Crecimiento: El siguiente procedimiento que realizan las sardinas es el procedimiento “grow”, que simula el crecimiento de las sardinas. Su funcionamiento es sencillo, cuando la variable “tiempo-transcurrido” alcanza el valor 365, se suma un año a la edad de las sardinas y se asigna el valor 0 a “tiempo-transcurrido”. Esto ocurre cada 73 ticks.

Gasto energético: A continuación, las sardinas tienen un gasto de energía, que se supone que proviene de la realización de los procedimientos anteriormente mencionados. Cuando la sardina es adulta, se restan dos unidades al valor de la variable “energy”, y cuando todavía no lo se, sólo se resta una unidad. Nuevamente, esto ha sido seleccionado con el objetivo de lograr reproducir un comportamiento y unas dinámicas realistas en el modelo mediante pruebas de ensayo y error e inspiración en modelos similares (Wilensky & Rand, 2015).

Fallecimiento: El último procedimiento que realizan las sardinas es “death”, que sirve para simular la muerte de las sardinas por causas naturales. Esta se puede producir por inanición o por vejez. Así pues, la condición que se debe cumplir para que se de una muerte por inanición es que el valor de la variable “energy” sea inferior a 0. Se entiende que las sardinas suelen vivir hasta los 8 años, aunque se han registrado ejemplares con hasta 15 años de edad (Ruiz Domínguez, 2019). Para simular una muerte por vejez, se ha de cumplir una de las siguientes condiciones: la edad es superior o igual a los 15 años, o la edad es superior a los 8 años y un número aleatorio entre 0 y 100 es menor o igual a 1. Esta segunda condición se establece para que la muerte de las sardinas no se produzca de una sola vez cuando alcanzan los 8 años. El componente aleatorio permite que las sardinas mueran eventualmente una vez alcanzada esa edad, logrando una dinámica más acorde con la realidad en el modelo.

Procedimientos de los barcos

Desplazamiento: Una vez finalizados los procedimientos de las sardinas, los barcos inician los suyos, comenzando por “move-barcos”. Este procedimiento permite el desplazamiento de los barcos por los parches azules. Al igual que ocurría en el procedimiento “move-sardinas”, la primera instrucción es la de realizar un giro hacia la derecha y hacia la izquierda de entre 0 y 360 grados cuando el parche que los barcos tienen inmediatamente a continuación sea de color verde. A continuación, los barcos ejecutan la instrucción “evitar-competidores”, que hace que busquen a otros barcos a su alrededor en un radio determinado por el parámetro “vision-radar” y los identifique como competidores. El valor del parámetro “vision-radar” en los experimentos llevados a cabo es de 10. En caso de que se haya identificado algún competidor, se procede a identificar al más cercano, y a continuación, se efectúa un giro de hasta 45 grados respecto a la orientación de este. La siguiente instrucción que realizan los barcos es “buscar-sardinas”. Para esto, los barcos identifican como presas a las sardinas que hay a su alrededor en un radio determinado por el valor del parámetro “vision-radar”. En caso de que hayan encontrado alguna sardina en este área, proceden a identificar a la sardina más cercana. Cuando lo hagan, estos se orientarán hacia la dirección de la sardina más cercana mediante giros de 5° y hacia el punto medio al que se orienta el grupo de las presas con giros de 3°. La selección de estos valores se ha realizado observando modelos en los que se simulan procedimientos similares y mediante pruebas de ensayo y error, con el objetivo de reproducir un comportamiento lo más realista posible (Wilensky & Rand, 2015). Finalmente, los barcos se desplazan 0.2 casillas hacia delante.

Pesca: El siguiente procedimiento que realizan los barcos es “pescar-sardinas”, el cual conduce al procedimiento “pescar”, con el que se simula la captura de sardinas mediante un mecanismo similar al de la pesca de cerco. Esta forma de pesca consiste en rodear a los bancos de peces con una extensa red, para posteriormente atraparlos. Esta es una forma de pesca muy productiva que, a diferencia de la pesca de arrastre, no se acompaña de un deterioro de los fondos marinos (Cerdán, 1987). Los barcos ejecutan este procedimiento cuando el valor de la variable “capacidad-carga” es superior a cero. Cuando se cumple esta condición y se encuentra alguna sardina en un radio determinado por el parámetro “tamaño-redes”, ocurren las siguientes interacciones entre los barcos y las sardinas que se encuentran en el área de sus

respectivas redes: al valor de la variable “ingresos” se le suma el valor monetario de las sardinas; a la variable “carga-impositiva” de los barcos se le añade el valor de la variable “carga-impositiva” de los peces; al valor de las variables “contador-xoubiñas” y “contador-sardinas” se le suman el número de cada tipo de sardinas que haya en las redes respectivamente; al valor de la variable “capacidad-carga” se le restan las unidades correspondientes al número de sardinas con edad suficiente para ser pescadas; al valor de la variable “volumen-pesca” se le añaden las unidades correspondientes al número de sardinas con edad suficiente para ser pescadas; y finalmente, las sardinas con edad suficiente para ser pescadas mueren. En los experimentos realizados, al parámetro “tamaño-redes” se le ha asignado el valor 3.

Descarga: El procedimiento siguiente es “descargar-sardinas”, que simula la descarga en puerto de los peces capturados durante el ejercicio. Para simplificar este procedimiento, se ha decidido que los barcos, cuando alcancen el máximo de producción, experimenten un breve cese de la actividad. Esto es posible mediante las variables “capacidad-carga” y “velocidad-descarga”. Cuando la capacidad del barco alcanza el valor cero, se comprueba que se cumpla la condición que establece que la variable “velocidad-descarga” haya alcanzado el valor cero. Si se cumplen ambas condiciones, las variables “capacidad-carga” y “velocidad-descarga” toman los valores de los parámetros “capacidad” y “tiempo-descarga” respectivamente. Sin embargo, cuando no se cumple la segunda condición, se resta una unidad del valor de la variable “velocidad-descarga”.

Contaminar: El siguiente de los procedimientos es “contaminar”, que simula el impacto medioambiental que tienen los barcos sobre las aguas al ejercer su actividad productiva. El aumento de la contaminación, conlleva una disminución del alimento disponible. En este modelo se han incluido dos tipos de barcos en cuanto a la cantidad de contaminación que pueden producir, distinguiendo así a los barcos con modo-eco y sin modo-eco, siendo los segundos el doble de contaminantes en promedio. Así pues, cuando la variable “alimento” con la que cuentan los parches adquiere un valor superior a cero, ocurre lo siguiente:

Si los barcos no cuentan con modo-eco, a los parches comprendidos en el radio determinado por el valor del parámetro “area-contaminante” se les asigna una cantidad aleatoria de contaminación, con valores comprendidos entre el 0 y el valor del parámetro “contaminacion-barcos”. En los experimentos realizados, “area-contaminante” tiene el valor 3 y “contaminacion-barcos” el valor 15. A continuación, al valor de la variable “alimento” se le sustraen las unidades correspondientes al valor de la variable “contaminacion”, hasta alcanzar un valor de como mínimo cero unidades.

Si, por el contrario, los barcos cuentan con modo-eco, ocurrirá lo mismo que en el caso anterior, a excepción de que la cantidad de contaminación que se añadirá a los parches será un número aleatorio comprendido entre los valores 0 y el valor del parámetro “contaminacion-barcos” dividido entre 2.

Si no se cumple la condición inicial, que establecía que la cantidad de alimento de los parches fuera superior al valor 0, ocurrirá lo mismo que en los supuestos anteriores, a excepción de que la cantidad de alimento que hay en los parches no se verá influida por la cantidad de contaminación que haya presente. Como es lógico, la variable “alimento” no puede tomar valores negativos.

El siguiente procedimiento está estrechamente relacionado con el anterior. Se llama “calcular-contaminacion” y se utiliza para contabilizar la contaminación generada. La variable que recoge estas unidades se denomina “impacto-medioambiental”, y se actualiza con cada tick añadiendo a su valor la suma de las unidades de contaminación presentes en los parches azules alrededor de un barco, en un radio determinado por el valor del parámetro “area-contaminante”. Acto seguido, el valor de la variable “contaminacion” de los parches se devuelve a 0.

Cálculo de resultado económico: La siguiente acción que realizan los barcos es incrementar el valor de la variable “costes” en las unidades establecidas en el parámetro “costes-explotacion”, que en los experimentos realizados se le ha asignado el valor 15.

El procedimiento que los barcos realizan posteriormente es “calcular-resultado”, que se utiliza para calcular el balance económico de la actividad pesquera. Cuando no se introduce ningún tipo de forma de intervención estatal, este procedimiento se limita a conducir al procedimiento “calcular”, y este actualiza la variable

“beneficios” de tal forma que su valor sea el resultado de sustraer al valor de la variable “ingresos” el valor de la variable “costes”.

El procedimiento siguiente es “quebrar”, y simula el cese definitivo de la actividad pesquera de un barco cuando esta se vuelve suficientemente deficitaria. Cuando los beneficios alcanzan un valor igual o inferior a las -8000 unidades, los barcos serán eliminados de la simulación si un número aleatorio comprendido entre el 0 y el 100 es menor que 70. Es decir, tienen una probabilidad de 0,7 de ser eliminados. El siguiente procedimiento es “expandirse”, y simula el supuesto contrario al caso anterior. Es decir, permite a los barcos cuya actividad pesquera sea lo suficientemente fructífera experimentar una “expansión empresarial”, añadiendo un barco más a la simulación. Se ha establecido un límite en 30 barcos, para evitar que se sature el modelo. Así pues, cuando el valor de la variable “beneficios” toma un valor igual o superior a las 8000 unidades, se añadirá un nuevo barco si un número aleatorio comprendido entre el 0 y el 100 es inferior a 70. Es decir, los barcos tienen una probabilidad del 0,7 de expandirse cuando se cumple la anterior condición. Si esto ocurre, al valor de la variable “ingresos” se le resta el valor de la variable “beneficios” y se introduce una copia del barco. A esta copia se le asigna el valor 0 para las variables “ingresos”, “costes”, “beneficios”, “carga-impositiva”, “volumen-pesca”, “impacto-medioambiental”, “contador-sardinias” y “contador xoubiñas”. Finalmente, la copia se desplaza hacia la derecha efectuando un giro de entre 0 y 360°.

Reinicio de valores

El último procedimiento que realizan los barcos es “reiniciar-cuotas”, que sirve para devolver a 0 las variables “tiempo-transcurrido” y “volumen-pesca” cuando la variable “tiempo-transcurrido” alcanza el valor 365.

Cuando se ejecuta la simulación del submodelo 1, se visualizan patrones similares a los que se observan en la Figura 5.

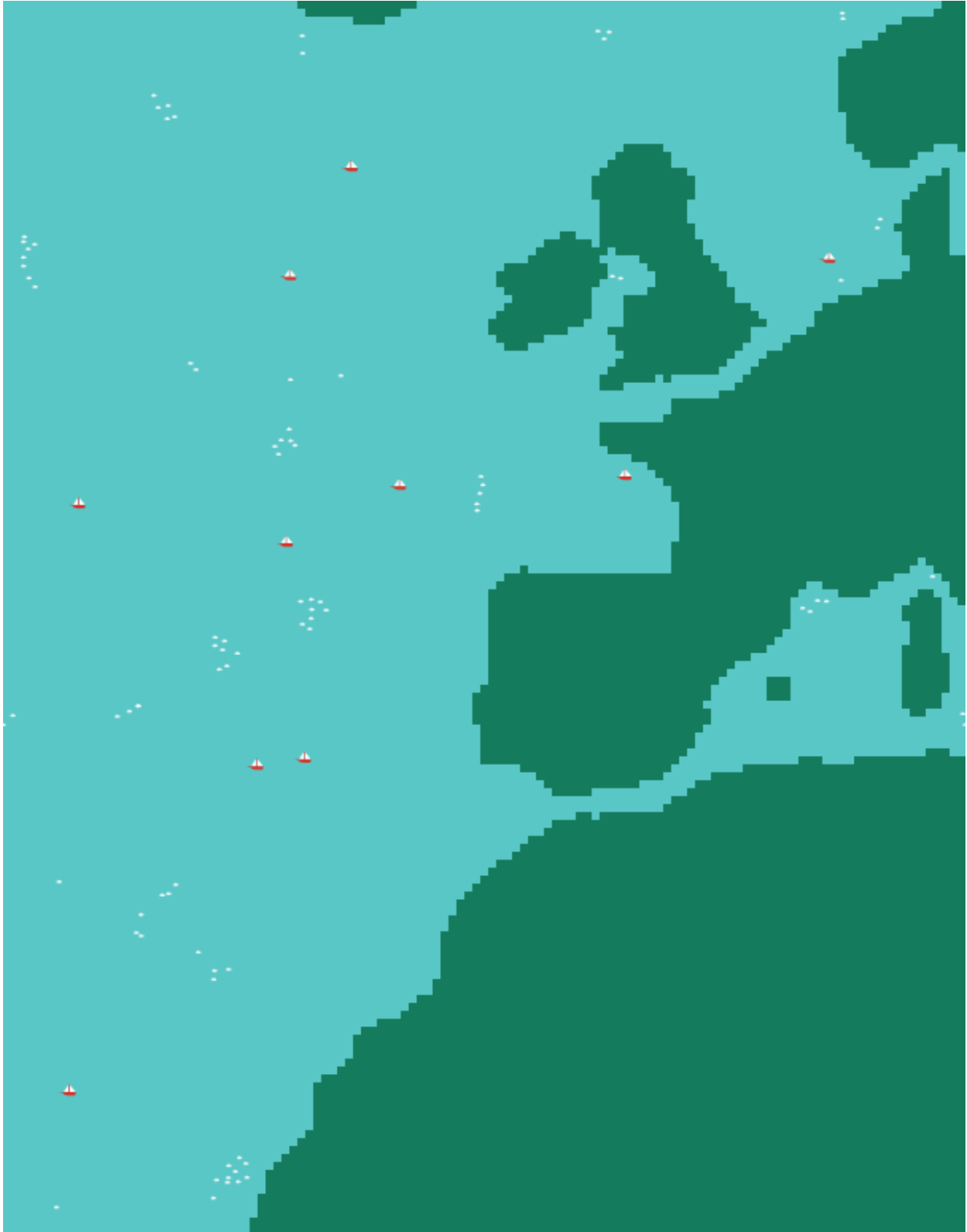


Figura 5: Aspecto del Submodelo 1 en ejecución

Submodelo 2

El segundo de los submodelos simula la introducción de una política de cuotas que limite la cantidad máxima de peces que un barco puede pescar en un periodo de un año. Para simularlo, se debe accionar el interruptor “politica-cuotas?”. Cuando este se ejecuta, en el modelo ocurren todos los procedimientos anteriormente mencionados además de una nueva función que se detalla a continuación.

La modificación que introduce la política de cuotas en la ejecución regular del modelo es establecer una condición en el procedimiento “pescar-sardinias” para que se ejecute el procedimiento “pescar”. Cuando el interruptor “politica-cuotas?” está activado, se comprueba que el valor de la variable “volumen-pesca” sea menor al valor establecido en el parámetro “cuota”. Si se cumple esta condición, los barcos pescarán de forma habitual pero, en caso contrario, los barcos no pescarán a las sardinias de su alrededor hasta que se inicie un nuevo ejercicio.

Este submodelo permite explorar los efectos de la introducción de unas cuotas máximas de captura, que pueden ser mayores o menores.

Submodelo 3

El tercer submodelo simula la introducción de una política impositiva que grave fiscalmente la producción pesquera. Como se ha mencionado en el apartado “Inicialización”, este sólo podrá ejecutarse cuando el valor del parámetro “impuestos-exp-sardinias” sea menor al valor del parámetro “impuestos-exp-xoubiñas”. Estos dos parámetros determinan el valor monetario que se deducirá de los ingresos de los barcos, en forma de pago de impuestos. El objetivo de esta política pública es desincentivar la pesca de los individuos más jóvenes de los grupos de sardinias, para garantizar así la supervivencia de la especie. Al ejecutar el modelo, ocurren todos los procedimientos mencionados en el primer submodelo. La modificación que supone la introducción de esta política pública se contempla en el procedimiento “calcular-resultado”. Cuando el interruptor “politica-fiscal?” está activado, se realiza el procedimiento “calcular” de forma habitual. Acto seguido, a la variable “costes” se le añaden las unidades correspondientes al valor de la variable “carga-impositiva”. Finalmente, se le asigna el valor 0 a “carga-impositiva”. Finalmente, se vuelve a ejecutar el procedimiento “calcular”. Así pues, este submodelo permite explorar el efecto de gravar impositivamente en mayor o menor cantidad la captura de sardinias y de xoubiñas.

Submodelo 4

El cuarto submodelo supone que hay una serie de barcos que contaminan más que otros. De este modo, el modelo simula la introducción de sanciones por superar la máxima contaminación producida permitida. Cuando este se ejecuta, en el modelo ocurren todos los procedimientos mencionados en el primer submodelo, además de una nueva función que se detalla a continuación.

La modificación que establece la política de sanciones al exceso de contaminación se introduce en el procedimiento “calcular-resultado”. Cuando el interruptor “sancion-contaminacion?” está activado, se ejecuta el procedimiento “calcular” de forma habitual. A continuación, se comprueba que el valor de la variable “tiempo-transcurrido” sea igual o superior a 364. Si esto ocurre, se comprueba que un número aleatorio comprendido entre 0 y 100 sea inferior al valor del parámetro “control-contaminacion”. Cuando se cumplen todas las condiciones, se añadirá a la variable “costes” las unidades correspondientes al valor del parámetro “multa-contaminacion”. Finalmente, se vuelve a ejecutar el procedimiento “calcular”. En este procedimiento se ha implementado la aleatoriedad, porque asumir que el Estado es capaz de controlar y sancionar a la totalidad de los barcos es poco realista. Así pues, este submodelo permite explorar el efecto de la introducción de sanciones mayores o menores y controles más o menos frecuentes al exceso de contaminación producida, que se puede regular con una cuota variable.

Submodelo 5

El quinto y último submodelo simula la introducción de una política pública que incentive la captura de individuos adultos mediante subvenciones, con el objetivo de garantizar la supervivencia de la especie. La modificación que supone la introducción de esta política pública se encuentra en el procedimiento “calcular-resultado”. Cuando el interruptor “subvenciones?” está activado, se comprueba que el valor de la variable “tiempo-transcurrido” sea igual o superior a 364. Acto seguido, se comprueba que el valor de la variable “contador-sardinias” multiplicado por 1.5 sea superior al valor de la variable “contador-xoubiñas”. Si se validan ambas condiciones, al valor de la variable “ingresos” se le añade el valor del parámetro “subvencion”. Posteriormente, se asigna el valor 0 a las variables “contador-sardinias”, “contador-xoubiñas” y “tiempo-transcurrido”. Finalmente, se vuelve a ejecutar el procedimiento “calcular”. Así pues, este submodelo permite explorar el efecto de subvencionar con una mayor o menor cuantía de dinero a las empresas que prioricen la captura de individuos adultos sobre los de menor edad y talla.

Experimentos de simulación.

Calibración

Como se ha adelantado en el apartado “Submodelos”, se han realizado cinco distintos experimentos con el modelo. Primero, se ha seleccionado una configuración determinada de parámetros generales, la cual se ha especificado en los apartados “Inicialización” y “Submodelos”. Esta configuración se ha seleccionado en la mayoría de los casos realizando pruebas de ensayo y error, con el objetivo de recrear un comportamiento similar al de los agentes reales. Con esta configuración, se ha llevado a cabo el primer experimento, el cual simula la no introducción de ningún mecanismo regulador proveniente de la aplicación de una política pública determinada. Durante la realización de estos experimentos, cada simulación se extiende durante un número de ticks que puede llegar hasta los 730, en caso de que no se cumpla ninguna de las condiciones que detienen la simulación. Como cada tick se corresponde con un periodo de 5 días naturales, las simulaciones se recorren durante un total de hasta 10 años no bisiestos. Este primer experimento se ha reproducido 1000 veces.

A partir de la configuración inicial, se seleccionan los valores de los parámetros correspondientes a cada uno de los otros experimentos. En el segundo experimento se ha asignado el valor “true” al parámetro “politica-cuotas?”, y a “cuotas” se le han asignado los valores 2, 4, 6, 8 y 10. Cada combinación posible se ha reiterado 200 veces, lo que supone un total de 1000 simulaciones.

Para el tercer experimento, se configuran los valores de los parámetros “politica-fiscal?”, “impuestos-exp-xoubiñas” e “impuestos-exp-sardinias”. A “politica-fiscal” se le ha asignado el valor “true”; a “impuestos-exp-xoubiñas” se le han asignado los valores 30, 40 y 50; y a “impuestos-exp-sardinias” se le han asignado los valores 10, 15 y 25. Cada una de las combinaciones posibles se ha reiterado 200 veces, lo que supone un total de 1800 simulaciones.

En el cuarto experimento se configuran los valores de los parámetros “sancion-contaminacion?”, “cuota-contaminacion”, “control-contaminacion” y “multa-contaminacion”. A “sancion-contaminacion?” se le ha asignado el valor “true”; a “cuota-contaminacion” se le han asignado los valores 6000, 10000 y 15000; a “control-sobrepesca” se le han asignado los valores 50, 75 y 95; y a “multa-sobrepesca” se le han asignado los valores 2000, 4000, 6000, 8000 y 10000. Cada una de las combinaciones posibles se ha reiterado 100 veces, lo que supone un total de 4500 simulaciones.

En el quinto y último experimento se configuran los valores de los parámetros “subvenciones?” y “subvencion”. A “subvenciones?” se le asigna el valor “true”, y a “subvencion” se le asignan los valores 2000, 4000, 6000, 8000 y 10000. Cada combinación posible se ha reiterado 200 veces, lo que supone un total de 1000 simulaciones.

Corroboración de resultados

Tras realizar las simulaciones de cada experimento, se extraen de cada una de las combinaciones de parámetros las series temporales que recogen la evolución de la población de sardinas, además de las series específicas de cada uno de ellos.

Del primer experimento se extraen las series temporales que muestran la evolución de los beneficios medios de los barcos, así como las que recogen la cantidad promedio de alimento que hay en cada parche de agua. Se extraen también las series temporales que muestran la evolución del número de barcos.

Del segundo, tercer y quinto experimento, las series temporales que se extraen además de las generales, son las que muestran la evolución del número de barcos y las que muestran los beneficios medios de estos.

Del cuarto experimento se extraen las series temporales que muestran la evolución de los beneficios medios de los barcos con “modo eco”, así como las que muestran la evolución de los beneficios medios de los barcos más contaminantes. Además, se extraen también series temporales que muestran la evolución del número de cada tipo de barco y series que muestran la evolución del número promedio de porciones de alimento que hay en los parches de agua.

Sensibilidad del modelo

Para evaluar la sensibilidad del modelo, se han realizado diferentes pruebas estadísticas con los resultados de algunos de los experimentos que simulan la introducción de alguna forma de intervención estatal.

En el experimento segundo, se ha tomado como variable independiente la variable “cuota”, y como dependientes el número total de sardinas y los beneficios medios de los barcos. Con sus valores, se han realizado pruebas de regresión lineal simple.

En el cuarto experimento, las variables independientes son las variables “cuota”, “control-contaminación” y “multa-contaminación”, mientras que las variables dependientes son el número total de sardinas, los beneficios medios de los barcos que cuentan con “modo-eco”, los beneficios medios de los barcos que producen más residuos contaminantes y la cantidad media de alimento que hay en los parches de agua. Con sus valores, se han realizado pruebas de regresión lineal múltiple y análisis de efectos marginales medios.

En el quinto y último experimento, la variable independiente ha sido “subvención”, mientras que las variables dependientes son nuevamente el número total de sardinas y los beneficios medios de los barcos. Con sus valores, se han realizado pruebas de regresión lineal simple.

Resultados

Como se ha adelantado en los apartados “Corroboración de resultados” y “Sensibilidad del modelo”, con los resultados de los experimentos se llevarán a cabo, además de otras pruebas estadísticas, análisis de series temporales. Para ello se calculará la media de los valores de las variables estudiadas en cada uno de los ticks de la simulación. Estas se representarán mediante gráficos en los que se muestre su descomposición aditiva. Estos gráficos están divididos en cuatro franjas o segmentos. En el primer segmento, se mostrará la función que describe la evolución del valor de la variable dependiente observada, que es el resultado de la suma de la tendencia, la estacionalidad y el error o componente aleatorio. Estos tres componentes se grafican en el segundo, tercer y cuarto segmento respectivamente.

Experimento 1

El primer experimento sirve como punto de referencia con el que comparar los resultados del resto de experimentos. Sus series temporales se corresponden con las figuras 6, 7, 8 y 9.

Como se puede observar, la Figura 6 muestra la evolución de la población de sardinas a lo largo de la simulación. El gráfico que muestra la serie observada comienza con un valor elevado que rápidamente se

precipita, y tras el primer año, se estabiliza alrededor de los 120 ejemplares, momento a partir del cual se sigue observando un decrecimiento menos pronunciado. Este comportamiento anormal en los primeros momentos de la simulación se debe a que los agentes apenas han interactuado, y por lo tanto, todavía no se forman los patrones característicos del experimento. En general, la tendencia es decreciente durante toda la simulación. Como se ha comentado, la pendiente de la tendencia es muy pronunciada en los primeros momentos, y una vez transcurrido el primer año, esta se suaviza. En relación a la estacionalidad de la serie, se observan patrones cíclicos que se repiten durante cada uno de los años de la simulación. Estos patrones describen un ligero crecimiento del número de sardinas seguido de uno considerablemente mayor. Estos aumentos del número de ejemplares coinciden con los periodos de desove de las sardinas. El error o componente aleatorio oscila entre los valores -15 y 15, aunque suele mantenerse alrededor del ± 10 .

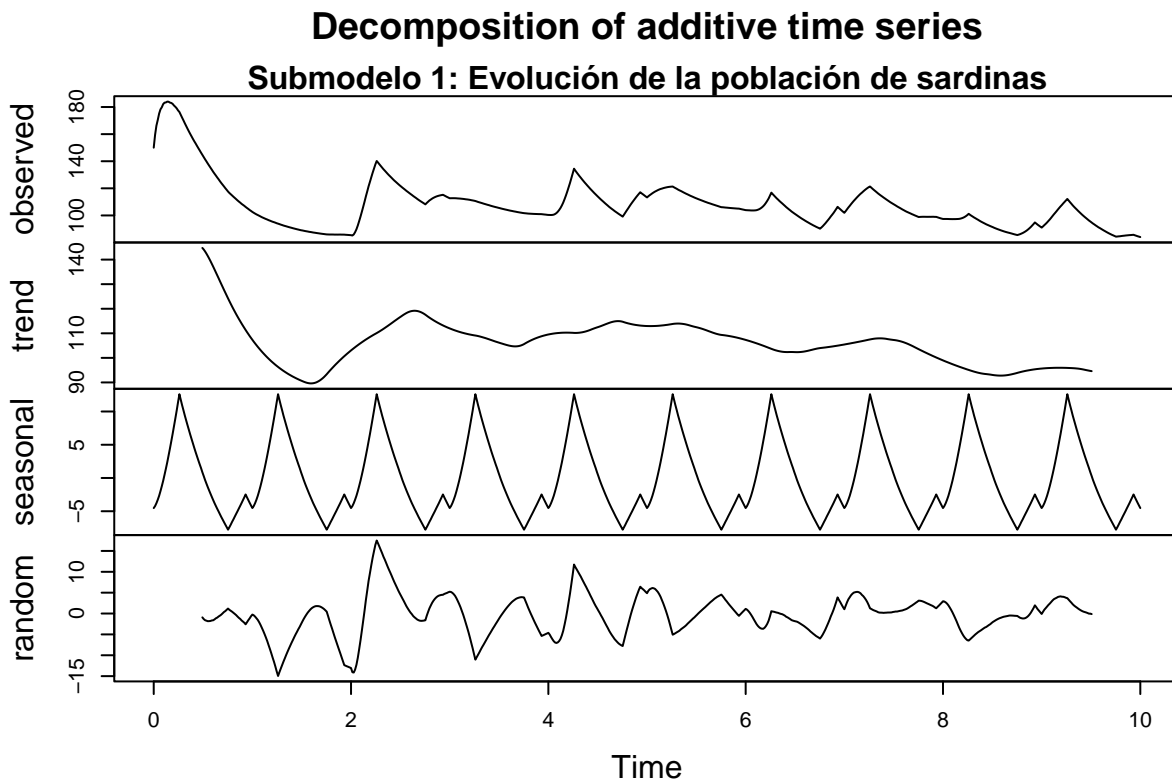


Figura 6: Submodelo 1: Evolución de la población de sardinas

En la Figura 7 se muestra la evolución del número de barcos a lo largo de la simulación. El gráfico que muestra la serie observada comienza con el valor 10, que se mantiene hasta aproximadamente el cuarto año de la simulación. Es a partir de este momento cuando se observa un crecimiento progresivo del número de barcos, constituyendo un total de 15 al finalizar la simulación. La tendencia, como es de esperar, es positiva y la función que dibuja es muy similar a la función de la serie observada. En esta serie temporal no se logra distinguir un componente estacional tan marcado como en el ejemplo anterior, aunque sí se pueden observar ligeros cambios en la pendiente de la curva coincidiendo con los periodos de desove de las sardinas. Esto se debe a que, al aumentar el número de sardinas en la simulación, los barcos tienen más probabilidades de capturarlas, y por tanto tienen más probabilidad de percibir nuevos ingresos de explotación. El valor del error o componente aleatorio, por su parte, oscila entre las -0.10 y las 0.10 unidades aproximadamente.

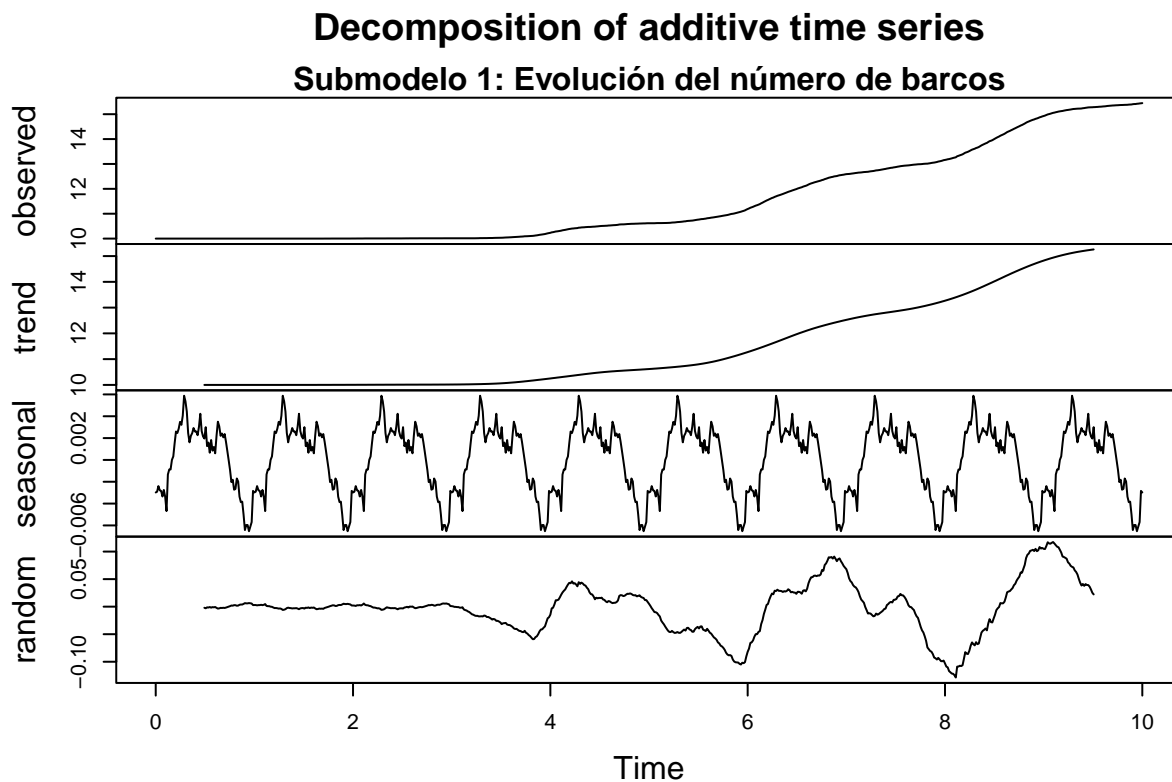


Figura 7: Submodelo 1: Evolución del número de barcos

En la Figura 8 se muestra la evolución de los beneficios medios de los barcos a lo largo de la simulación. El gráfico que muestra la serie observada comienza en el valor 0. Durante los primeros años se observa un crecimiento pronunciado seguido de breves momentos de acentuada pendiente decreciente. A partir del cuarto año, tanto el crecimiento como los cambios de pendiente se realizan de forma más progresiva, y a partir del sexto año se observa una pendiente negativa, con ligeros repuntes en el valor de los beneficios. La tendencia describe con exactitud lo anteriormente mencionado: una primera etapa de oscilaciones pronunciadas con predominio de la tendencia positiva seguida de una segunda etapa donde los ciclos se estabilizan y una etapa final de ligero decrecimiento. Es sencillo identificar el componente estacional en la serie, coincidiendo los momentos de tendencia positiva con los periodos de desove de los peces. Al comparar estos resultados con los de la Figura 6, se comprueba que los periodos en los que el valor de los beneficios aumenta coincide con los momentos en los que más sardinas hay en la simulación, por lo que se puede confirmar que estos son coherentes. En cuanto al error o componente aleatorio, este presenta mayores fluctuaciones en su valor durante los primeros cuatro años de la simulación, y de ahí en adelante las oscilaciones se realizan de forma más progresiva.

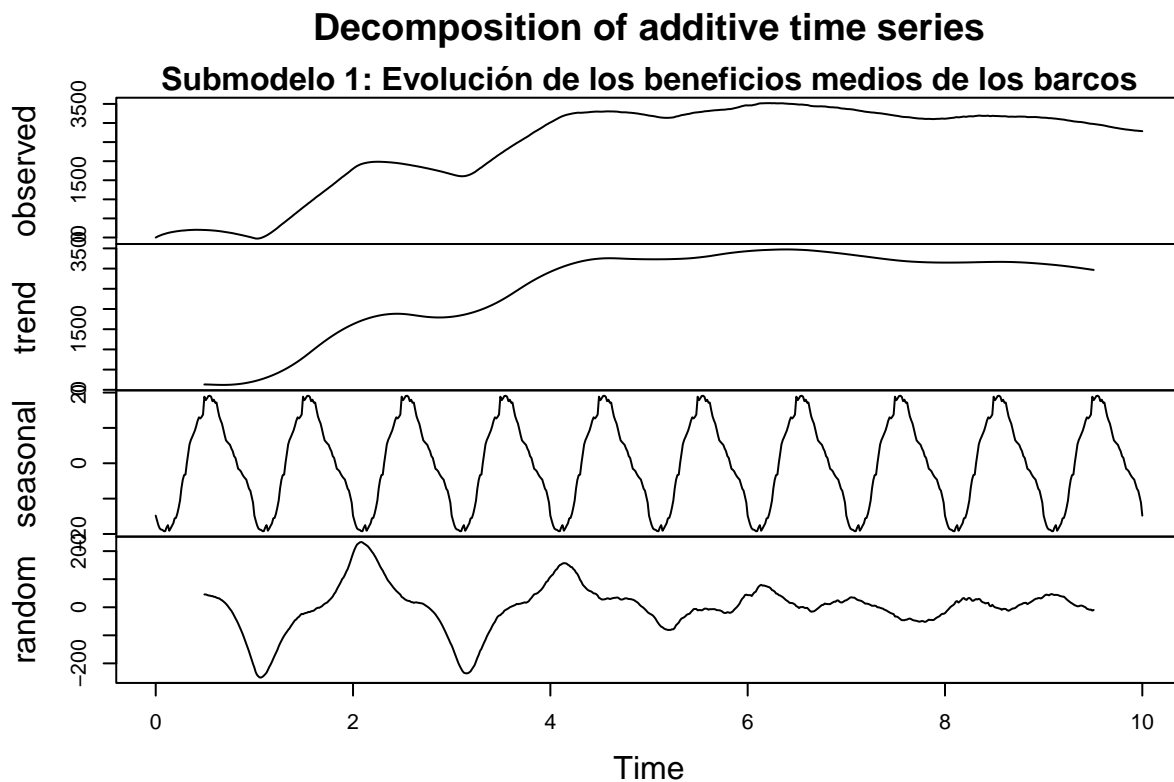


Figura 8: Submodelo 1: Evolución de los beneficios medios de los barcos

En la Figura 9 se muestra la evolución de la cantidad de alimento medio por parcela de agua a lo largo de la simulación. El gráfico que representa la serie observada muestra como el valor de las porciones de alimento sufre un rápido descenso, para posteriormente estabilizarse próximo a las 4 unidades. La tendencia es negativa durante toda la simulación a excepción del final del primer año simulado, donde se observa un ligero pero pronunciado crecimiento. Esto puede deberse a que, como en el momento inicial se genera una gran cantidad de sardinas, se agota el alimento de una gran cantidad de parches en un periodo muy corto y algunos de estos se reponen pasado un lapso de tiempo. Esto no sólo explicaría el porqué de este repunte, sino que también explica a qué se debe una caída tan pronunciada en el momento inicial. El componente estacional nuevamente coincide con los ciclos reproductivos de las sardinas, por lo que tal vez se confirme lo anteriormente mencionado. En cuanto al error o componente aleatorio, a excepción del momento inicial no se observan grandes fluctuaciones en su valor, que se mantiene próximo a 0.

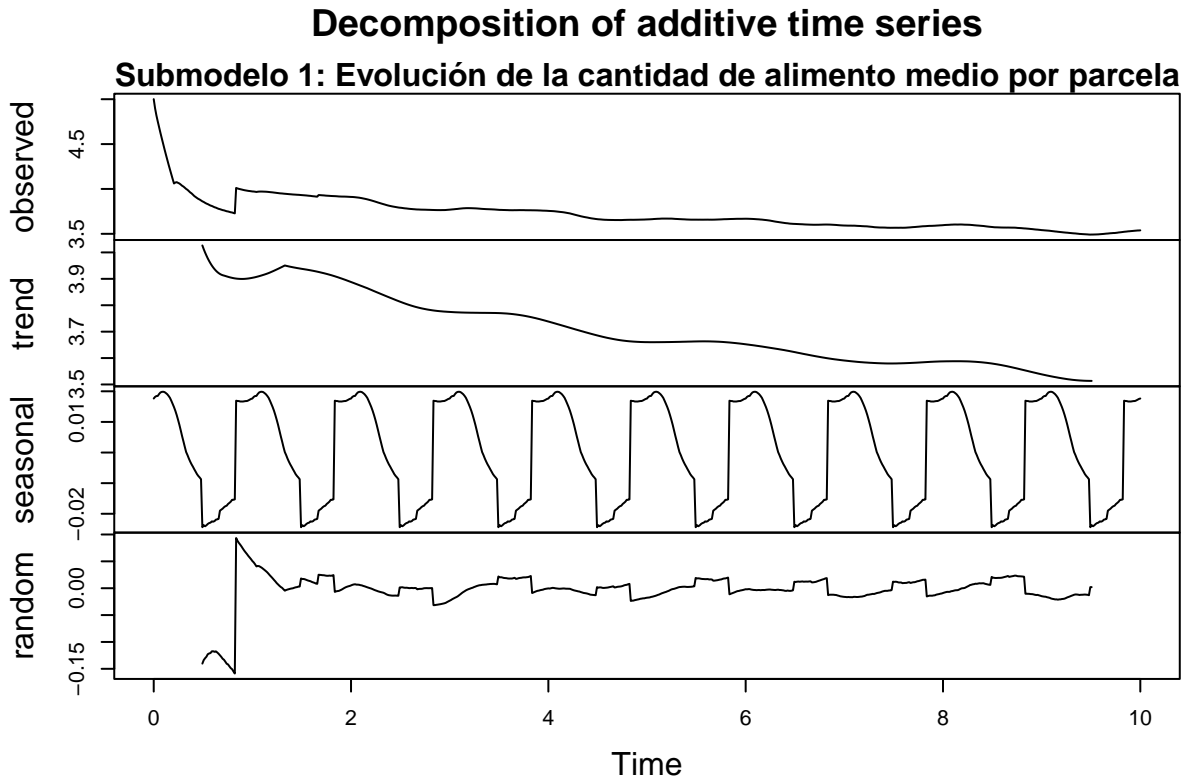


Figura 9: Submodelo 1: Evolución de la cantidad de alimento medio por parcela

Experimento 2

En el segundo experimento, como se ha comentado, se introduce una política que limita la cantidad máxima de ejemplares que un barco puede capturar en un periodo de un año. Para determinar si existe una relación estadística significativa entre el valor de las variables independientes y las dependientes se han calculado los siguientes estadísticos:

En cuanto a la relación entre el valor de la cuota y el número de sardinas de la simulación, el valor del coeficiente de regresión de la cuota es de -10.7336. Esto implica que, al aumentar el valor de la cuota y cambiar el grupo de referencia, el número de sardinas de la simulación desciende en más de 10 unidades. El valor del R^2 , por su parte, es de 0.4162.

En cuanto a la relación entre el valor de la cuota y el número de barcos, el valor del coeficiente de regresión de la cuota es de 0.2144. Esto implica que, al aumentar el valor de la cuota y cambiar el grupo de referencia, el número de barcos de la simulación aumenta también en 0.2 unidades. El valor del R^2 , por su parte, es de 0.08131.

En cuanto a la relación entre el valor de la cuota y el valor de los beneficios medios de los barcos, el valor del coeficiente de regresión de la cuota es de 332.8860. Esto implica que, al aumentar el valor de la cuota y cambiar el grupo de referencia, el número de barcos de la simulación aumenta también en 332.8860 unidades. El valor del R^2 , por su parte, es de 0.2881.

El Cuadro 2 muestra los resúmenes de regresión con la variable cuota como VI.

La Figura 10 muestra los gráficos de dispersión las rectas de regresión con la variable cuota como VI.

Cuadro 2: Experimento 2: Resumen de regresión. VDs= Número de Sardinas, Número de Barcos, Beneficios Medios. VI = Cuota

	Número Sardinas	Número Barcos	Beneficios Medios
(Intercept)	205.510 (0.099)	9.887 (0.006)	-293.324 (4.060)
cuota	-10.734 (0.015)	0.214 (0.001)	332.886 (0.612)
Num.Obs.	731 000	731 000	731 000
R2	0.416	0.081	0.288
R2 Adj.	0.416	0.081	0.288
AIC	7 311 867.7	3 115 960.5	12 746 970.8
BIC	7 311 902.2	3 115 995.0	12 747 005.3
RMSE	35.96	2.04	1480.18

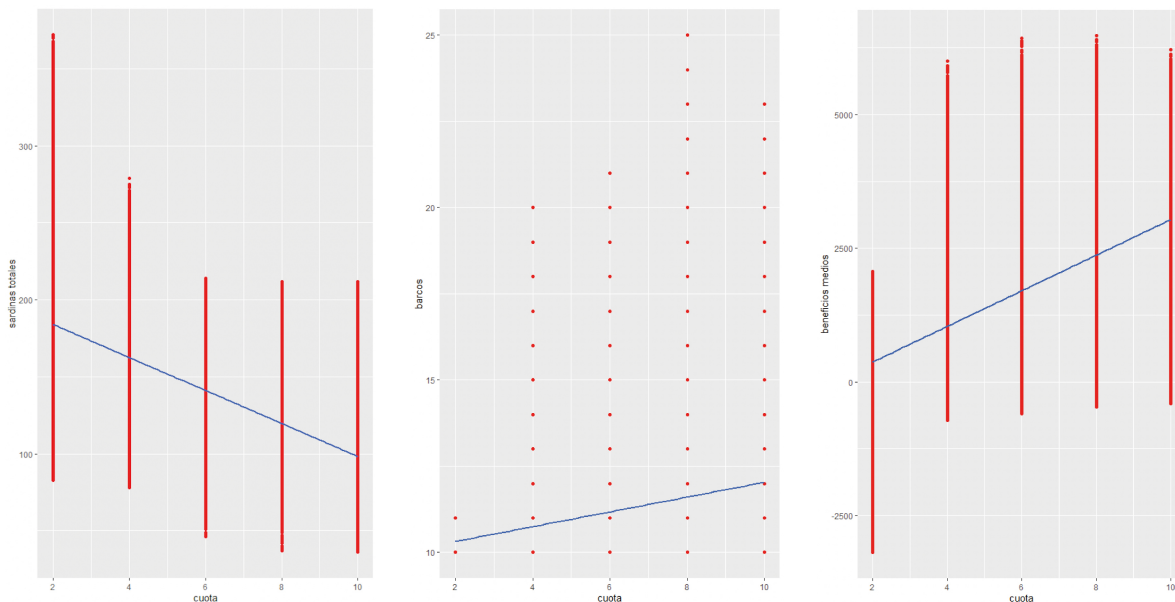


Figura 10: “Submodelo 2: Rectas de regresión. VDs: Número de sardinas, Número de barcos, Beneficios medios. VI: Cuota”

Las series temporales que muestran la evolución de las poblaciones de sardinas a lo largo de la simulación están representadas gráficamente en las figuras 11, 12, 13, 14 y 15. Al observarlas, se puede comprobar cómo se reproducen patrones muy similares en cada uno de los componentes de la serie con cada valor de la cuota. Se observan periodos de crecimiento que coinciden con los puntos temporales en los que se produce el desove de las sardinas, seguidos de periodos de decrecimiento que se acentúan en los casos en los que aumenta el valor de la cuota. El componente que más variación presenta es la tendencia. Al observar los gráficos, se comprueba que cuanto mayor es el valor de la cuota, la tendencia tendrá una pendiente más negativa y viceversa. Es decir, aunque el resto de componentes de las series muestran resultados muy similares, cuando varía el valor de la cuota se recogen variaciones determinantes en la tendencia de la serie. De este modo, cuando a la cuota se le asigna el valor máximo del experimento, la población de sardinas desciende hasta aproximadamente los 50 ejemplares una vez transcurridos 10 años de simulación, mientras que cuando la cuota tiene el valor mínimo, la población de sardinas aumenta hasta más de los 250 ejemplares. Los patrones

más estables se registran cuando a la cuota se le asignan valores intermedios.

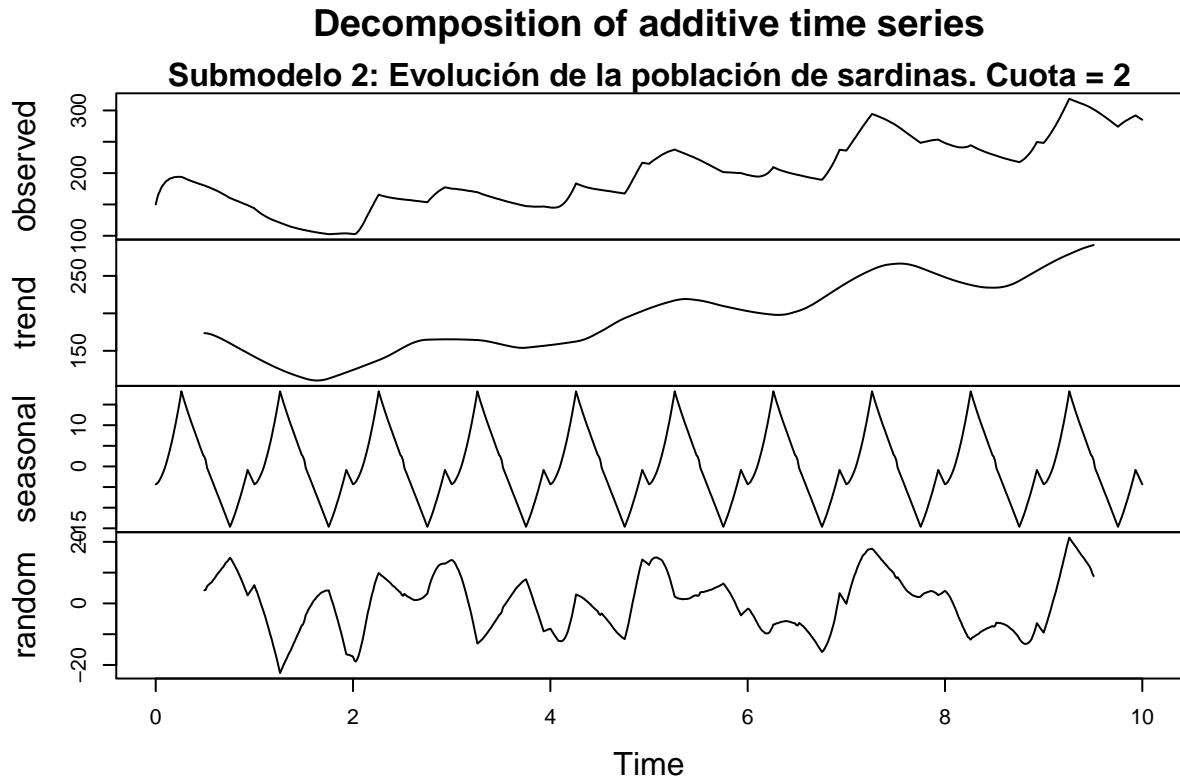


Figura 11: Submodelo 2: Evolución de la población de sardinas. Cuota = 2

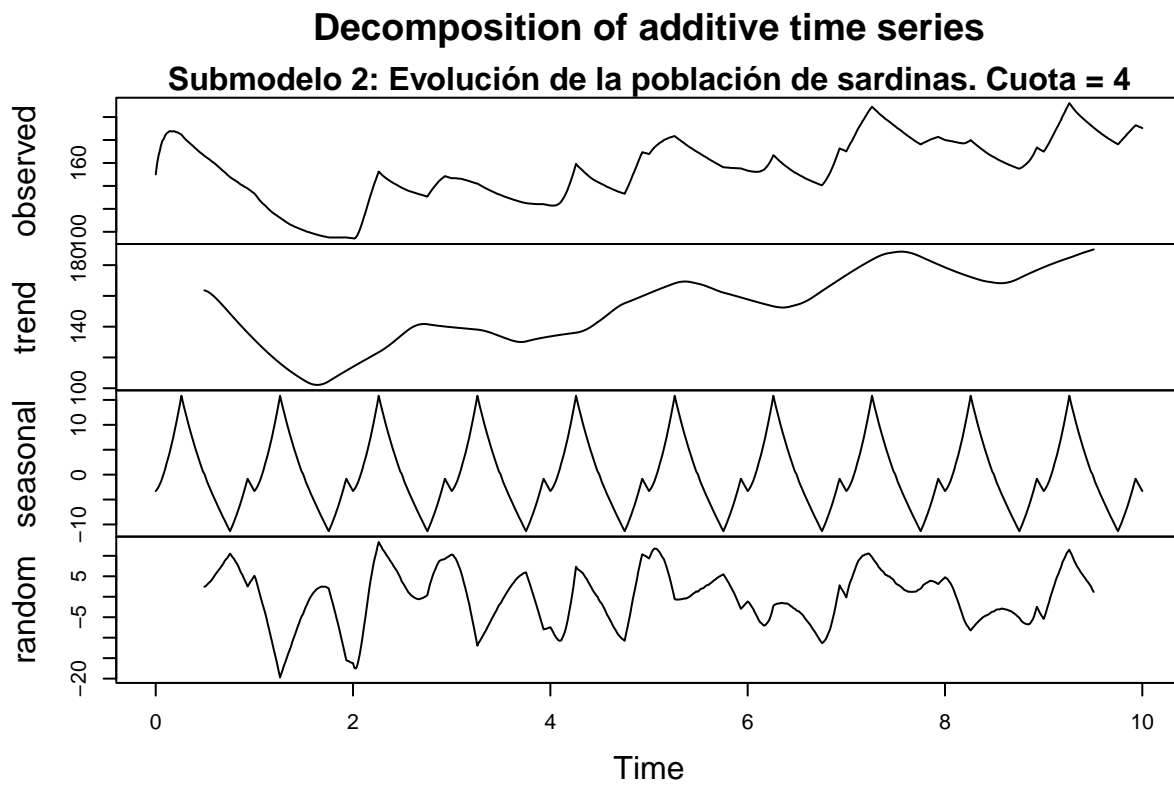


Figura 12: Submodelo 2: Evolución de la población de sardinas. Cuota = 4

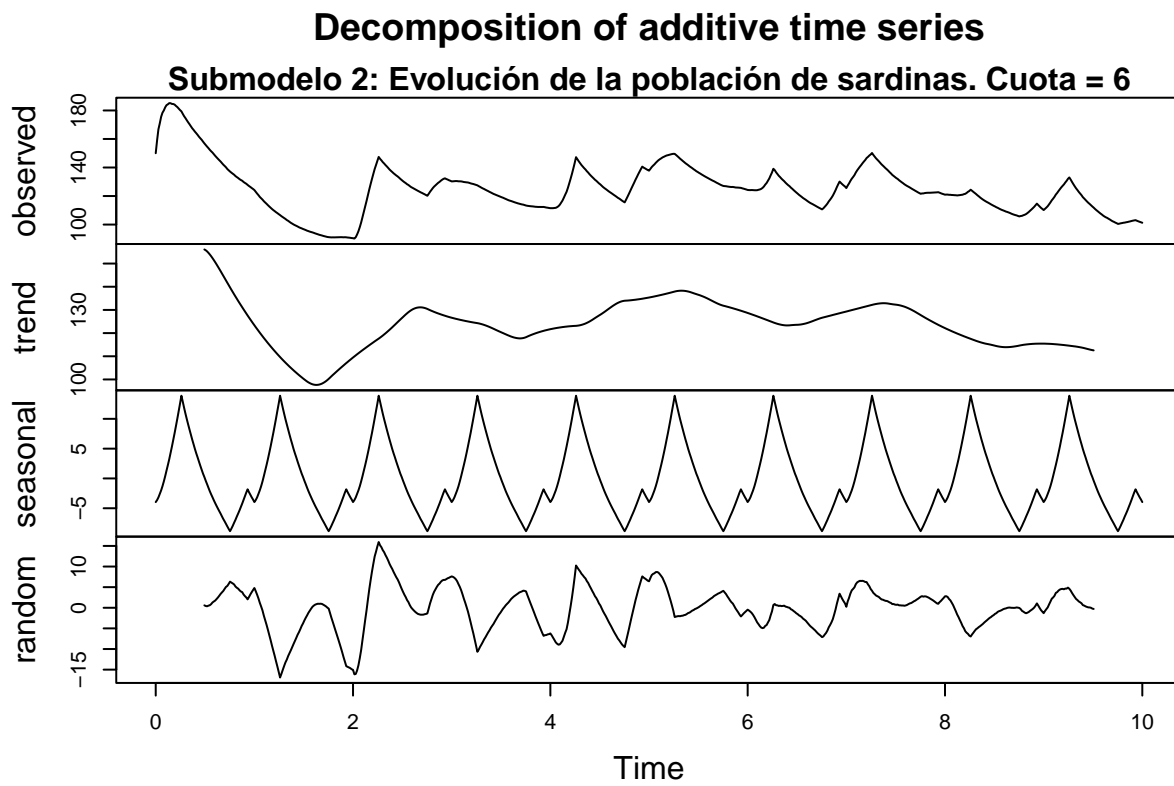


Figura 13: Submodelo 2: Evolución de la población de sardinas. Cuota = 6

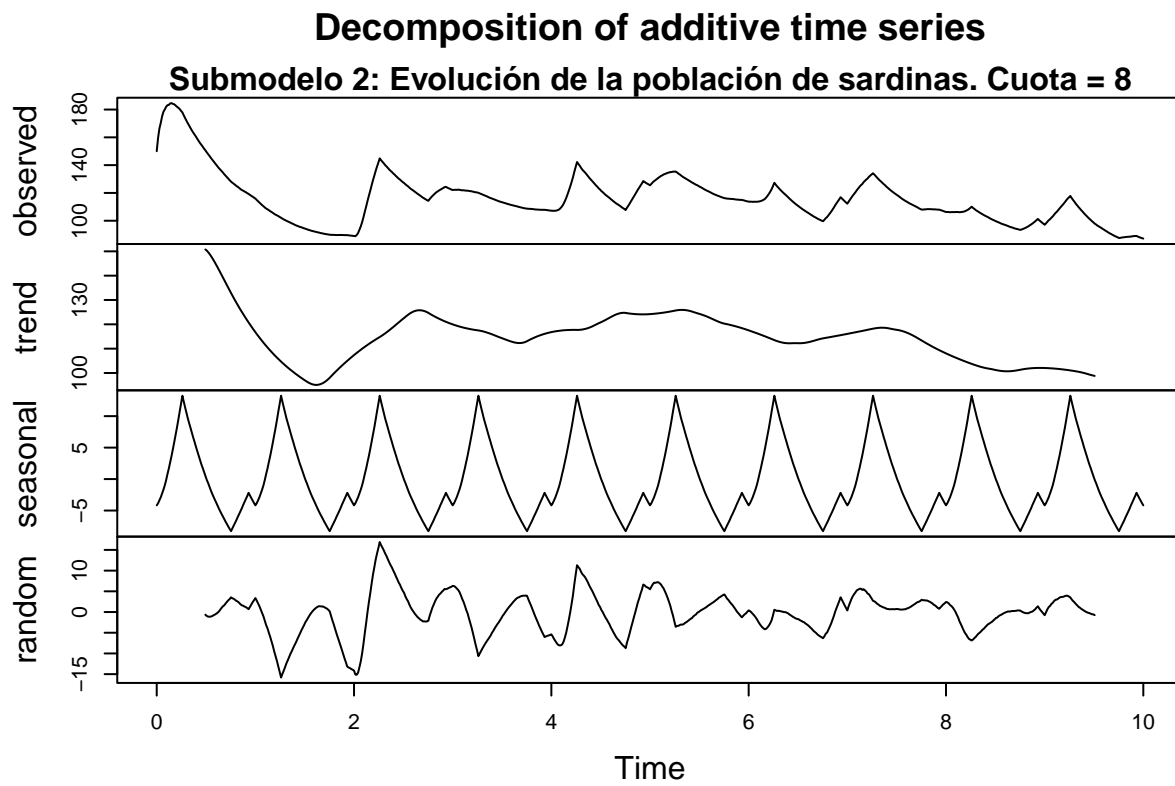


Figura 14: Submodelo 2: Evolución de la población de sardinas. Cuota = 8

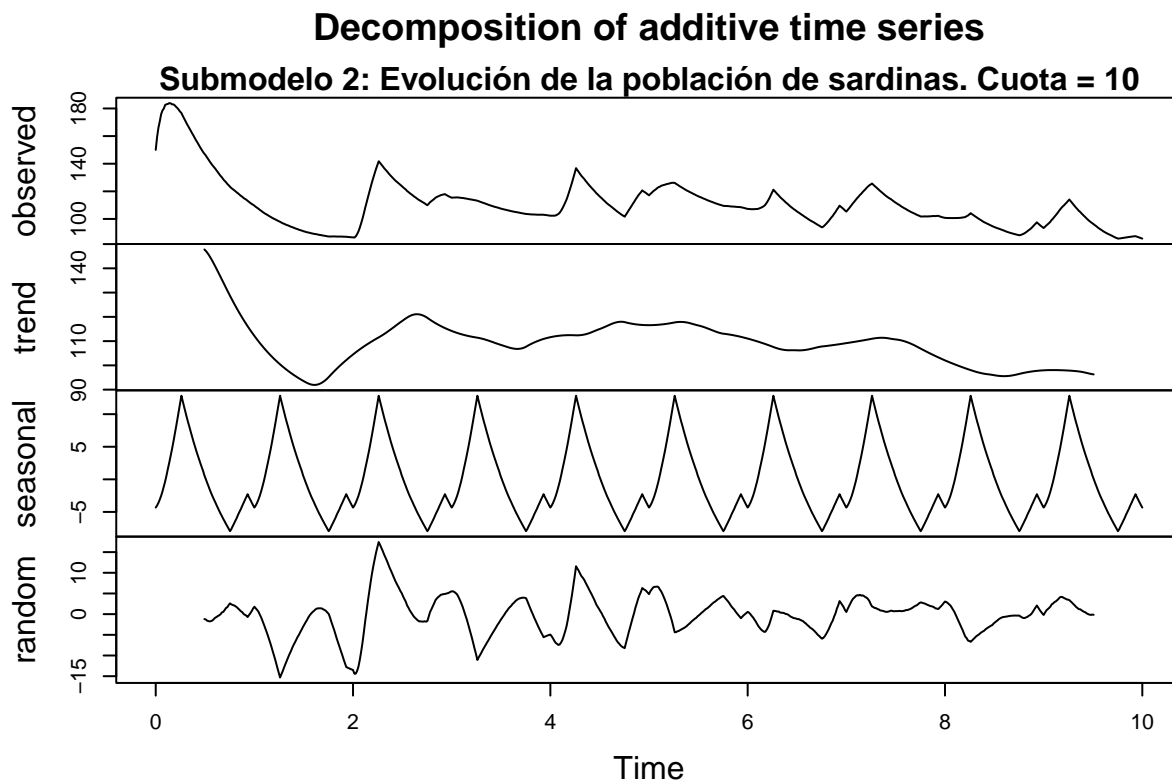


Figura 15: Submodelo 2: Evolución de la población de sardinas. Cuota = 10

Las series temporales que muestran la evolución del número de barcos a lo largo de la simulación están representadas gráficamente en las figuras 16, 17, 18, 19 y 20. Al observarlas, se puede comprobar cómo se reproducen dos tipos de patrones muy distintos. En los casos en los que a la cuota se le asigna el valor 2, se puede ver cómo no se produce prácticamente ningún aumento en el número de barcos, y si se produce es de una unidad, como se puede comprobar en el gráfico de dispersión (Figura 10). Sin embargo, cuando el valor de la cuota aumenta, también lo hace el número de barcos. De este modo, se puede observar cómo de media se han introducido 6 nuevos barcos en la simulación en los casos en los que a la cuota se le asignan los valores 6, 7 y 8. En estos tres últimos casos, se observa un componente estacional, que produce aumentos de la pendiente de la tendencia al finalizarse los ejercicios productivos y reanudarse la actividad pesquera.

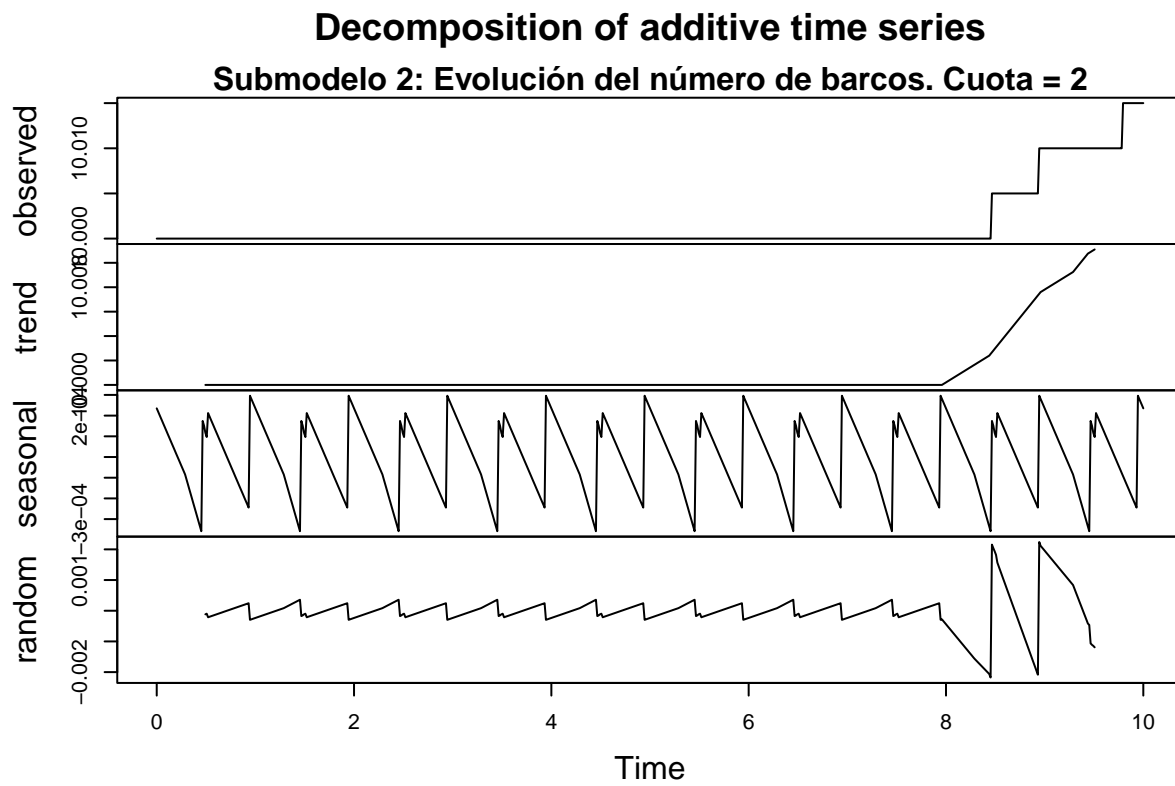


Figura 16: Submodelo 2: Evolución del número de barcos. Cuota = 2

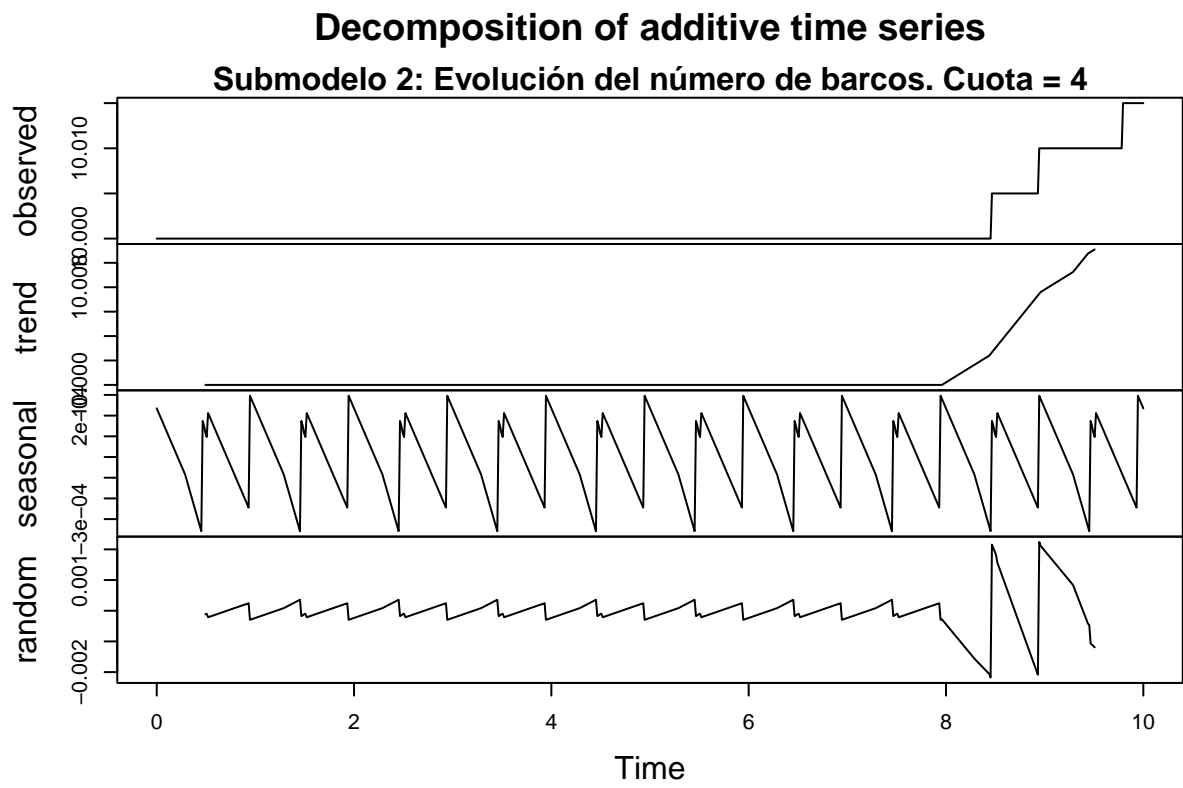


Figura 17: Submodelo 2: Evolución del número de barcos. Cuota = 4

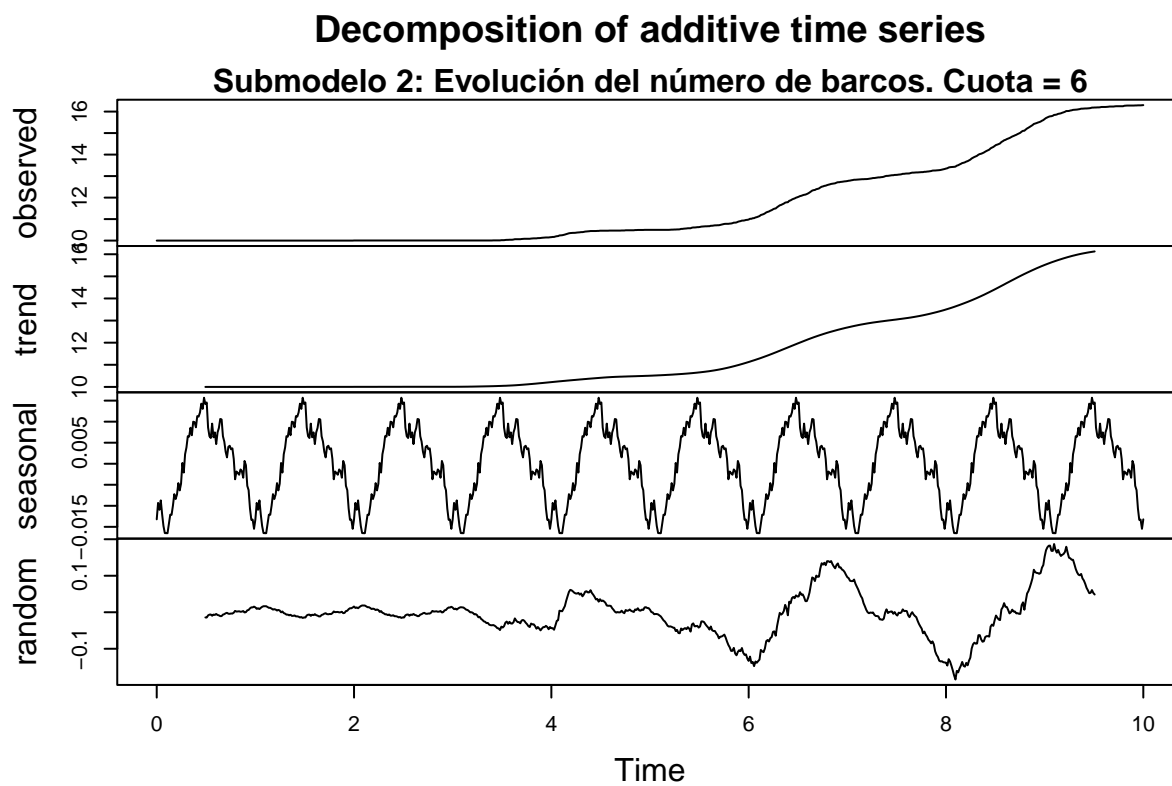


Figura 18: Submodelo 2: Evolución del número de barcos. Cuota = 6

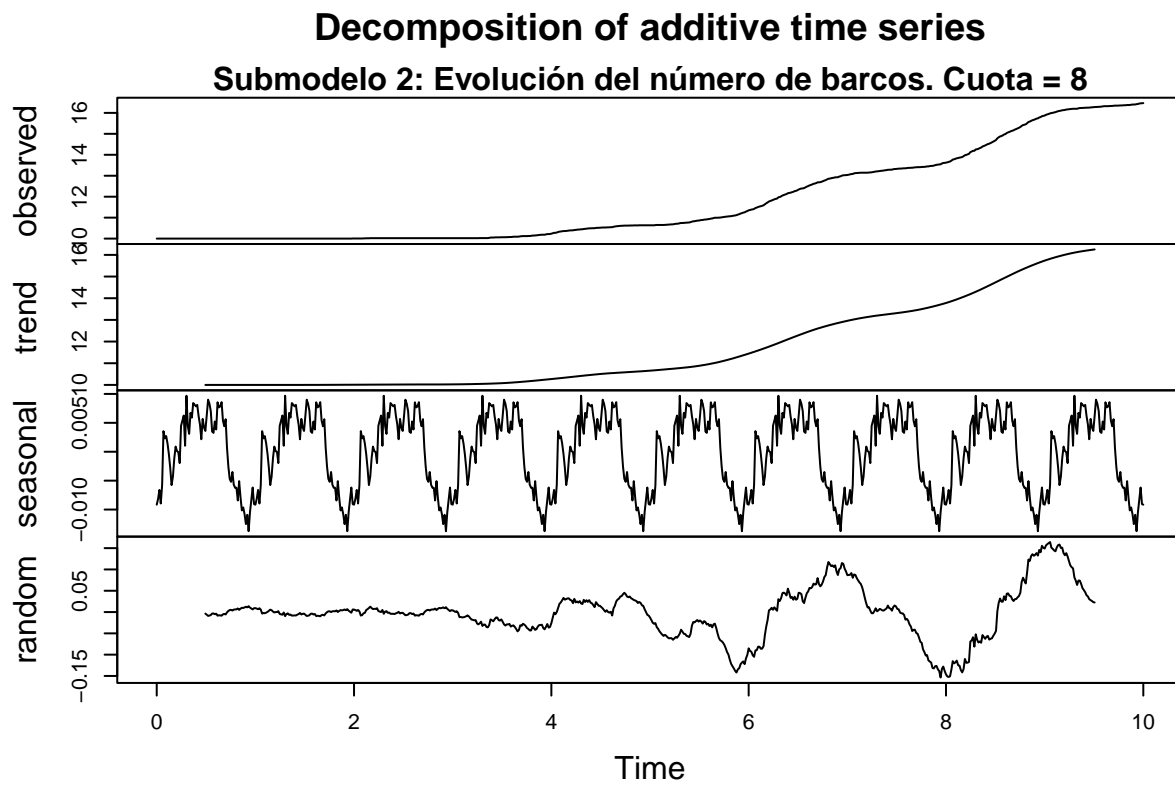


Figura 19: Submodelo 2: Evolución del número de barcos. Cuota = 8

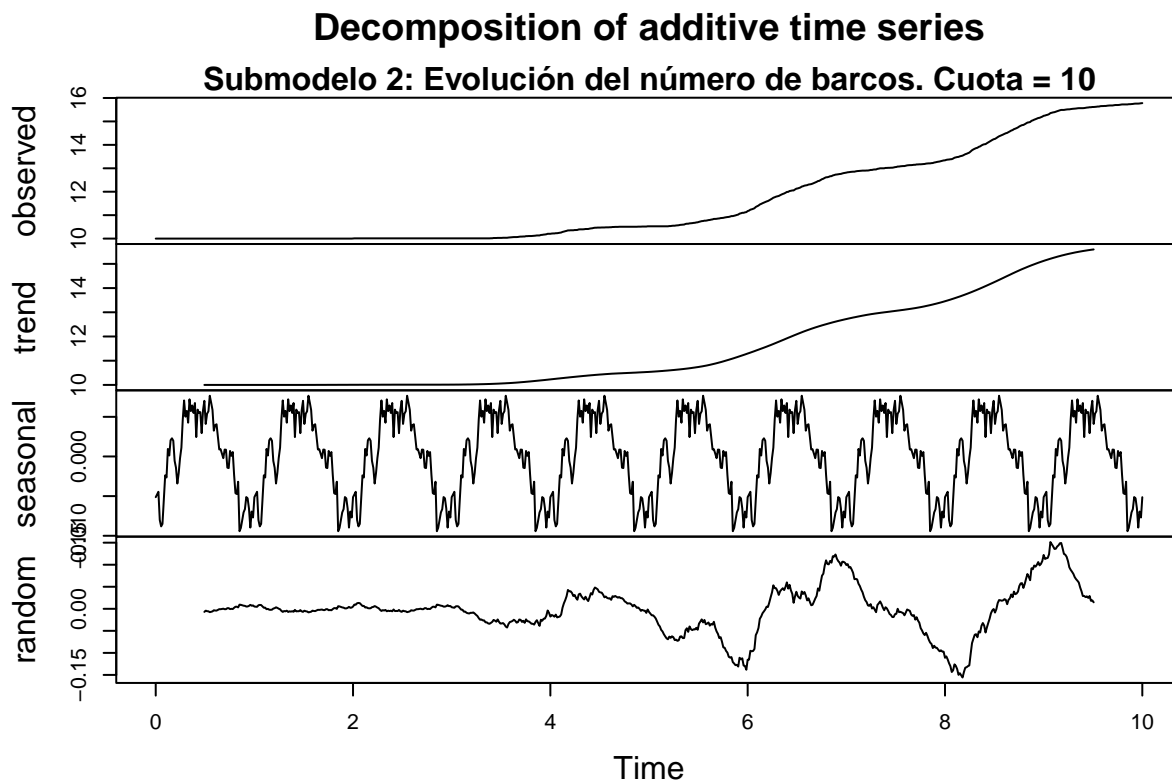


Figura 20: Submodelo 2: Evolución del número de barcos. Cuota = 10

Las series temporales que muestran la evolución de los beneficios medios de los barcos a lo largo de la simulación están representadas gráficamente en las figuras 21, 22, 23, 24 y 25. Al observarlas, se puede comprobar cómo se reproducen dos tipos de patrones muy distintos. En los casos en los que a la cuota se le asigna los valores 2 y 4, los resultados son prácticamente iguales. Se observa cómo la actividad se convierte en deficitaria desde el principio de la simulación, y aunque hay breves periodos en los que se producen oscilaciones, la tendencia es negativa hasta el sexto año, momento en el que se produce un pequeño repunte, que no es suficiente para evitar que los barcos tengan pérdidas. Se observa un componente estacional claramente identificable, que coincide con los fines de ejercicio productivo y recuperación de la actividad pesquera. En el resto de casos de la cuota, la evolución observada presenta unos patrones muy distintos de estos primeros, aunque con grandes similitudes entre sí. Al aumentar el valor de la cuota, el factor estacional pierde relevancia, aunque continúa siendo notorio. La gran diferencia respecto a los dos primeros casos, es que se invierte la tendencia. Es decir, durante los 6 primeros años se registran importantes ingresos y a partir de ese momento la tendencia toma una pendiente negativa, aunque esto no llega a suponer un grave problema para la actividad pesquera ya que esta sigue reportando beneficios económicos. Estos comportamientos pueden deberse a que, en el primero de los casos, el número de sardinas es muy elevado a partir del sexto año y viceversa.

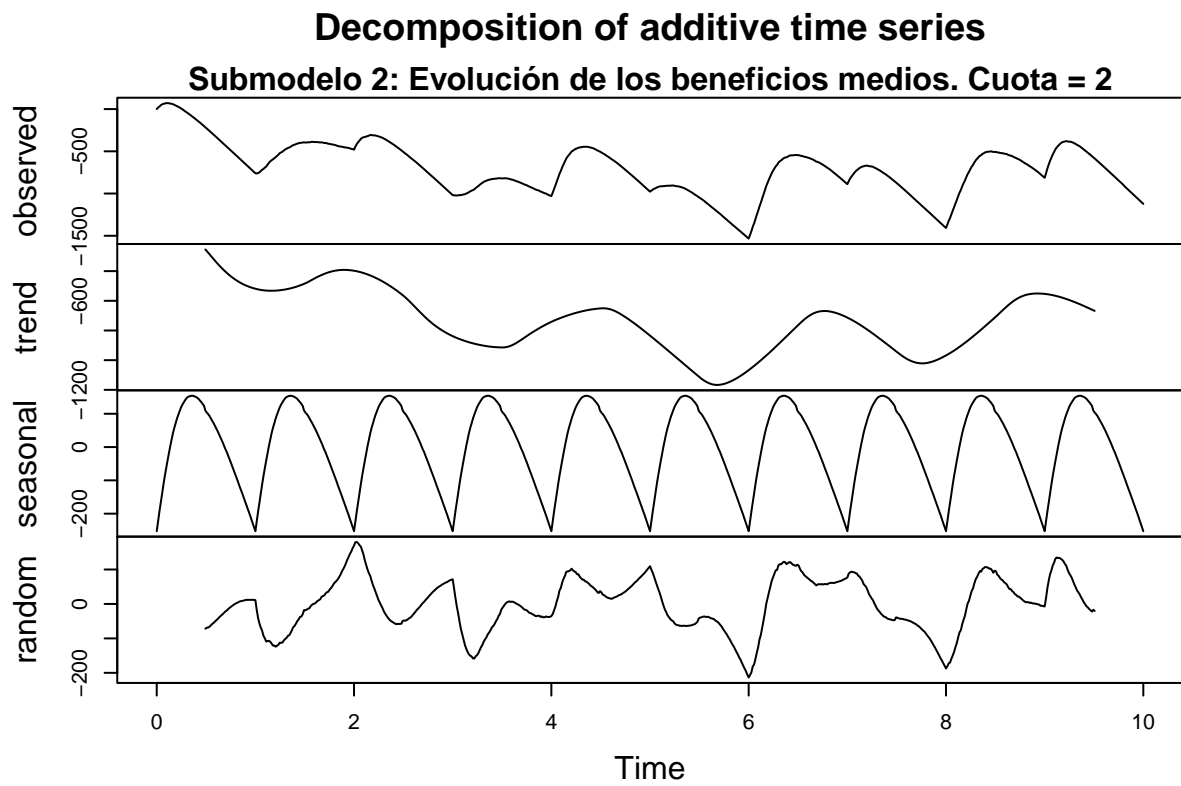


Figura 21: Submodelo 2: Evolución de los beneficios medios. Cuota = 2

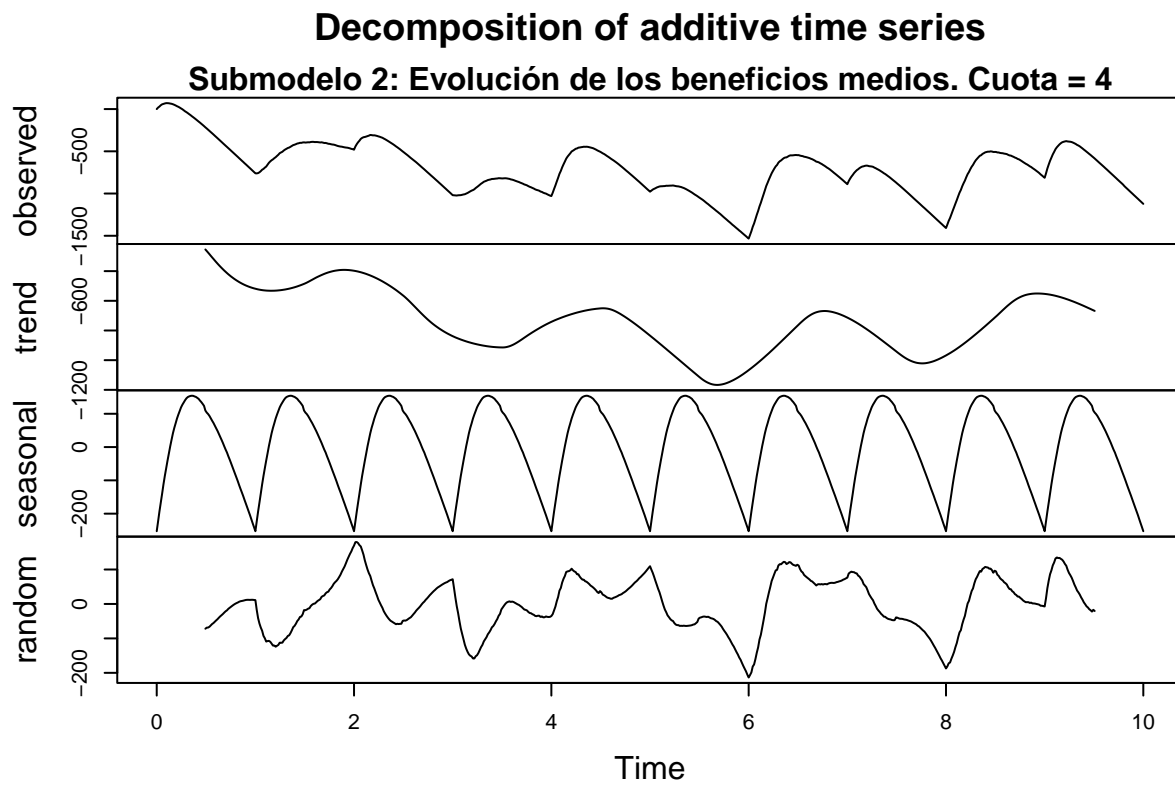


Figura 22: Submodelo 2: Evolución de los beneficios medios. Cuota = 4

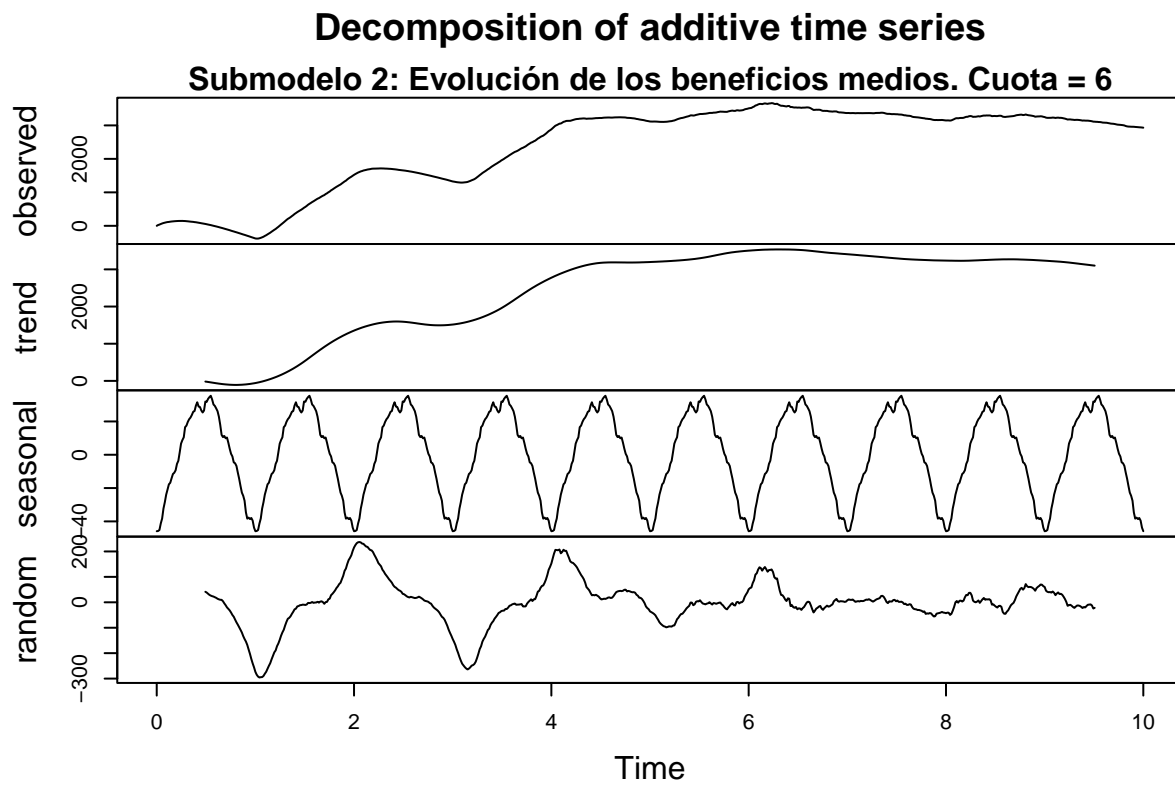


Figura 23: Submodelo 2: Evolución de los beneficios medios. Cuota = 6

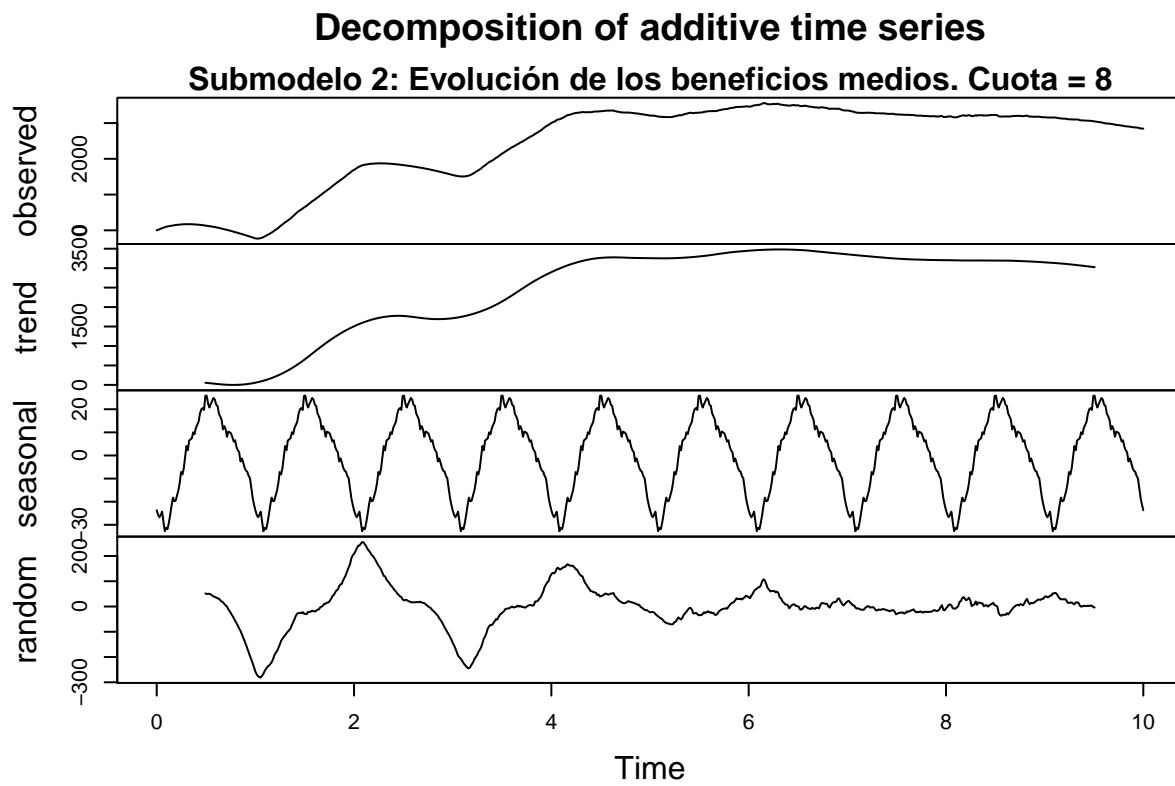


Figura 24: Submodelo 2: Evolución de los beneficios medios. Cuota = 8

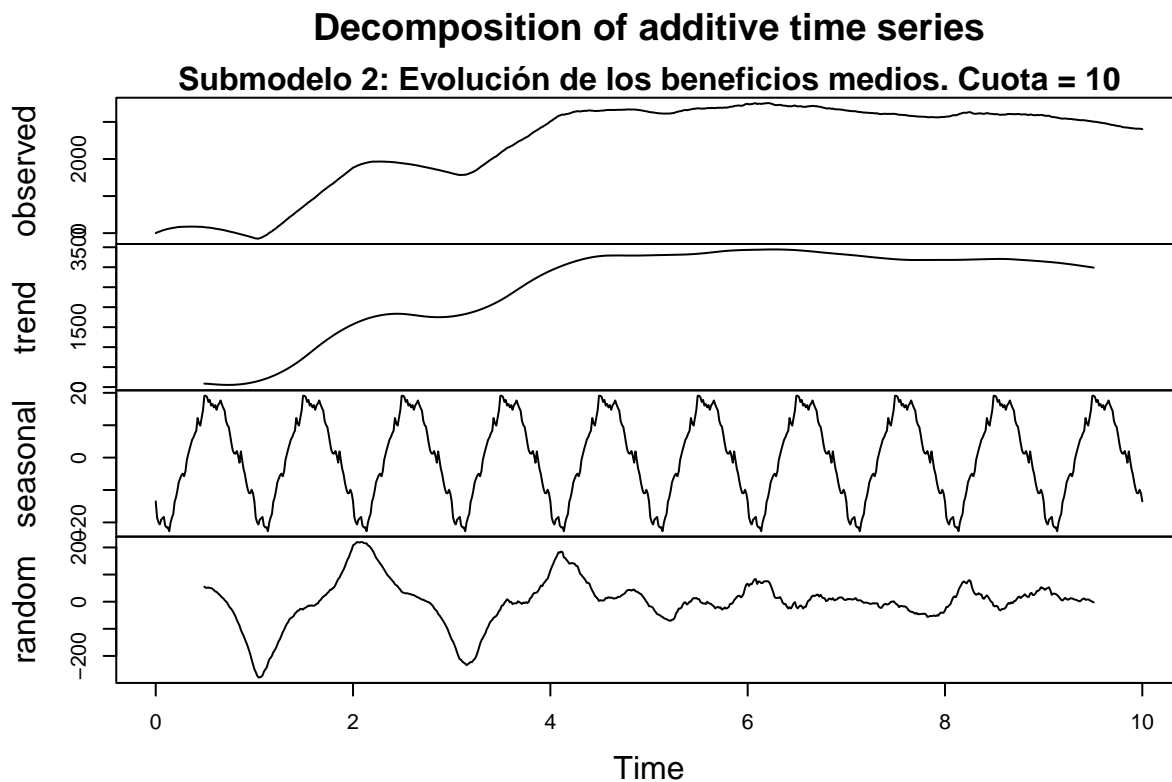


Figura 25: Submodelo 2: Evolución de los beneficios medios. Cuota = 10

Experimento 3

Los gráficos que muestran las series temporales con la evolución de la población de sardinas presentan unos patrones muy similares a los que se muestran en la Figura 6. Al igual que ocurría en el primer experimento, las series observadas comienzan con un valor elevado que rápidamente se precipita, y tras el primer año, se estabilizan alrededor de los 120 ejemplares. La tendencia también es decreciente en los primeros años y se estabiliza conforme avanza la simulación. En relación a la estacionalidad de la serie, se observan los mismos patrones cíclicos del Experimento 1, que se repiten durante cada uno de los años de la simulación. Estos patrones describen un ligero crecimiento del número de sardinas seguido de uno considerablemente mayor. El error o componente aleatorio oscila entre los valores -15 y 15, aunque suele mantenerse alrededor del ± 10 . Todas las series estudiadas presentan esta estructura, con unas ligeras diferencias. Cuando los valores de las cargas impositivas son más elevadas, el número de sardinas de la simulación también aumenta ligeramente. Al comparar los resultados con los del Experimento 1, se puede observar cómo al introducir las gravaciones fiscales, la tendencia de las series deja de ser negativa en términos generales hacia la mitad de la simulación, e incluso pasa a ser positiva en términos generales en los momentos en los que el valor de las gravaciones es mayor.

Las figuras 26 y 27 muestran la evolución del número de sardinas cuando la carga impositiva es la máxima y la mínima respectivamente

Evolución de la población de sardinas Decomposition of additive time series

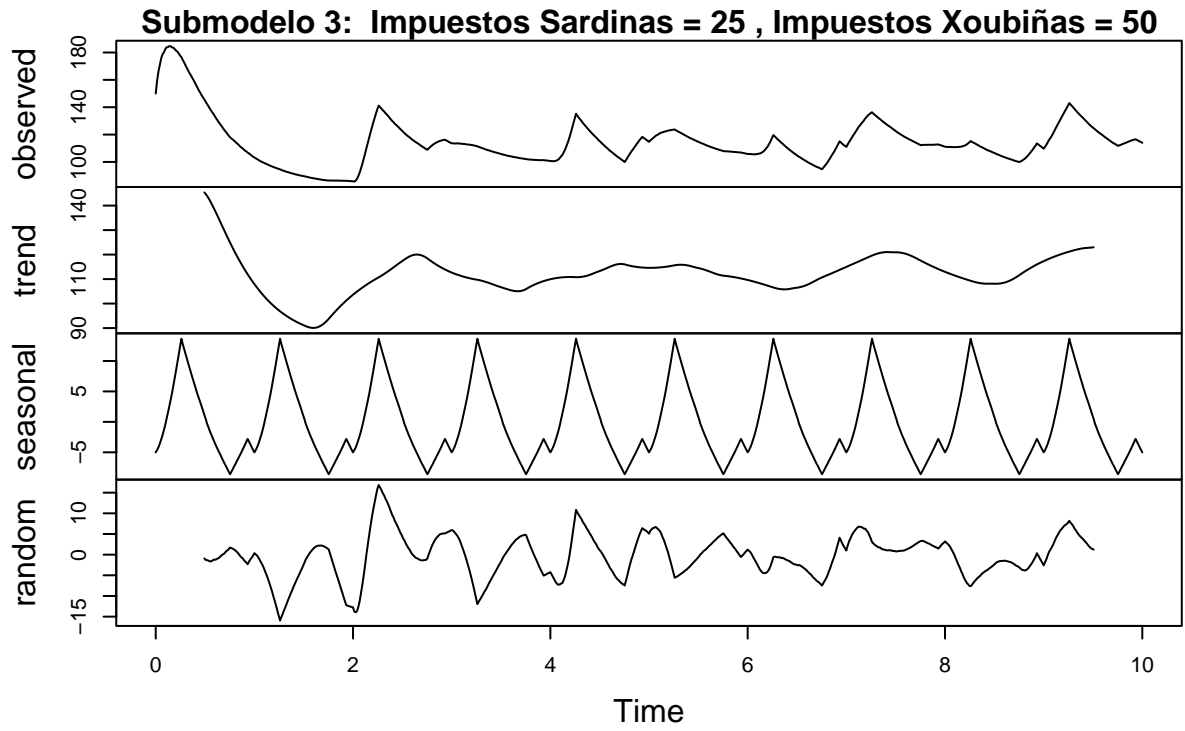


Figura 26: Submodelo 3: Evolución de la población de sardinas. Impuestos Sardinas = 25 , Impuestos Xoubiñas = 50

Evolución de la población de sardinas Decomposition of additive time series

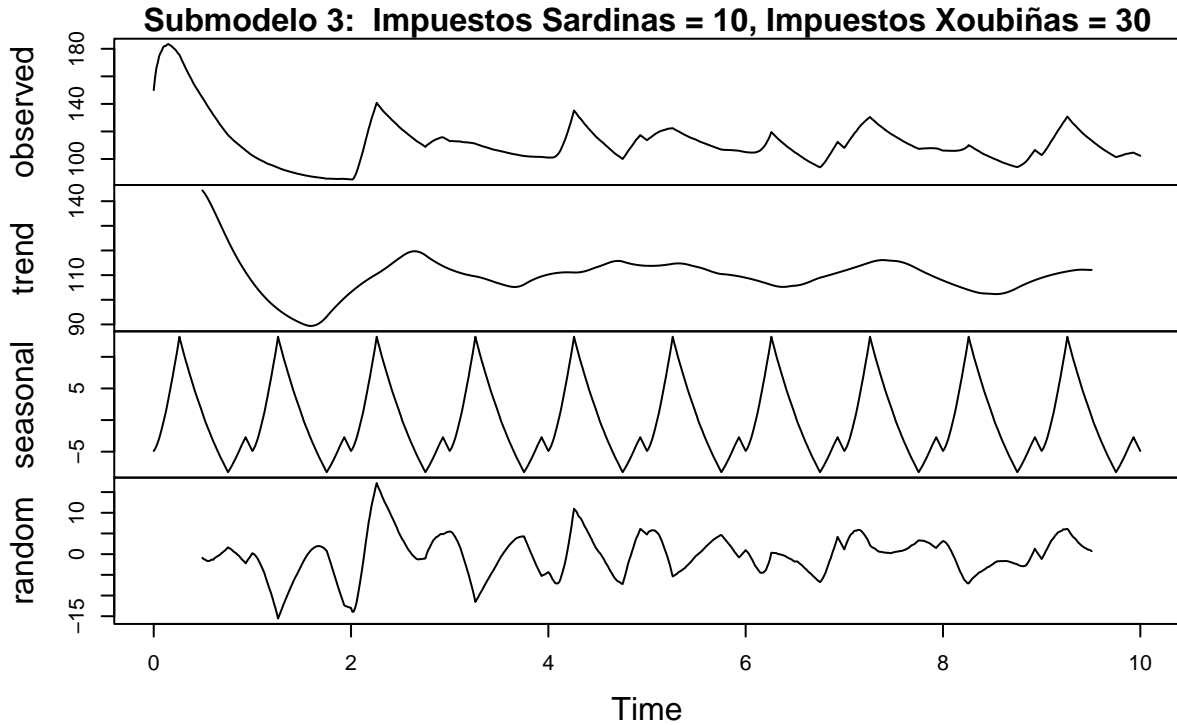


Figura 27: Submodelo 3: Evolución de la población de sardinas. Impuestos Sardinas = 10 , Impuestos Xoubiñas = 30

Nuevamente, los gráficos que muestran las series temporales con la evolución del número de barcos presentan unos patrones muy similares al gráfico del primer experimento. Al igual que ocurría en la Figura 7, los gráficos que muestran la serie observada comienzan con el valor 10, que se mantiene hasta aproximadamente el cuarto año de la simulación. Es a partir de este momento cuando se observa un crecimiento del número de barcos más o menos pronunciado. Cuando las gravaciones fiscales son menores, el crecimiento se realiza de forma progresiva durante todo el recorrido, mientras que cuando son más altas, el número de barcos tarda más tiempo en crecer, hasta que lo hace con mayor brusquedad. Al final de la simulación, el número de barcos del modelo oscila entre los 11 y los 13. La tendencia, como ocurría en el Experimento 1, es positiva y replica casi con exactitud la evolución de la serie observada. Al igual que en la Figura 7, no se logra diferenciar un componente estacional tan marcado como en el caso de la evolución de la población de sardinas, aunque sí se pueden observar ligeros cambios en la pendiente de la curva coincidiendo con los periodos de desove de las sardinas. El error o componente aleatorio, por su parte, tampoco presenta grandes variaciones. Al comparar los resultados con los del Experimento 1, se puede observar cómo al introducir gravaciones fiscales, el número de barcos es ligeramente menor. Cuanto mayor sea el valor monetario de estas, menor será el número de barcos que se registran. Esto concuerda con los resultados obtenidos al evaluar las series que muestran la evolución de las sardinas, pues probablemente ese aumento en la población de sardinas se debe al descenso del número de barcos.

Las figuras 28 y 29 muestran la evolución del número de barcos cuando la carga impositiva es la máxima y la mínima respectivamente

Evolución del número de barcos Decomposition of additive time series

Submodelo 3: Impuestos Sardinas = 25, Impuestos Xoubiñas = 50

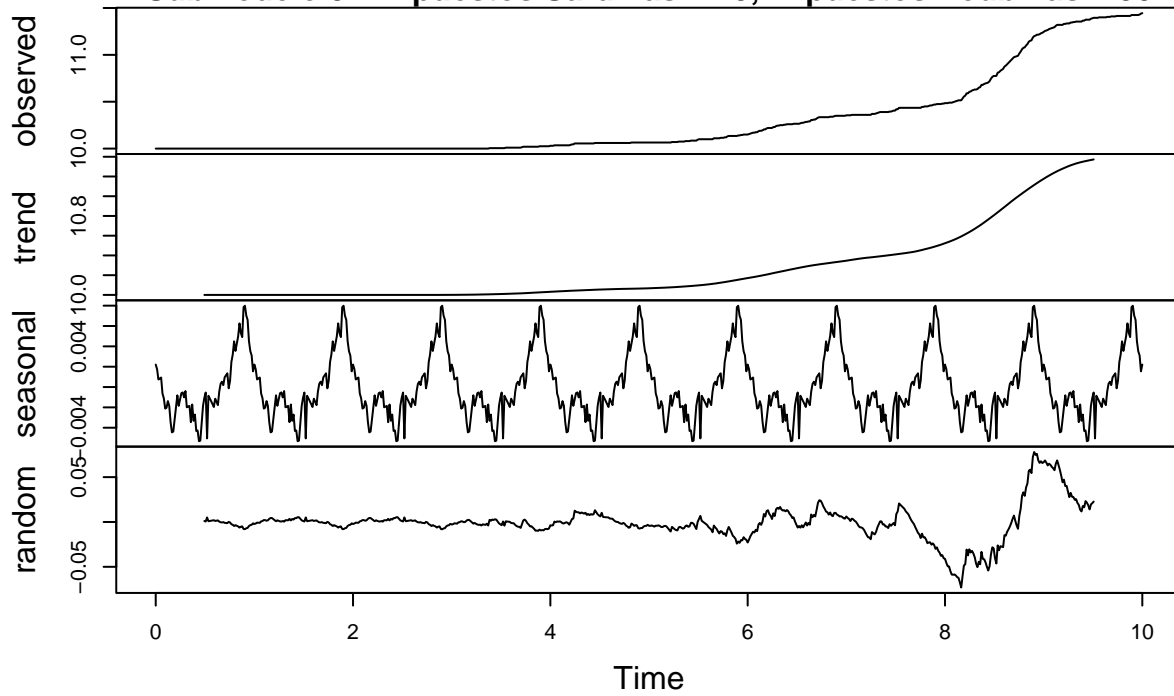


Figura 28: Submodelo 3: Evolución del número de barcos. Impuestos Sardinas = 25, Impuestos Xoubiñas = 50

Evolución del número de barcos Decomposition of additive time series

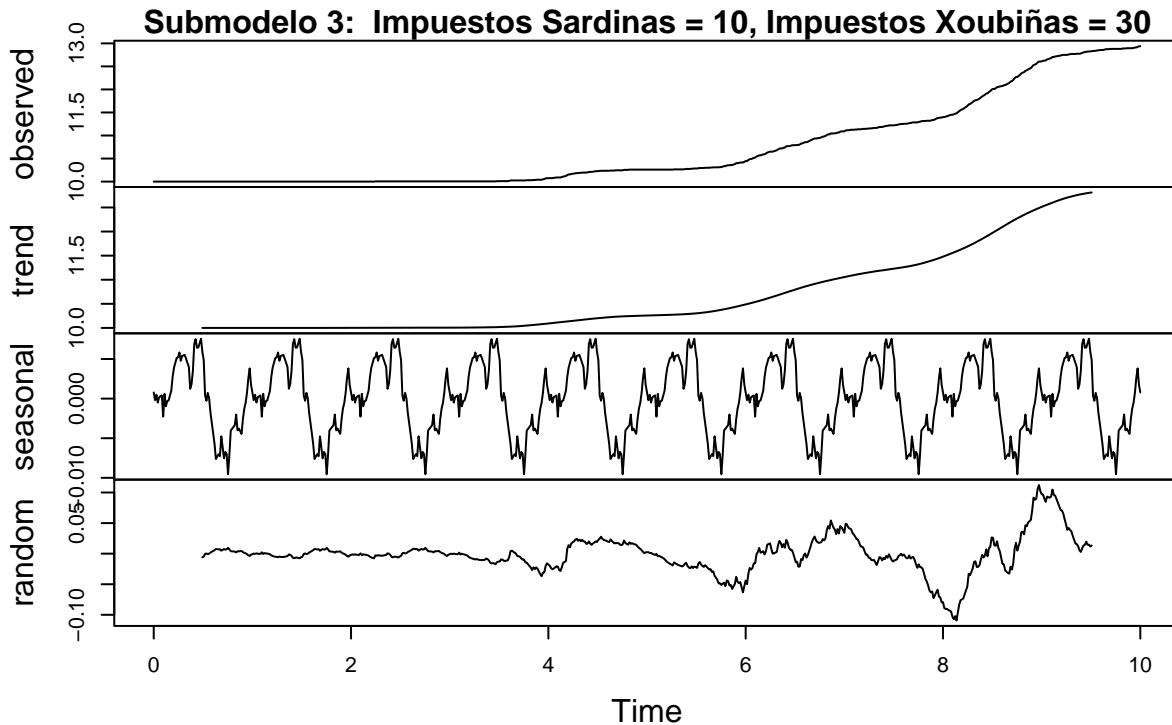


Figura 29: Submodelo 3: Evolución del número de barcos. Impuestos Sardinas = 10, Impuestos Xoubiñas = 30

Al igual que en los casos anteriores, los gráficos que muestran la evolución de los beneficios medios de los barcos a lo largo de la simulación replican los patrones observados en el Experimento 1, con ligeras variaciones. Durante los primeros años se observa un crecimiento pronunciado de los beneficios seguido de breves momentos de acentuada pendiente decreciente. A partir del cuarto año, tanto el crecimiento como los cambios de pendiente se realizan de forma más progresiva, y a partir del sexto año por lo general ya no se observa una pendiente negativa con ligeros repuntes en el valor de los beneficios, como sí ocurría en el Experimento 1. La tendencia describe con exactitud lo anteriormente descrito: una primera etapa de oscilaciones pronunciadas con predominio de la tendencia positiva seguida de una segunda etapa donde los ciclos se estabilizan. El componente estacional de la serie nuevamente es claramente identificable, coincidiendo los momentos de tendencia positiva con los periodos de desove de los peces, y el error o componente aleatorio presenta fluctuaciones más pronunciadas en su valor durante los primeros cuatro años de la simulación, y menos pronunciadas en los momentos finales. Cuando el valor de las gravaciones es más elevado, el valor de los beneficios disminuye. Esto concuerda con lo observado en los casos anteriores, pues el número de sardinas de la simulación influye en los beneficios que generen los barcos, y estos influyen en el número de barcos que haya en la simulación y viceversa: el número de barcos que haya en la simulación influye en el número de sardinas que haya, y esto influye en los beneficios que los barcos puedan generar.

Las figuras 30 y 31 muestran la evolución del valor de los beneficios de los barcos cuando la carga impositiva es la máxima y la mínima respectivamente

Evolución de los beneficios medios de los barcos Decomposition of additive time series

Submodelo 3: Impuestos Sardinias = 25, Impuestos Xoubiñas = 50

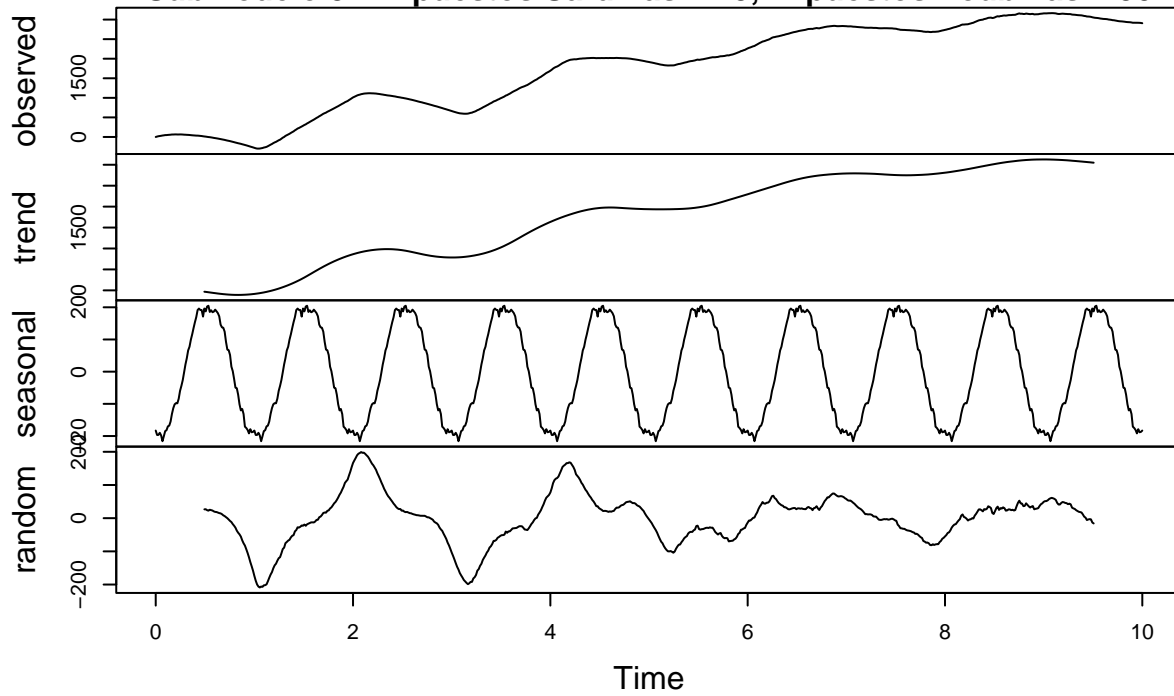


Figura 30: Submodelo 3: Evolución de los beneficios medios de los barcos. Impuestos Sardinias = 25, Impuestos Xoubiñas = 50

Evolución de los beneficios medios de los barcos Decomposition of additive time series

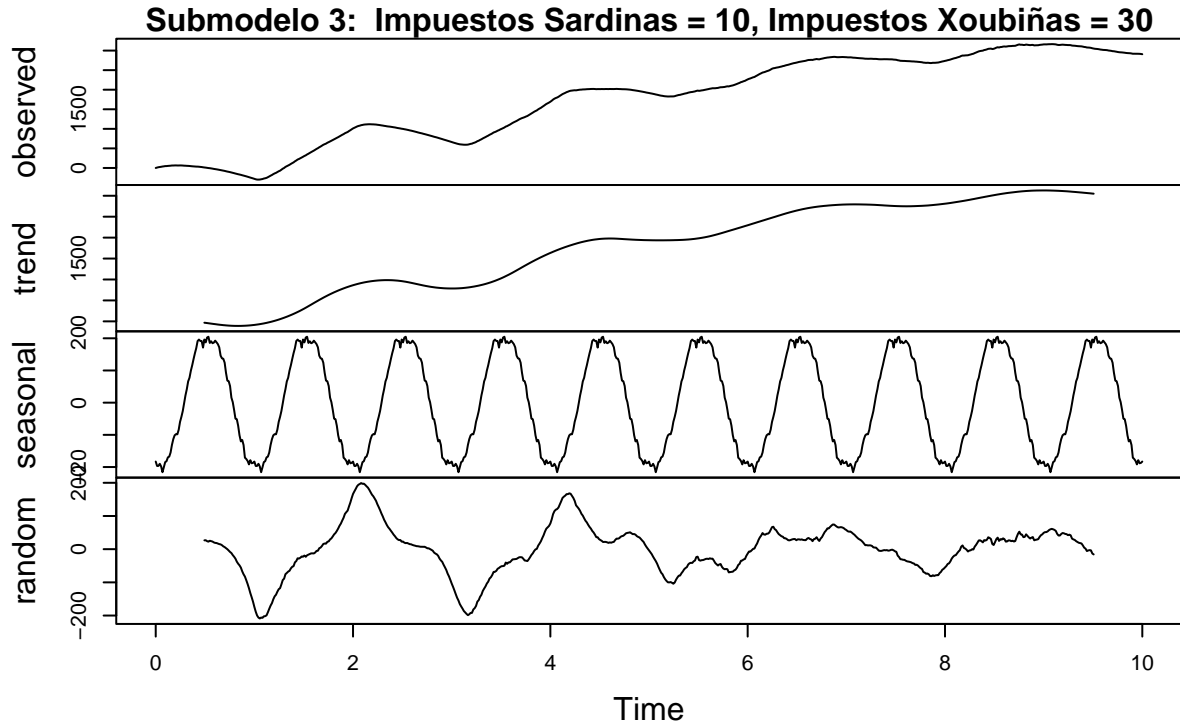


Figura 31: Submodelo 3: Evolución de los beneficios medios de los barcos. Impuestos Sardinias = 10, Impuestos Xoubiñas = 30

Experimento 4

En el experimento cuarto se simula la introducción de una cuota que limita la cantidad de contaminación que un barco puede producir en un periodo de un año. Para determinar si existe una relación estadística significativa entre el valor de las variables independientes y las dependientes se han calculado los siguientes estadísticos:

Para determinar la relación entre el valor de la cuota, el control y la multa y el número de sardinias de la simulación, se elabora un modelo de regresión lineal múltiple. Tras el cálculo, el coeficiente de regresión de la cuota toma el valor -1.394×10^{-3} , el coeficiente de regresión de la multa toma el valor 4.583×10^{-3} , y el coeficiente de regresión del control toma el valor 9.622×10^{-2} . Así pues, el número de sardinias de la simulación disminuye cuando aumenta el valor de la cuota y viceversa, y aumenta cuando aumentan el valor de las sanciones y el porcentaje de control que se realiza sobre la contaminación producida y viceversa. El valor de la R^2 , por su parte, es de 0.0995.

Para determinar la relación entre el valor de la cuota, el control y la multa y el valor de los beneficios medios de los barcos con modo eco de la simulación, se elabora un modelo de regresión lineal múltiple. Tras el cálculo, el coeficiente de regresión de la cuota toma el valor 3.880×10^{-1} , el coeficiente de regresión de la multa toma el valor 7.236×10^{-2} , y el coeficiente de regresión del control toma el valor -5.002 . Así pues, el valor de los beneficios medios de este grupo de barcos aumenta cuando también aumentan los valores de la cuota y la multa y viceversa, y disminuye cuando aumenta el porcentaje de control que se realiza sobre la contaminación producida y viceversa. El valor de la R^2 , por su parte, es de 0.3115.

Para determinar la relación entre el valor de la cuota, el control y la multa y el valor de los beneficios medios

Cuadro 3: Experimento 4: Resumen de regresión. VDs= Número de Sardinas, Beneficios Medios Barcos con modo-eco, Beneficios Medios Barcos más contaminantes, Promedio de alimento por parcela. VIs = Cuota, Control, Multa

	Número Sardinas	Beneficios Eco	Beneficios Contaminantes	Alimento
(Intercept)	122.741 (0.123)	-2743.725 (6.376)	-1615.067 (6.669)	3.761 (0.001)
cuota	-0.001 (0.000)	0.388 (0.000)	0.025 (0.000)	0.000 (0.000)
multa	0.005 (0.000)	0.072 (0.000)	0.194 (0.000)	0.000 (0.000)
control	0.096 (0.001)	-5.002 (0.067)	-13.636 (0.070)	0.000 (0.000)
Num.Obs.	2 926 041	2 926 041	2 926 041	2 926 041
R2	0.100	0.312	0.075	0.031
R2 Adj.	0.100	0.312	0.075	0.031
AIC	29 942 821.1	53 058 106.7	53 321 393.2	2 407 186.1
BIC	29 942 885.5	53 058 171.2	53 321 457.7	2 407 250.5
RMSE	40.35	2095.60	2192.03	0.37

de los barcos más contaminantes de la simulación, se elabora un modelo de regresión lineal múltiple. Tras el cálculo, el coeficiente de regresión de la cuota toma el valor 2.532×10^{-2} , el coeficiente de regresión de la multa toma el valor 1.940×10^{-1} , y el coeficiente de regresión del control toma el valor -1.364×10^1 . Así pues, el valor de los beneficios medios de este grupo de barcos aumenta cuando también aumentan los valores de la cuota y la multa y viceversa, y disminuye cuando aumenta el porcentaje de control que se realiza sobre la contaminación producida y viceversa. El valor de la R^2 , por su parte, es de 0.07485.

Para determinar la relación entre el valor de la cuota, el control y la multa y el número promedio de porciones de alimento por parcela de agua, se elabora un modelo de regresión lineal múltiple. Tras el cálculo, el coeficiente de regresión de la cuota toma el valor -1.063×10^{-6} , el coeficiente de regresión de la multa toma el valor -2.282×10^{-5} , y el coeficiente de regresión del control toma el valor 5.762×10^{-5} . Así pues, la cantidad media de porciones de alimento en los parches de agua aumenta cuando también aumenta el porcentaje de control que se realiza sobre la contaminación producida y viceversa; y disminuye cuando aumenta el valor de la cuota y la multa y viceversa. El valor de la R^2 , por su parte, es de 0.03095.

El Cuadro 3 muestra los resúmenes de regresión con la cuota, el control y la multa como VIs; y el número de sardinas, los beneficios medios de los barcos con modo-eco, los beneficios medios de los barcos más contaminantes y el promedio de porciones de alimento por parcela de agua como VDs.

Al calcular los efectos marginales medios de la multa y el control sobre el número de sardinas cuando la cuota es de 6000, el coeficiente del control toma el valor -0.334998 y el de la multa 0.004728. Cuando la cuota es de 10000, el coeficiente del control toma el valor 0.240370 y el de la multa 0.004365. Cuando la cuota es de 15000, el coeficiente del control toma el valor 0.267681 y el de la multa 0.004597. Los resúmenes de estos cálculos se muestran en los cuadros 4, 5 y 6.

Cuadro 4: Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Sardinas totales. Cuota = 6000

	type	term	estimate	std.error	statistic	p.value	conf.low	conf.high
1	response	control	-0.3349978	NA	NA	NA	NA	NA
3	response	multa	0.0047284	NA	NA	NA	NA	NA

En la Figura 32 se muestran los gráficos de los valores predichos ante variaciones en la cuota, el control y la sanción.

Cuadro 5: Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Sardinas totales. Cuota = 10000

	type	term	estimate	std.error	statistic	p.value	conf.low	conf.high
1	response	control	0.2403702	NA	NA	NA	NA	NA
3	response	multa	0.0043648	NA	NA	NA	NA	NA

Cuadro 6: Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Sardinas totales. Cuota = 15000

	type	term	estimate	std.error	statistic	p.value	conf.low	conf.high
1	response	control	0.2676805	NA	NA	NA	NA	NA
3	response	multa	0.0045972	NA	NA	NA	NA	NA

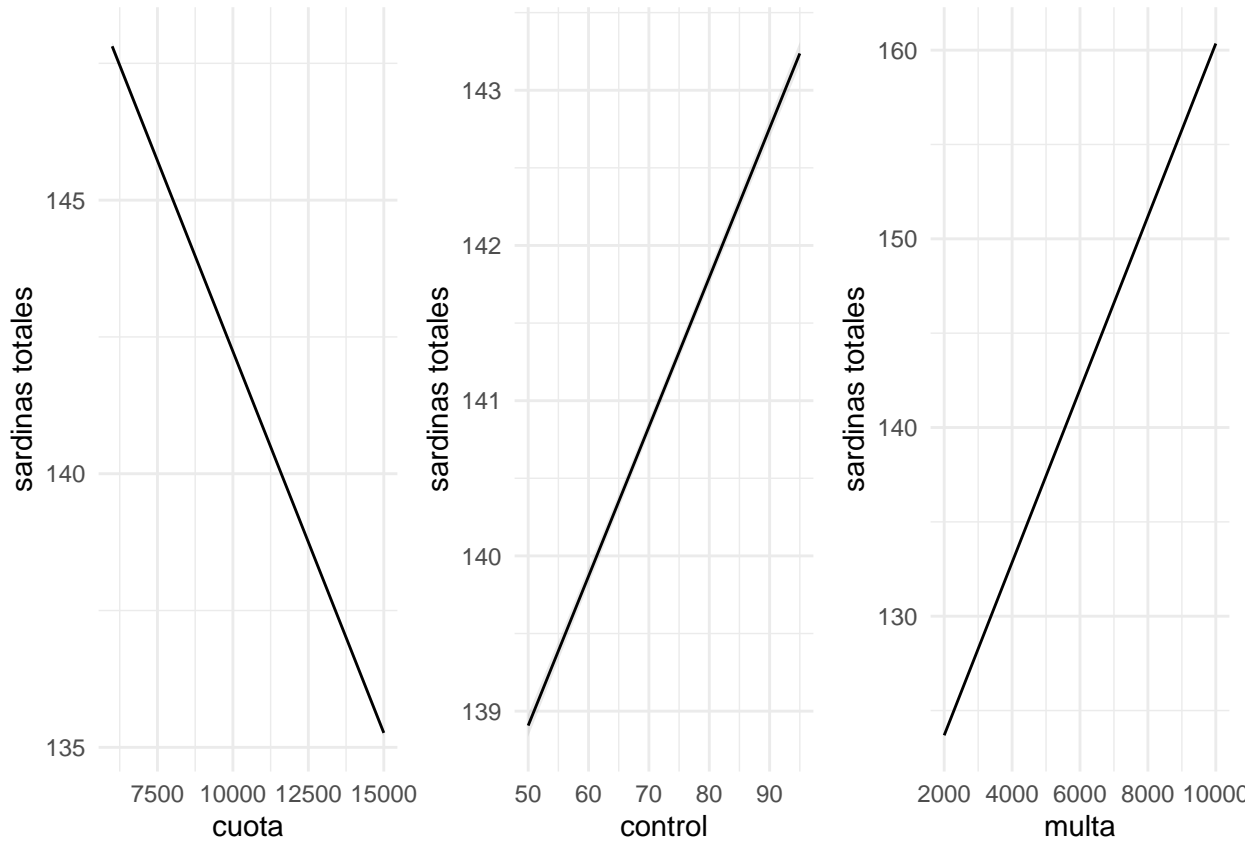


Figura 32: Predicciones condicionales ajustadas. VD: Número de Sardinas. Variables regresoras: Cuota, Control, Multa

Al calcular los efectos marginales medios de la multa y el control sobre los beneficios medios de los barcos con modo-eco cuando la cuota es de 6000, el coeficiente del control toma el valor -39.40923 y el de la multa 0.09098 . Cuando la cuota es de 10000, el coeficiente del control toma el valor 0.36911 y el de la multa 0.01014 . Cuando la cuota es de 15000, el coeficiente del control toma el valor 0.88390 y el de la multa 0.01357 . Los resúmenes de estos cálculos se muestran en los cuadros 7, 8 y 9 respectivamente.

En la Figura 33 se muestran los gráficos de los valores predichos ante variaciones en la cuota, el control y la sanción.

Cuadro 7: Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Beneficios medios barcos con modo-eco. Cuota = 6000

	type	term	estimate	std.error	statistic	p.value	conf.low	conf.high
1	response	control	-39.4092269	NA	NA	NA	NA	NA
3	response	multa	0.0909767	NA	NA	NA	NA	NA

Cuadro 8: Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Beneficios medios barcos con modo-eco. Cuota = 10000

	type	term	estimate	std.error	statistic	p.value	conf.low	conf.high
1	response	control	0.3691093	NA	NA	NA	NA	NA
3	response	multa	0.0101375	NA	NA	NA	NA	NA

Cuadro 9: Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Beneficios medios barcos con modo-eco. Cuota = 15000

	type	term	estimate	std.error	statistic	p.value	conf.low	conf.high
1	response	control	0.8838953	NA	NA	NA	NA	NA
3	response	multa	0.0135704	NA	NA	NA	NA	NA

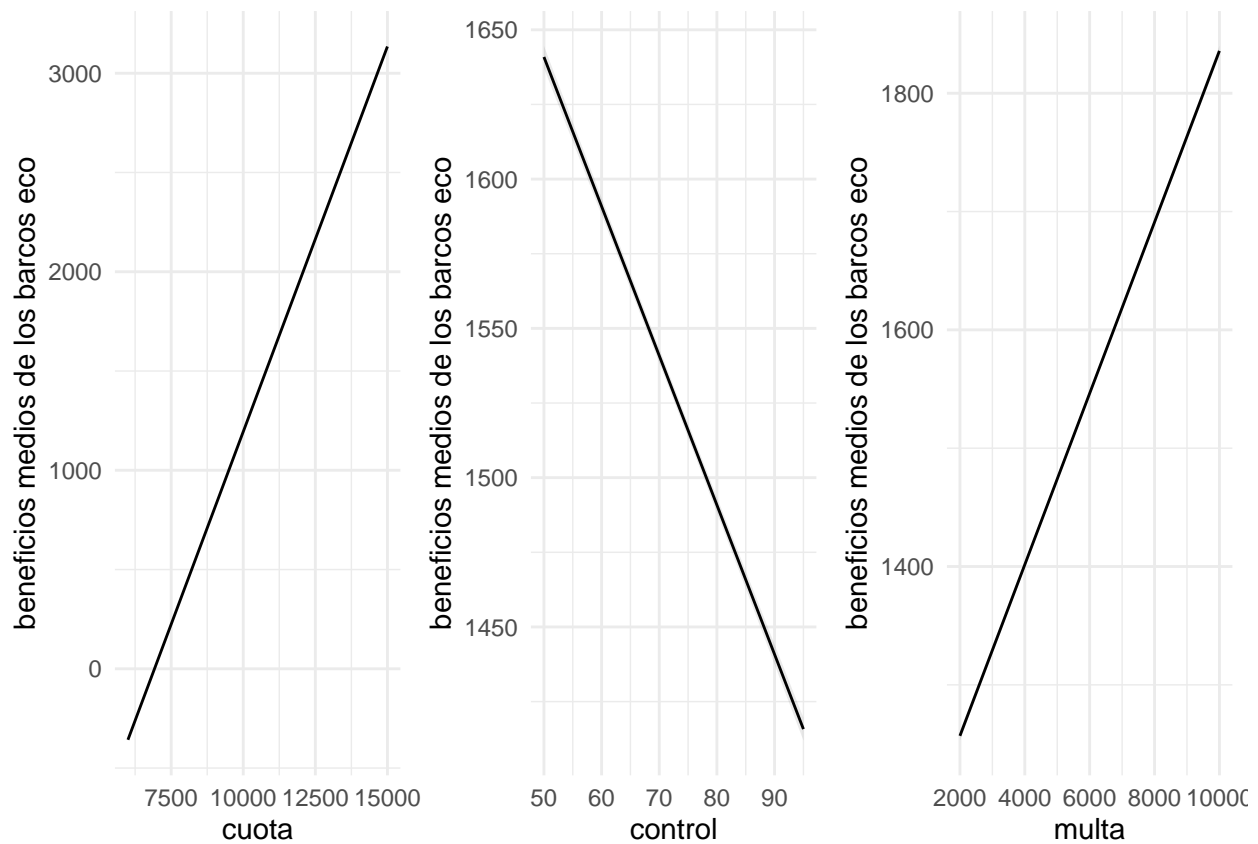


Figura 33: Predicciones condicionales ajustadas. VD: Beneficios medios de los barcos con modo eco. Variables regresoras: Cuota, Control, Multa

Al calcular los efectos marginales medios de la multa y el control sobre los beneficios medios de los barcos más contaminantes cuando la cuota es de 6000, el coeficiente del control toma el valor -38.13519 y el de la multa 0.09926. Cuando la cuota es de 10000, el coeficiente del control toma el valor -7.296 y el de la multa 0.212. Cuando la cuota es de 15000, el coeficiente del control toma el valor -7.0009 y el de la multa 0.2092. Los resúmenes de estos cálculos se muestran en los cuadros 10, 11 y 12 respectivamente.

Cuadro 10: Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Beneficios medios barcos más contaminantes. Cuota = 6000

	type	term	estimate	std.error	statistic	p.value	conf.low	conf.high
1	response	control	-38.1351945	NA	NA	NA	NA	NA
3	response	multa	0.0992556	NA	NA	NA	NA	NA

Cuadro 11: Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Beneficios medios barcos más contaminantes. Cuota = 10000

	type	term	estimate	std.error	statistic	p.value	conf.low	conf.high
1	response	control	-7.2964523	NA	NA	NA	NA	NA
3	response	multa	0.2119944	NA	NA	NA	NA	NA

Cuadro 12: Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Beneficios medios barcos más contaminantes. Cuota = 15000

	type	term	estimate	std.error	statistic	p.value	conf.low	conf.high
1	response	control	-7.0008805	NA	NA	NA	NA	NA
3	response	multa	0.2091683	NA	NA	NA	NA	NA

En la Figura 34 se muestran los gráficos de los valores predichos ante variaciones en la cuota, el control y la sanción.

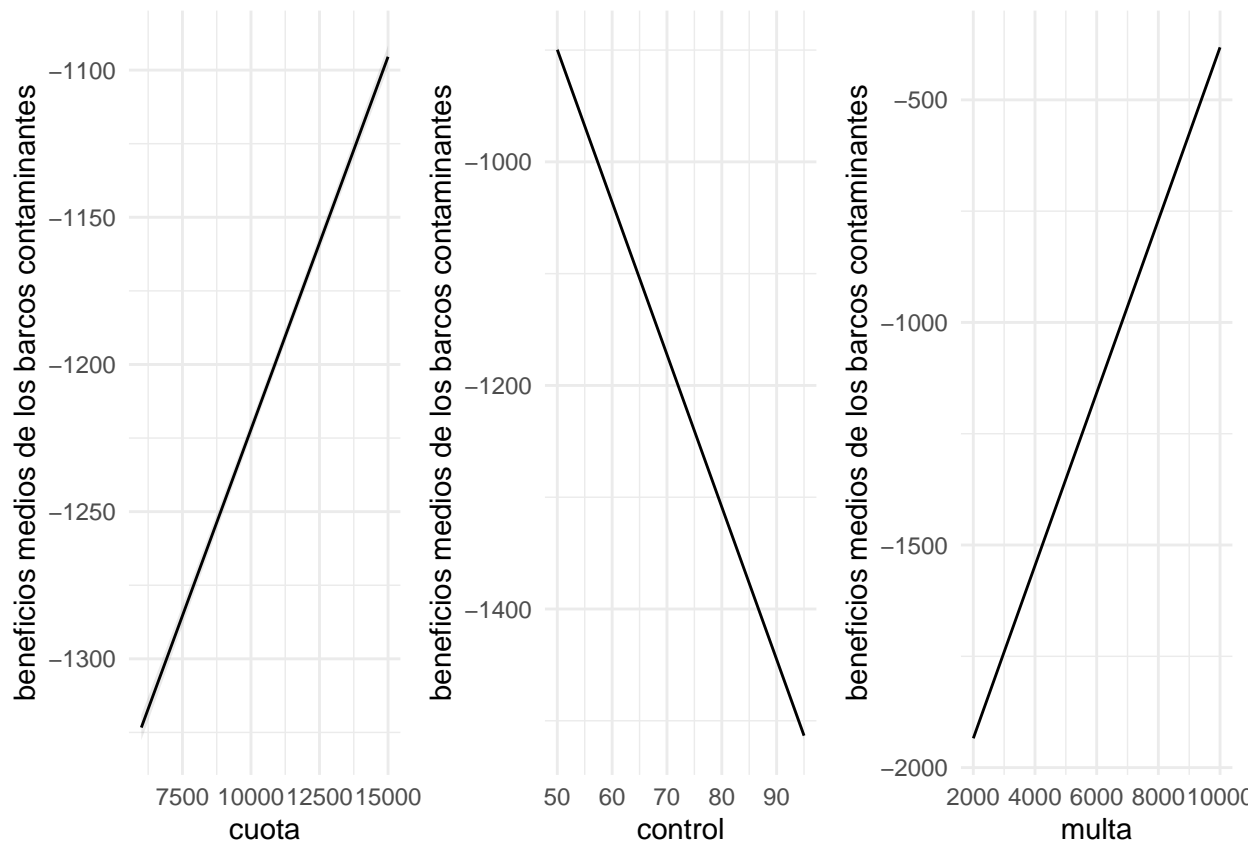


Figura 34: Predicciones condicionales ajustadas. VD: Beneficios medios de los barcos más contaminantes. Variables regresoras: Cuota, Control, Multa

Al calcular los efectos marginales medios de la multa y el control sobre el número promedio de porciones de alimento por parcela de agua cuando la cuota es de 6000, el coeficiente del control toma el valor $5.705e-03$ y el de la multa -4.604×10^{-6} . Cuando la cuota es de 10000, el coeficiente del control toma el valor -0.001446 y el de la multa -0.000025 . Cuando la cuota es de 15000, el coeficiente del control toma el valor -1.634×10^{-3} y el de la multa -2.693×10^{-5} . Los resúmenes de estos cálculos se muestran en los cuadros 13, 14 y 15 respectivamente.

Cuadro 13: Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Promedio de alimento por parcela. Cuota = 6000

	type	term	estimate	std.error	statistic	p.value	conf.low	conf.high
1	response	control	0.0057052	NA	NA	NA	NA	NA
3	response	multa	-0.0000046	NA	NA	NA	NA	NA

Cuadro 14: Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Promedio de alimento por parcela. Cuota = 10000

	type	term	estimate	std.error	statistic	p.value	conf.low	conf.high
1	response	control	-0.0014459	NA	NA	NA	NA	NA
3	response	multa	-0.0000250	NA	NA	NA	NA	NA

Cuadro 15: Submodelo 4: AME, VIs = control, multa. VD = Promedio de alimento por parcela. Cuota = 15000

	type	term	estimate	std.error	statistic	p.value	conf.low	conf.high
1	response	control	-0.0016337	NA	NA	NA	NA	NA
3	response	multa	-0.0000269	NA	NA	NA	NA	NA

En la Figura 35 se muestran los gráficos de los valores predichos ante variaciones en la cuota, el control y la sanción.

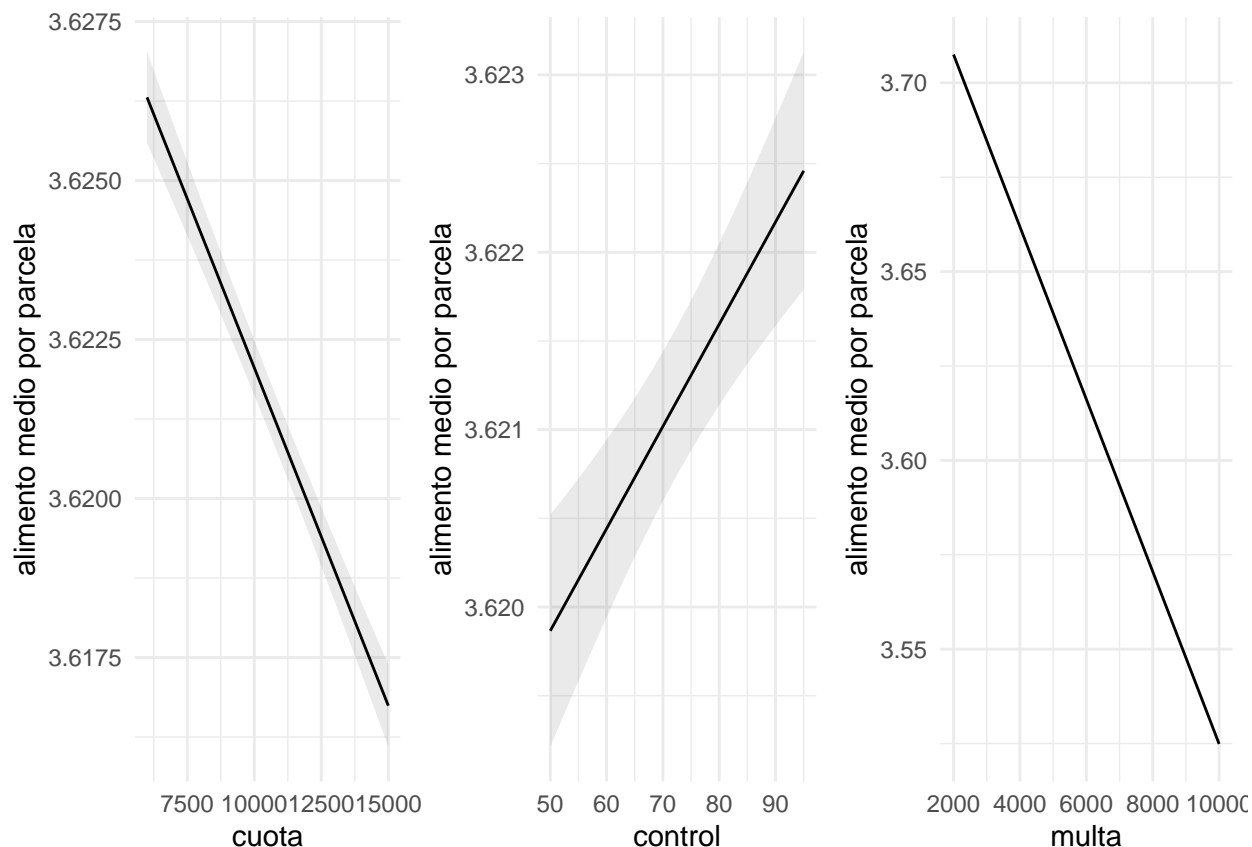


Figura 35: Predicciones condicionales ajustadas. VD: Promedio de porciones de alimento por parcela de agua. Variables regresoras: Cuota, Control, Multa

Al observar las series temporales que muestran la evolución de las sardinas a lo largo de la simulación, se puede corroborar que, efectivamente, cuando el valor de las sanciones es más elevado, la población de sardinas es mayor en términos generales. Además, cuando la cuota tenga valores bajos, el número de ejemplares también aumentará. Así pues, se observa una tendencia positiva, que será más o menos pronunciada dependiendo del valor de la multa y de la cuota, sobre todo. En relación al componente estacional, este cobra gran relevancia, observándose períodos de crecimiento coincidiendo con la temporada de desove de las sardinas y con la finalización de los ejercicios productivos. El componente aleatorio, por su parte, aumenta cuando también lo hacen la multa y el control y disminuye el valor de la cuota.

La Figura 36 muestra la evolución del número de sardinas cuando la cuota es baja, las sanciones son elevadas, y el control es del 95%

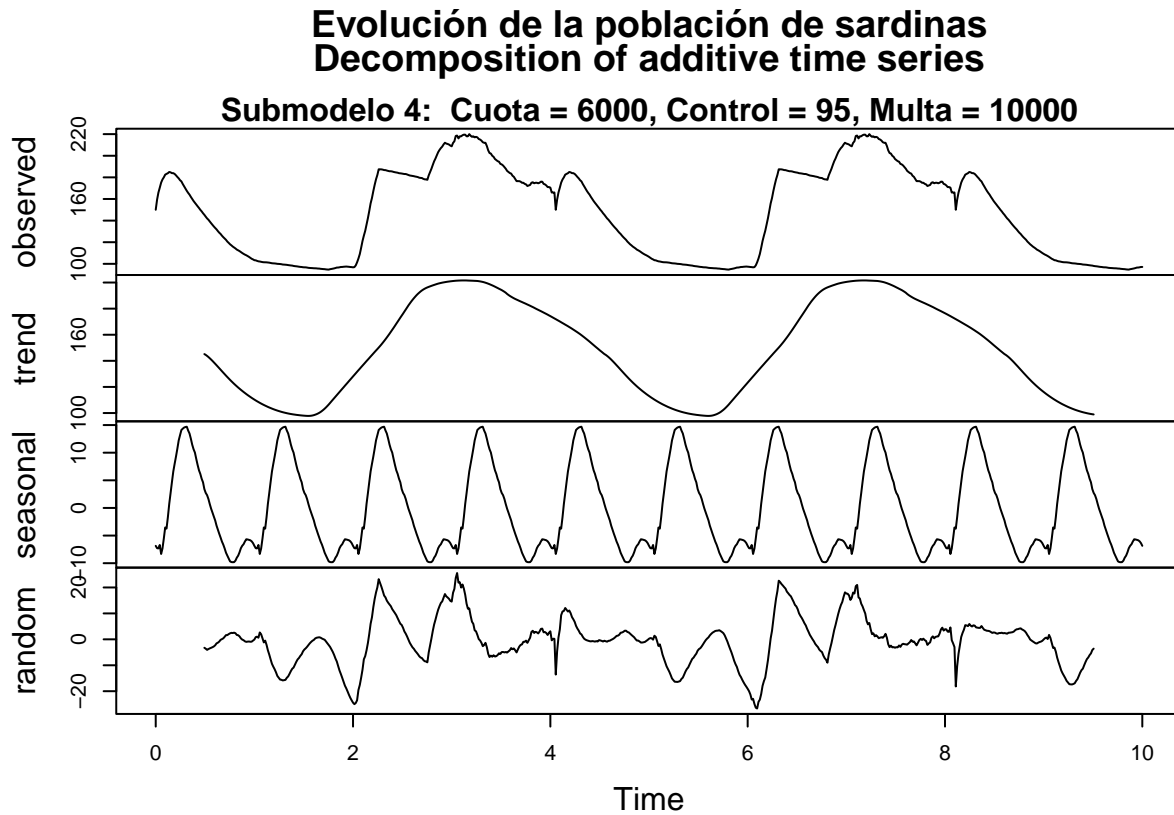


Figura 36: Submodelo 4: Evolución población de sardinas. Cuota = 6000, Control = 95%, Multa = 10000

La Figura 37 muestra la evolución del número de sardinas cuando la cuota es alta, las sanciones son bajas, y el control es del 50%.

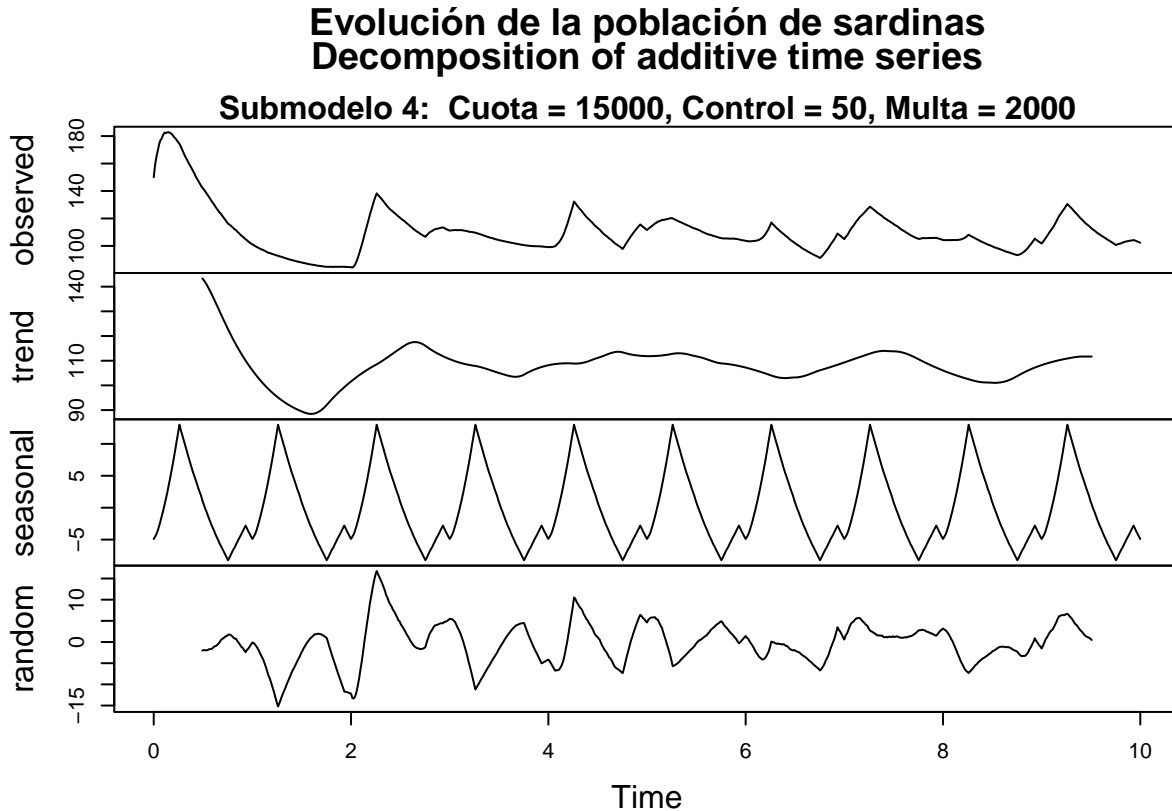


Figura 37: Submodelo 4: Evolución población de sardinas. Cuota = 15000, Control = 50%, Multa = 2000

Al observar las series temporales que muestran la evolución del valor de los beneficios de los barcos con modo eco a lo largo de la simulación, se puede corroborar que, efectivamente, cuando el valor de la cuota es más elevado, los beneficios de los barcos menos contaminantes son mayores. De hecho, cuando la cuota es excesivamente baja, ni siquiera los barcos con modo eco son capaces de evadir las sanciones, y la evolución de las series es muy difícil de predecir. En el resto de casos, se observa una tendencia positiva en las series, que se incrementa cuando también lo hace el valor de las sanciones. El componente estacional y el aleatorio sólo son relevantes cuando el valor de la cuota es especialmente bajo. En estos casos, el error cobra relevancia cuando aumenta el porcentaje de control que se realiza sobre la producción de residuos contaminantes. En el resto de escenarios, el componente estacional se relaciona con los periodos de desove de las sardinas, y el componente aleatorio pierde influencia.

La Figura 38 muestra la evolución del valor de los beneficios de los barcos con modo eco cuando la cuota es baja, las sanciones son elevadas, y el control es del 75%

Evolución beneficios medios barcos con modo eco Decomposition of additive time series

Submodelo 4: Cuota = 6000, Control = 75, Multa = 8000

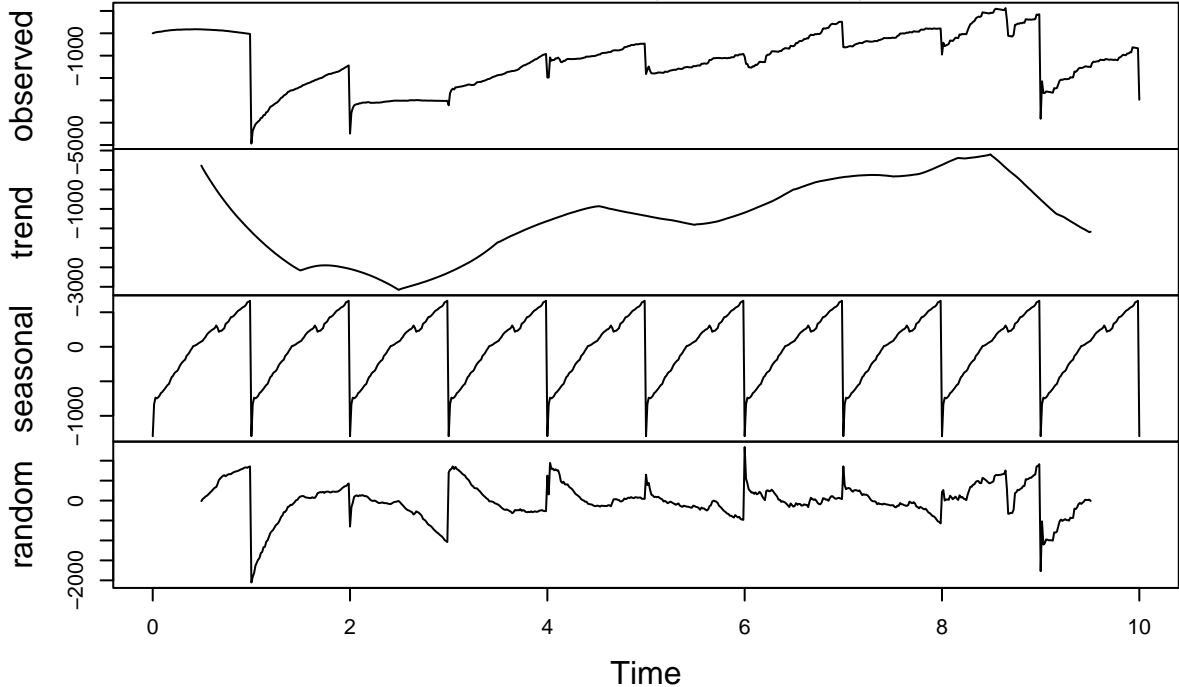


Figura 38: Submodelo 4: Evolución beneficios medios barcos con modo eco. Cuota = 6000, Control = 75%, Multa = 8000

La Figura 39 muestra la evolución del valor de los beneficios de los barcos con modo eco cuando la cuota es alta, las sanciones son elevadas, y el control es del 95%

Evolución beneficios medios barcos con modo eco Decomposition of additive time series

Submodelo 4: Cuota = 15000, Control = 95, Multa = 8000

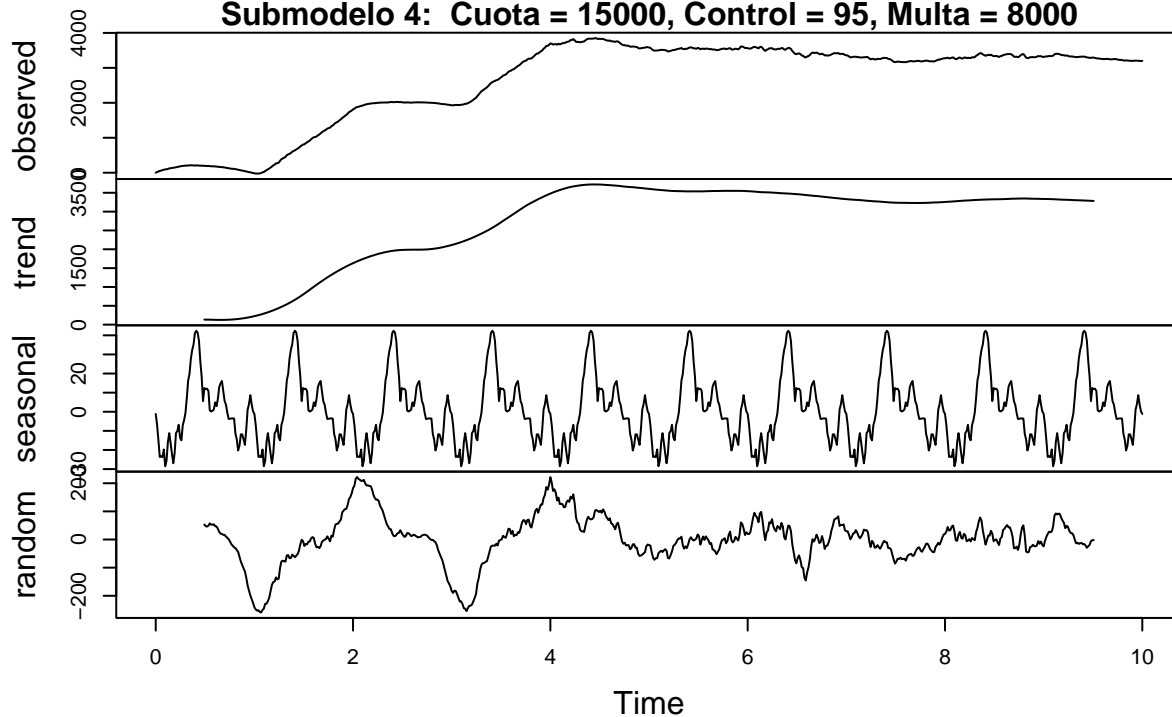


Figura 39: Submodelo 4: Evolución beneficios medios barcos con modo eco. Cuota = 15000, Control = 95%, Multa = 8000

La Figura 40 muestra la evolución del valor de los beneficios de los barcos con modo eco cuando la cuota es alta, las sanciones son bajas, y el control es del 50%

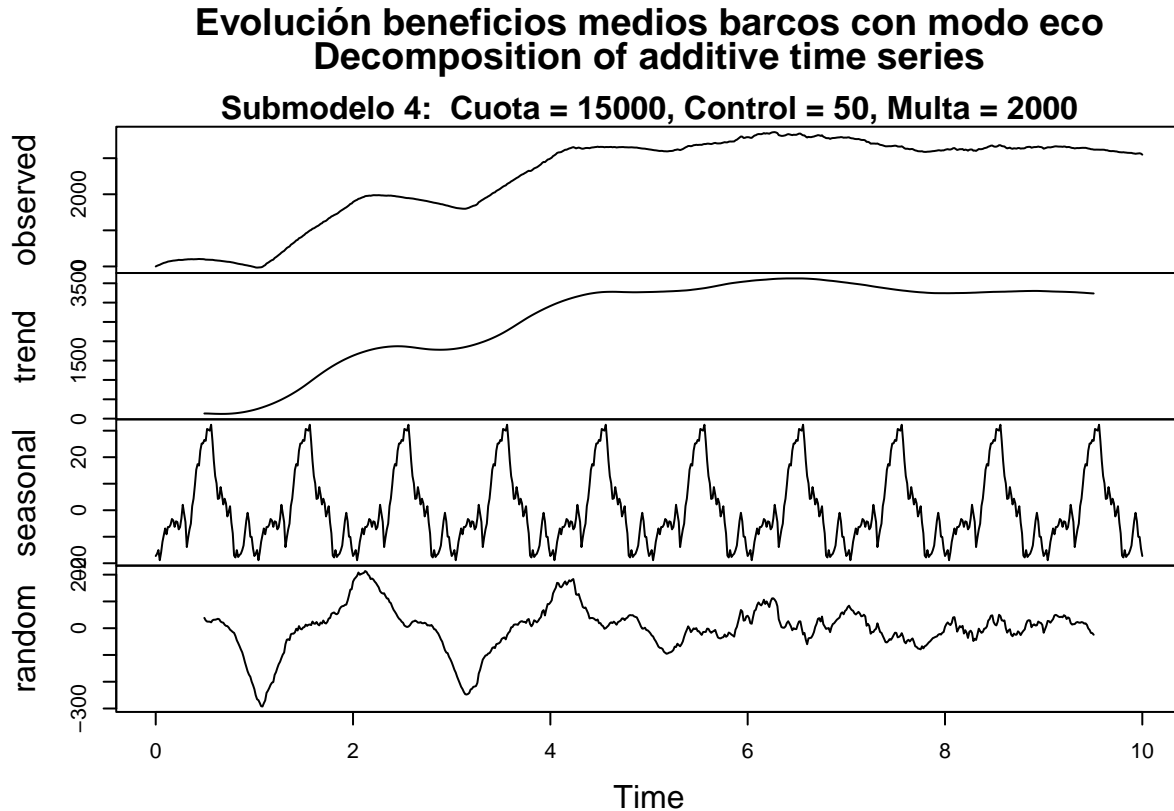


Figura 40: Submodelo 4: Evolución beneficios medios barcos con modo eco. Cuota = 15000, Control = 50%, Multa = 2000

Al observar las series temporales que muestran la evolución del valor de los beneficios de los barcos más contaminantes se comprueba que estos descienden en mayor medida cuando aumentan el nivel de control y el valor de las sanciones y disminuye el valor de la cuota. La tendencia es siempre negativa. Es muy difícil, pues, para los barcos más contaminantes mantener la actividad productiva, aún cuando el valor de las sanciones es bajo. Son el control y el valor de la cuota las principales variables que explican las mayores variaciones en los beneficios de este grupo de barcos. El componente estacional cobra gran relevancia, relacionado con la finalización de los ejercicios productivos y el pago de multas periódicas, que determinan en gran medida los valores observados. El componente aleatorio, cuya influencia se ve incrementada al aumentarse el control y el valor de las sanciones, es responsable de muchas variaciones que se observan en la serie.

La Figura 41 muestra la evolución del valor de los beneficios de los barcos más contaminantes cuando la cuota es alta, las sanciones son bajas, y el control es del 50%

Evolución beneficios medios barcos más contaminantes Decomposition of additive time series

Submodelo 4: Cuota = 15000, Control = 50, Multa = 2000

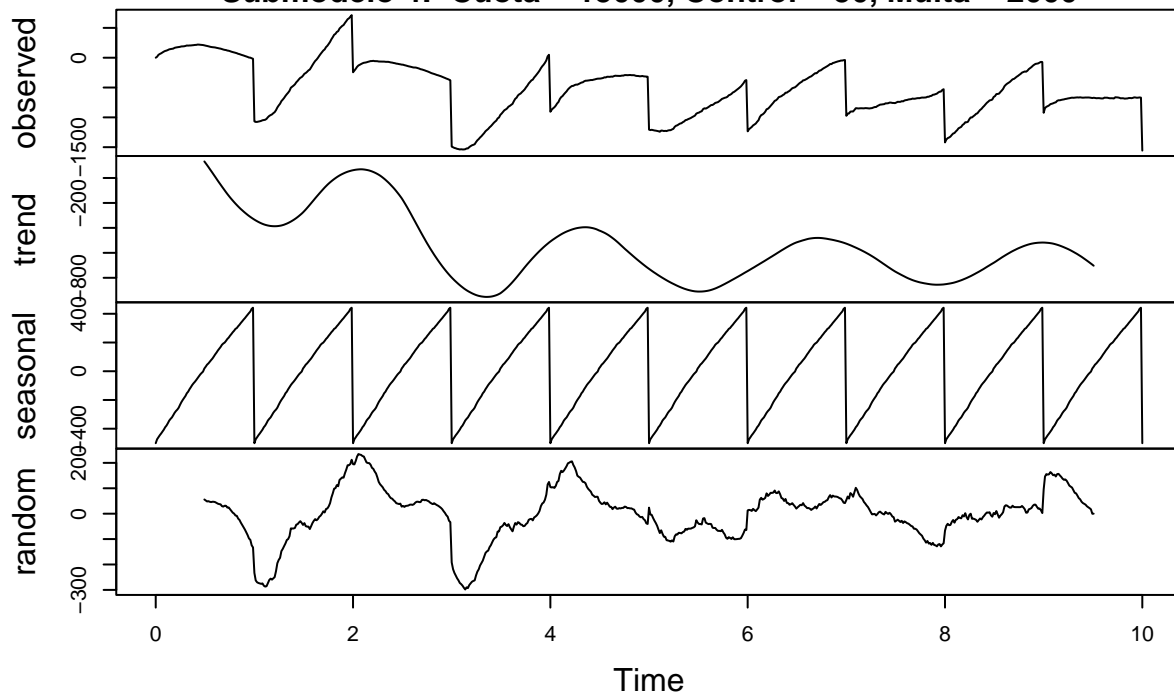


Figura 41: Submodelo 4: Evolución beneficios medios barcos más contaminantes. Cuota = 15000, Control = 50%, Multa = 2000

La Figura 42 muestra la evolución del valor de los beneficios de los barcos más contaminantes cuando las variables independientes toman valores intermedios.

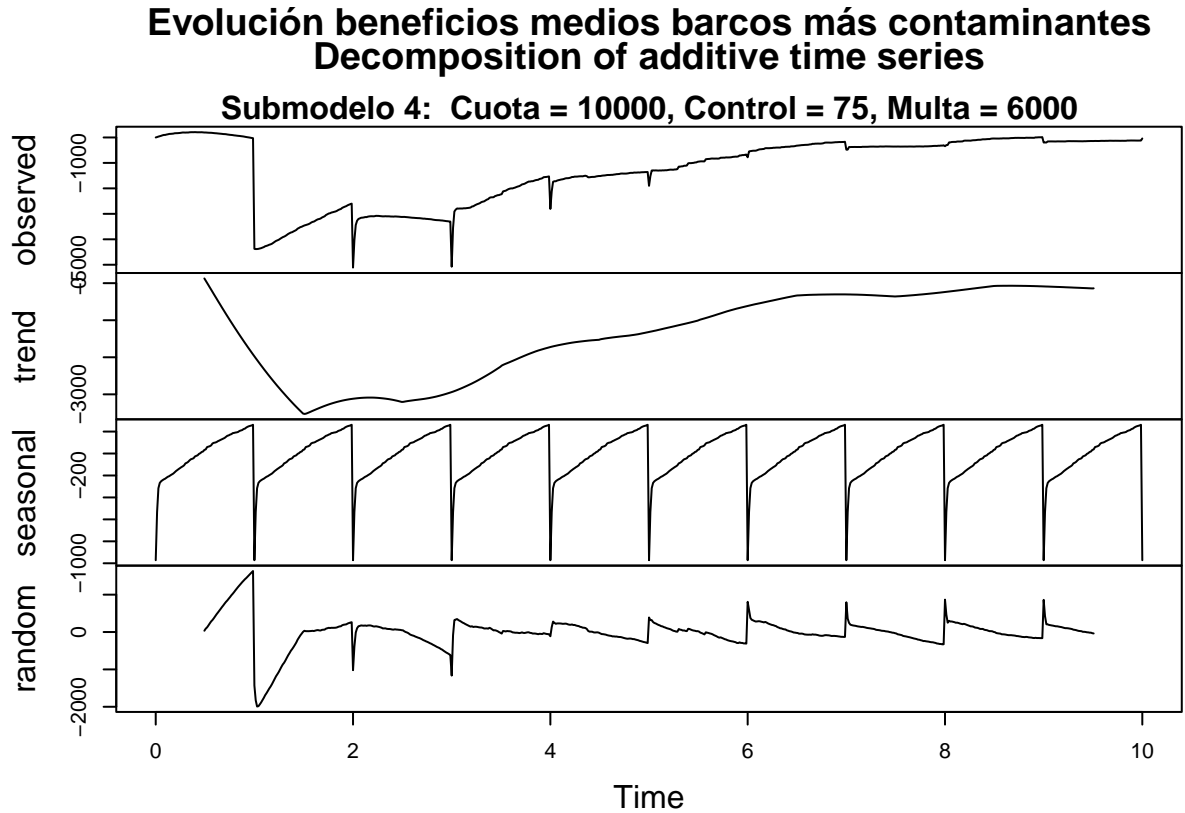


Figura 42: Submodelo 4: Evolución beneficios medios barcos más contaminantes. Cuota = 10000, Control = 75%, Multa = 6000

Al observar los gráficos de las series temporales que muestran la evolución del número de barcos más contaminantes a lo largo de la simulación, se identifican patrones muy similares en todos los casos. El número de barcos desciende forma más o menos pronunciada, dependiendo del valor de la cuota, la multa, y el control. En todos los casos la tendencia será claramente negativa, y se aumentará la verticalidad negativa cuando aumenten también los valores de la sanción y el control y disminuyan los de la multa. Así pues, la solvencia económica de los barcos más contaminantes sólo podría producirse cuando los valores de la sanción y el control fuesen muy bajos, y la cuota permitiese generar una gran cantidad de residuos. Es decir, sólo sería posible cuando la aplicación de la política pública no variase en gran medida el escenario anterior y se realizase de forma prácticamente anecdótica. Los componentes estacional y aleatorio tienen un papel predominante a la hora de explicar los resultados observados. Cuando el valor de la multa aumenta, también lo hace la influencia del error, y esta se reduce ligeramente cuando aumenta el valor de la cuota. Este aumento del valor de la cuota se traduce también en un protagonismo todavía mayor del componente estacional.

La Figura 43 muestra la evolución del número de barcos más contaminantes cuando la cuota es alta, las sanciones son bajas, y el control es del 50%

Evolución del número de barcos más contaminantes Decomposition of additive time series

Submodelo 4: Cuota = 15000, Control = 50, Multa = 2000

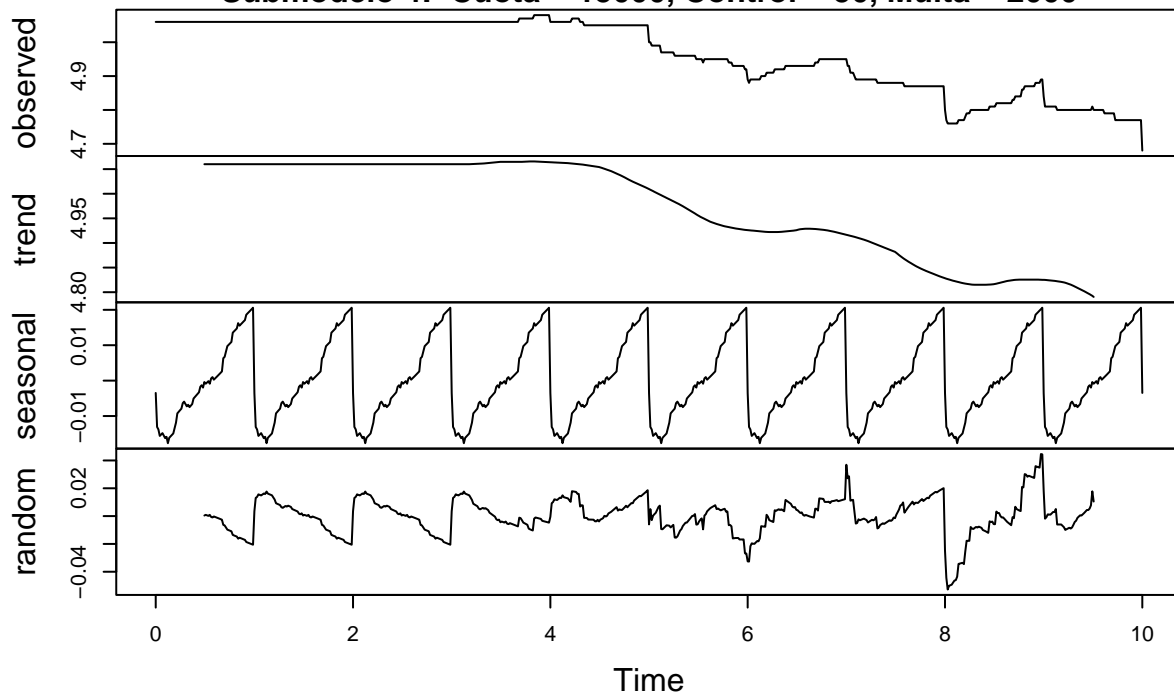


Figura 43: Submodelo 4: Evolución número de barcos más contaminantes. Cuota = 15000, Control = 50%, Multa = 2000

La Figura 44 muestra la evolución del número de barcos más contaminantes cuando las variables independientes toman valores intermedios.

Evolución del número de barcos más contaminantes Decomposition of additive time series

Submodelo 4: Cuota = 10000, Control = 75, Multa = 6000

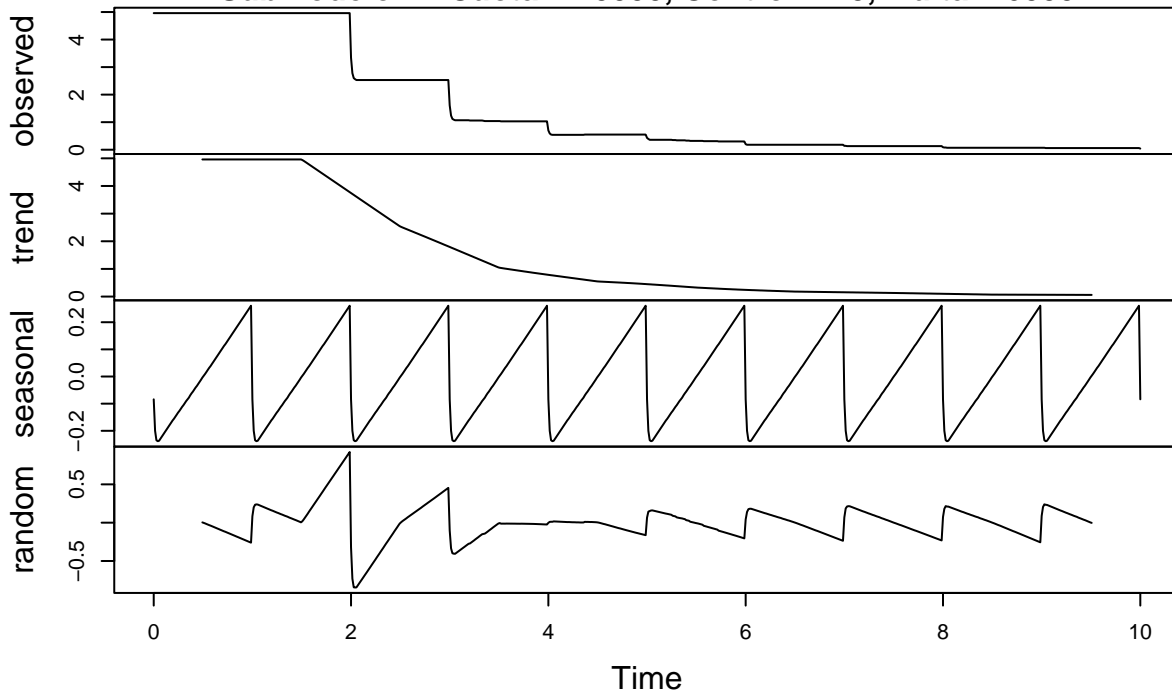


Figura 44: Submodelo 4: Evolución número de barcos más contaminantes. Cuota = 10000, Control = 75%, Multa = 6000

Al observar los gráficos de las series temporales que muestran la evolución del grupo de barcos con modo eco durante la simulación, se observan unos patrones claramente identificables. Cuando la cuota es excesivamente baja, ni siquiera los barcos menos contaminantes son capaces de respetarla. Esto se traduce en un decremento del número de barcos de la simulación, provocado por las ingentes pérdidas acumuladas derivadas del pago de sanciones. En estos casos, el componente estacional, relacionado con la finalización de los ejercicios productivos, y el aleatorio, tienen un papel predominante. Sin embargo, la tendencia se invierte al aumentar el valor de la cuota, que permite a los barcos menos contaminantes beneficiarse de la pesca de sardinas. Cuando la cuota es lo suficientemente elevada como para que este grupo la respete, los aumentos en el valor de las sanciones y del control se traducen en ligeros aumentos del número de barcos. En estos casos, el componente estacional y el aleatorio pierden relevancia.

La Figura 45 muestra la evolución del valor de los beneficios de los barcos con modo eco cuando la cuota es baja, las sanciones son elevadas, y el control es del 75%

Evolución del número de barcos con modo eco Decomposition of additive time series

Submodelo 4: Cuota = 6000, Control = 75, Multa = 8000

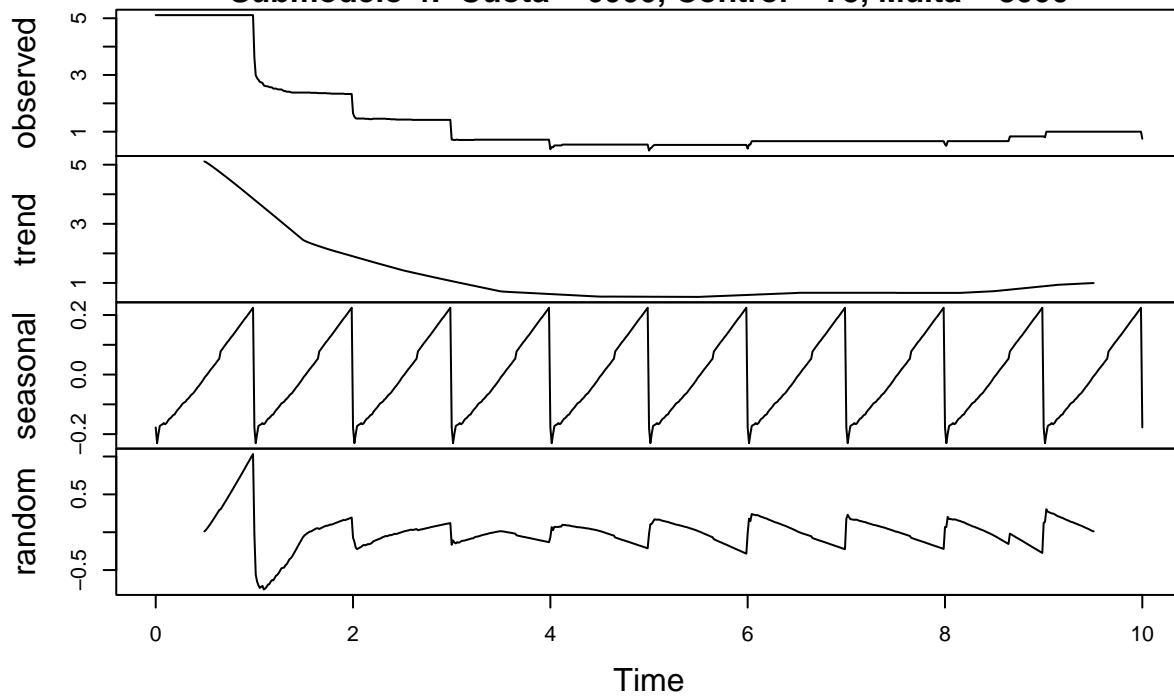


Figura 45: Submodelo 4: Evolución número barcos con modo eco. Cuota = 6000, Control = 75%, Multa = 8000

La Figura 46 muestra la evolución del número de barcos con modo eco cuando la cuota es alta, las sanciones son elevadas, y el control es del 95%

Evolución del número de barcos con modo eco Decomposition of additive time series

Submodelo 4: Cuota = 15000, Control = 95, Multa = 8000

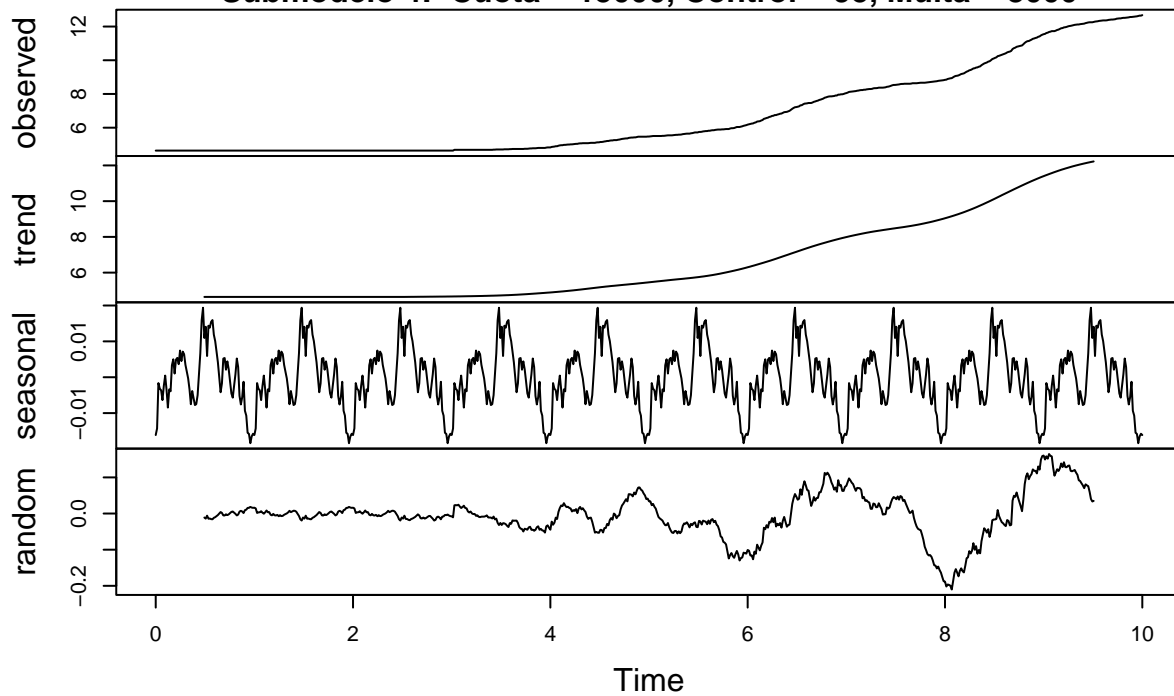


Figura 46: Submodelo 4: Evolución número barcos con modo eco. Cuota = 15000, Control = 95%, Multa = 8000

La Figura 47 muestra la evolución del número de barcos con modo eco cuando la cuota es alta, las sanciones son bajas, y el control es del 50%

Evolución del número de barcos con modo eco Decomposition of additive time series

Submodelo 4: Cuota = 15000, Control = 50, Multa = 2000

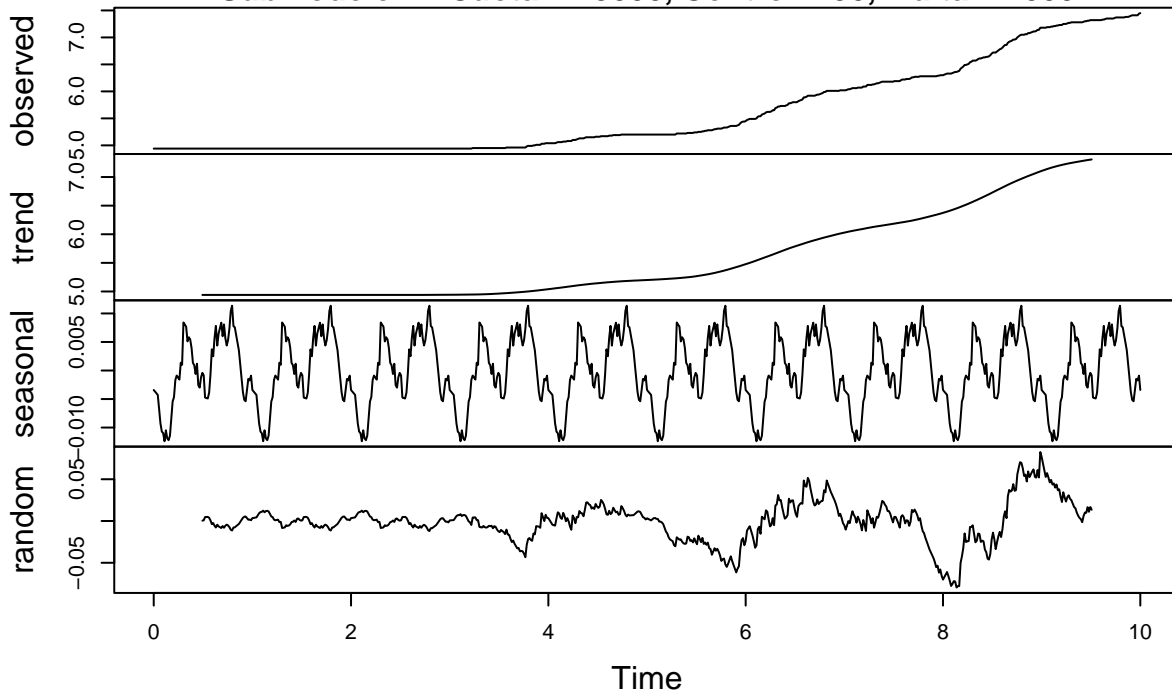


Figura 47: Submodelo 4: Evolución número barcos con modo eco. Cuota = 15000, Control = 50%, Multa = 2000

Al observar los gráficos de las series temporales que muestran la evolución del número de porciones de alimento que hay disponibles en los parches de agua, se puede comprobar que la tendencia es negativa en todos los escenarios, y los componentes estacional y aleatorio tampoco tienen una especial relevancia. Al comparar los resultados de estas series con los de la Figura 9, se observa cómo no hay grandes variaciones respecto a la cantidad de alimento disponible cuando no se aplica ningún tipo de sanción por exceso de contaminación. Sin embargo, cómo la población de sardinas es mayor cuando se aplican las sanciones, sería razonable pensar que esta cantidad de alimento se reduce inevitablemente, ya sea por los efectos de la contaminación de los barcos, o porque es consumido por las sardinas.

La Figura 48 muestra la evolución del número promedio de porciones de alimento por parcela cuando la cuota es baja, las sanciones son altas, y el control es del 95%

Evolución de la cantidad de alimento medio por parcela Decomposition of additive time series

Submodelo 4: Cuota = 6000, Control = 95, Multa = 10000

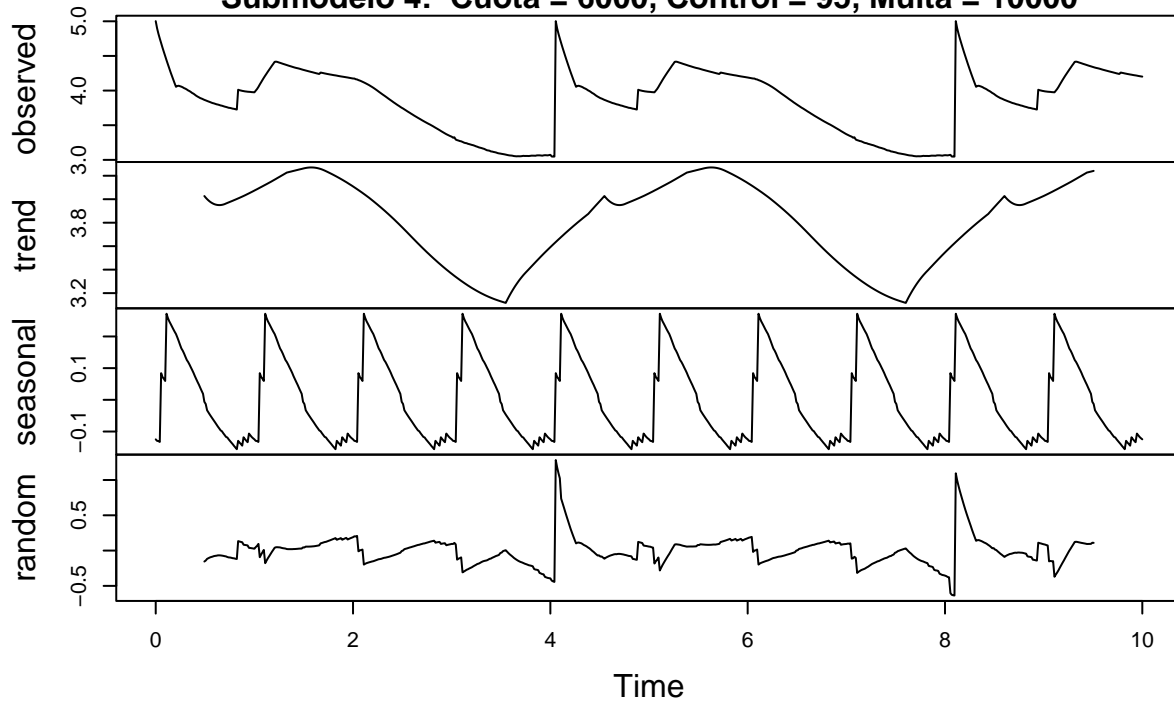


Figura 48: Submodelo 4. Evolución alimento medio por parcela. Cuota = 6000, Control = 95, Multa = 10000

La Figura 49 muestra la evolución del número promedio de porciones de alimento por parcela cuando la cuota es alta, las sanciones son bajas, y el control es del 50%

Evolución de la cantidad de alimento medio por parcela Decomposition of additive time series

Submodelo 4: Cuota = 15000, Control = 50, Multa = 2000

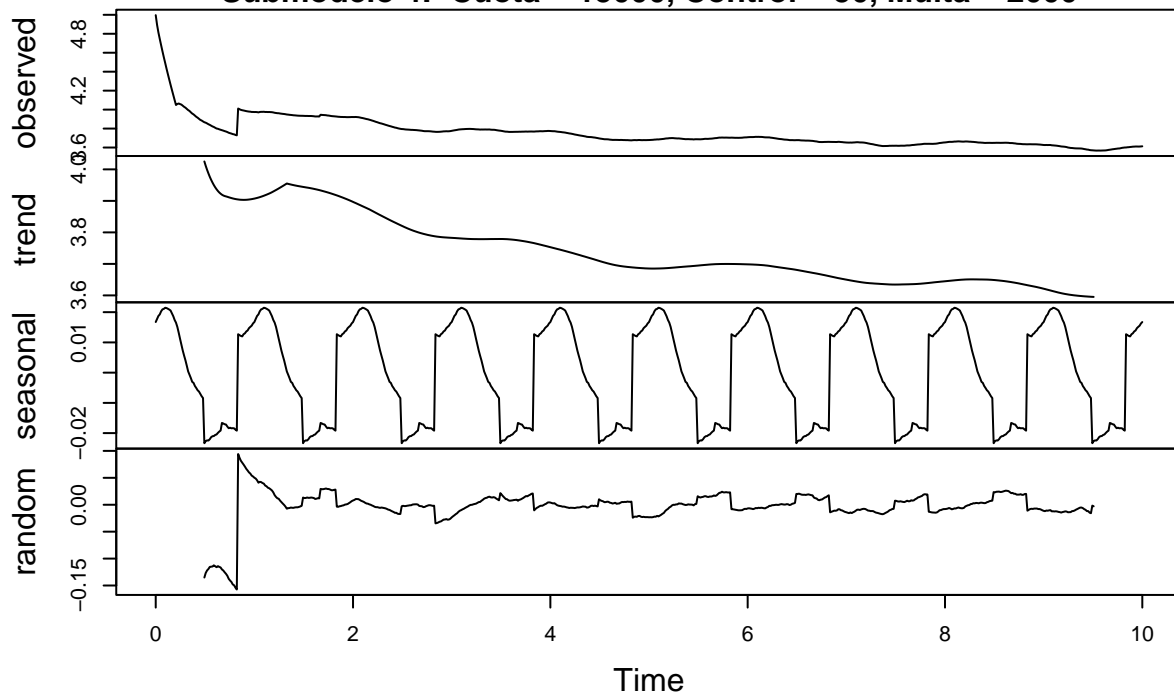


Figura 49: Submodelo 4. Evolución alimento medio por parcela. Cuota = 15000, Control = 50, Multa = 2000

La Figura 50 muestra la evolución del número promedio de porciones de alimento por parcela cuando las variables independientes toman valores intermedios

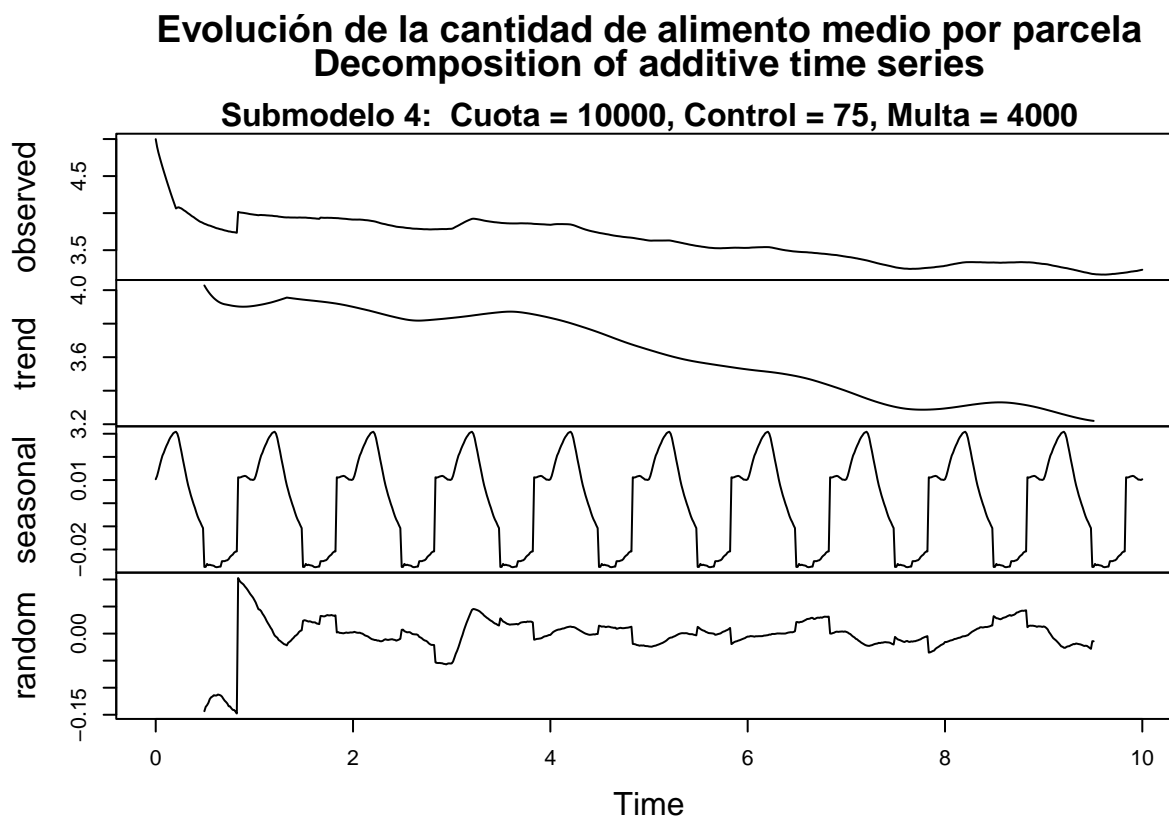


Figura 50: Submodelo 4. Evolución alimento medio por parcela. Cuota = 10000, Control = 75, Multa = 4000

Experimento 5

En el experimento quinto se simula la introducción de una subvención estatal que bonifica anualmente a los barcos que prioricen la pesca de ejemplares adultos sobre los de menor tamaño. Para determinar si existe una relación estadística significativa entre el valor de la variable independiente y las dependientes se han calculado los siguientes estadísticos:

Para determinar la relación entre el valor de la subvención y el número de sardinas de la simulación, se elabora un modelo de regresión lineal simple. Tras el cálculo, el coeficiente de regresión de la subvención toma el valor $-3.792 \cdot 10^{-3}$. Así pues, el número de sardinas de la simulación disminuye cuando aumenta el valor de la subvención y viceversa. El valor de la R^2 , por su parte, es de 0.0995.

Para determinar la relación entre el valor de la subvención y el número de barcos de la simulación, se elabora un modelo de regresión lineal simple. Tras el cálculo, el coeficiente de regresión de la subvención toma el valor $4.499 \cdot 10^{-4}$. Así pues, el número de barcos de la simulación aumenta cuando aumenta también el valor de la subvención y viceversa. El valor de la R^2 , por su parte, es de 0.1814.

Para determinar la relación entre el valor de la subvención y el valor de los beneficios medios de los barcos de la simulación, se elabora un modelo de regresión lineal simple. Tras el cálculo, el coeficiente de regresión de la subvención toma el valor $-7.787 \cdot 10^{-2}$. Así pues, valor de los beneficios medios disminuye cuando aumenta el valor de la subvención y viceversa. El valor de la R^2 , por su parte, es de 0.03718.

El Cuadro 16 muestra los resúmenes de regresión con la subvención como VI; y el número de sardinas, el número de barcos y los beneficios medios de los barcos como VDs.

La Figura 51 muestra los gráficos de dispersión las rectas de regresión con la subvención como VI.

Cuadro 16: Experimento 5: Resumen de regresión. VDs= Número de Sardinas, Número de Barcos, Beneficios Medios. VIs = Cuota, Control, Multa

	Número Sardinas	Número Barcos	Beneficios Medios
(Intercept)	109.209 (0.090)	11.328 (0.007)	2883.840 (3.074)
subvencion	-0.004 (0.000)	0.000 (0.000)	-0.078 (0.000)
Num.Obs.	731 000	731 000	731 000
R2	0.097	0.181	0.037
R2 Adj.	0.097	0.181	0.037
AIC	7 174 451.6	3 528 486.0	12 340 299.0
BIC	7 174 486.1	3 528 520.5	12 340 333.5
RMSE	32.73	2.70	1120.75

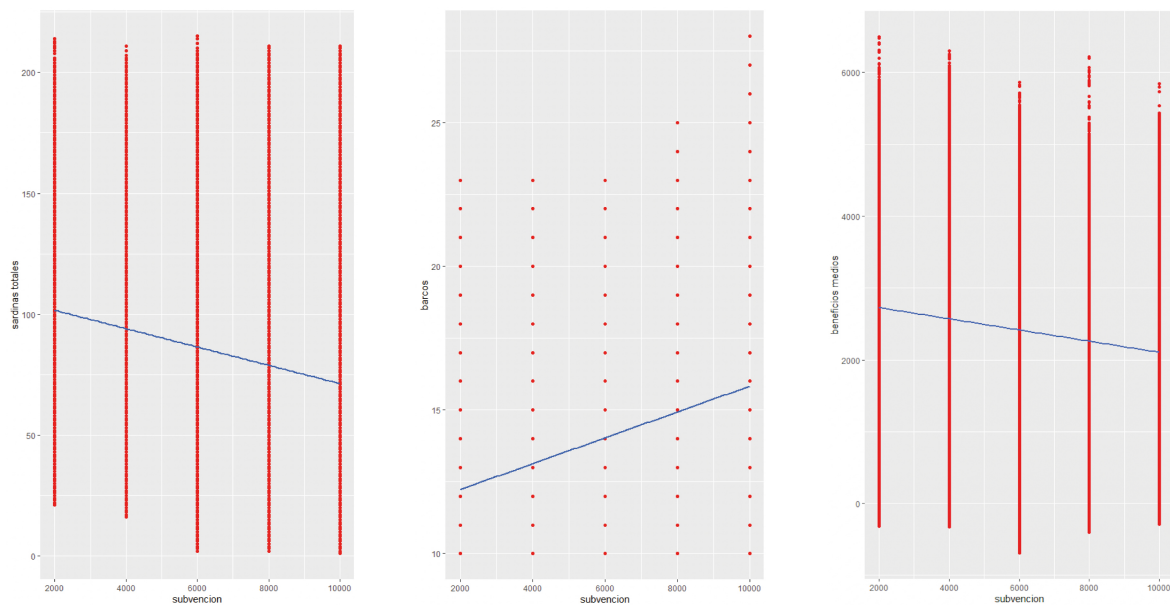


Figura 51: “Submodelo 2: Rectas de regresión. VDs: Número de sardinas, Número de barcos, Beneficios medios. VI: Subvención”

Al observar las series temporales que muestran la evolución de las sardinas a lo largo de la simulación, se puede corroborar que, efectivamente, cuando el valor de la subvención es más elevado, la población de sardinas es menor en términos generales. Los gráficos que muestran la evolución del número de sardinas comienzan en el valor 150, que rápidamente se precipita durante los dos primeros años. A partir de este momento, el decrecimiento es menos pronunciado, aunque dependiendo del valor de la subvención este será más o menos acentuado. Hacia el final de la simulación, el número de sardinas es de entre 30 y 60 dependiendo de la subvención que reciban los barcos. La pendiente es, pues, negativa en términos generales. Aún así, hay momentos de la simulación en la que la pendiente toma valores positivos, coincidiendo con los periodos de desove de las sardinas, por lo que se puede identificar con claridad un componente estacional en las series. En cuanto al error o componente aleatorio, este aumenta cuando la subvención recibe valores medios (subvención = 4000, subvención = 6000), pero en general se mantiene entre el valor -10 y el valor 15.

Las figuras 52, 53 y 54 muestran la evolución del número de sardinas cuando la subvención toma el valor

máximo, el valor mínimo y un valor intermedio.

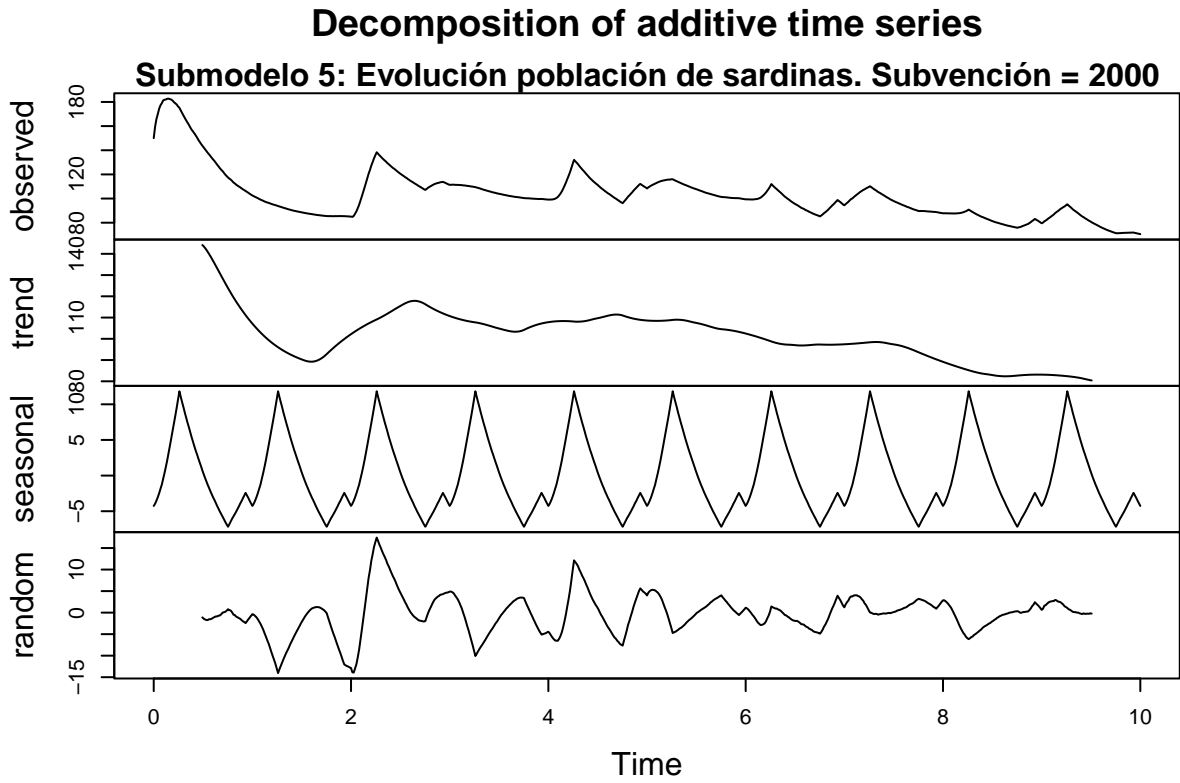


Figura 52: Submodelo 5: Evolución población de sardinas. Subvención = 2000

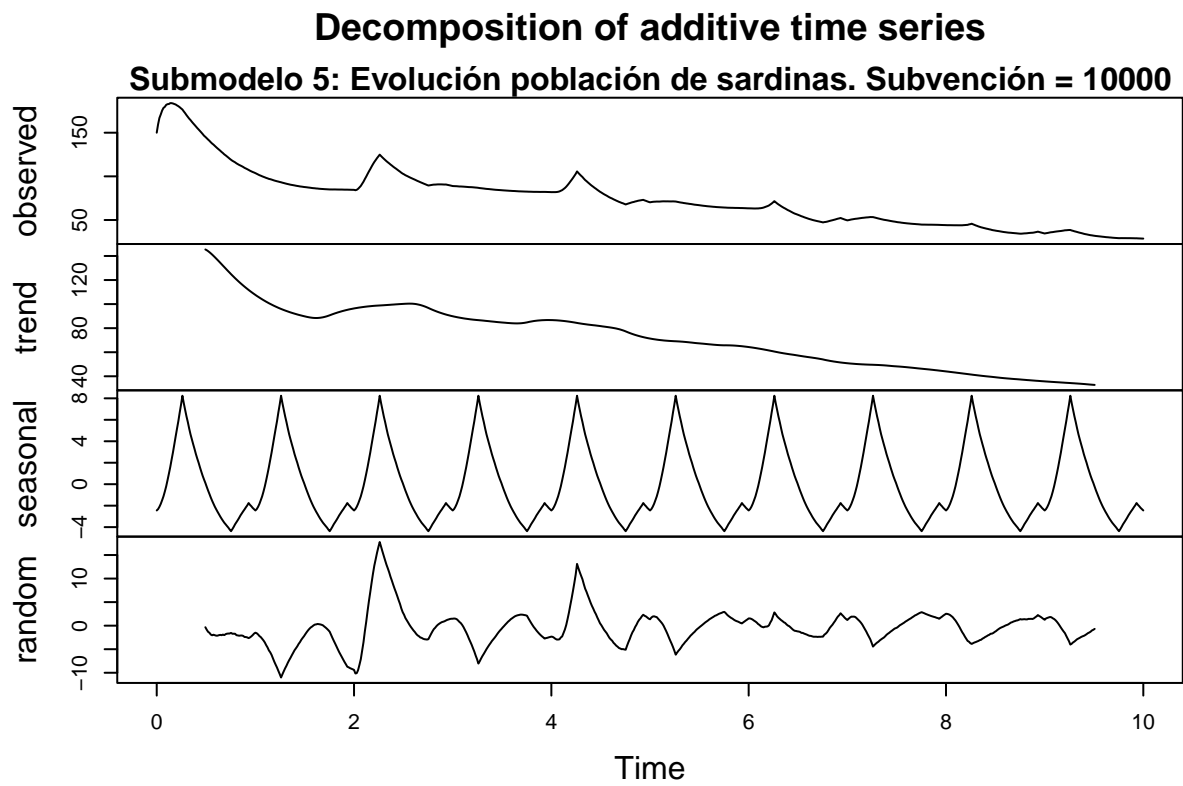


Figura 53: Submodelo 5: Evolución población de sardinas. Subvención = 10000

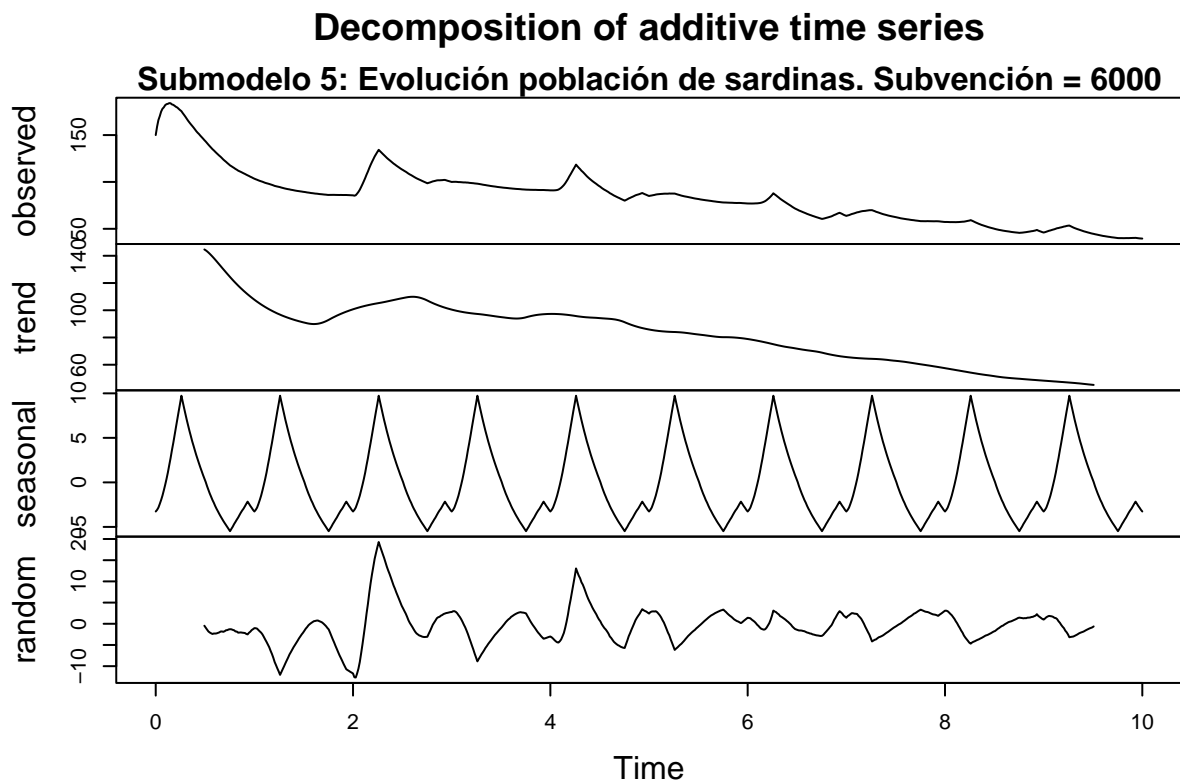


Figura 54: Submodelo 5: Evolución población de sardinas. Subvención = 6000

Al observar las series temporales que muestran la evolución del número de barcos a lo largo de la simulación se contempla cómo, efectivamente, el número de barcos aumenta cuando también lo hace el valor de la subvención. Este crecimiento se realiza de forma progresiva cuando las subvenciones tienen valores más moderados, y se acentúa cuando estas tienen valores elevados. Cuando la subvención es de 8000 y 10000 unidades monetarias, el número de barcos pasa a ser de 10 a 15 en apenas un año, y después el número aumenta muy progresivamente hasta conformar un total de entre 16 y 18 en los momentos últimos de la simulación. En el resto de escenarios, el número de barcos al final de la simulación es el mismo que en estos casos ya comentados, pero varía la rapidez con la que se producen estas expansiones empresariales. La tendencia es, pues, positiva en términos generales en todos los casos de la subvención y el componente estacional que se identifica coincide con la finalización de los ejercicios productivos, que es el momento en el que se producen los abonos de las subvenciones. El valor del error o componente aleatorio aumenta cuando la subvención es más alta, como ocurría en las series descritas con anterioridad, relativas a la evolución del número de ejemplares de sardinas.

Las figuras 55 y 56 muestran la evolución del número de barcos cuando el valor de la subvención es es máximo y el mínimo respectivamente

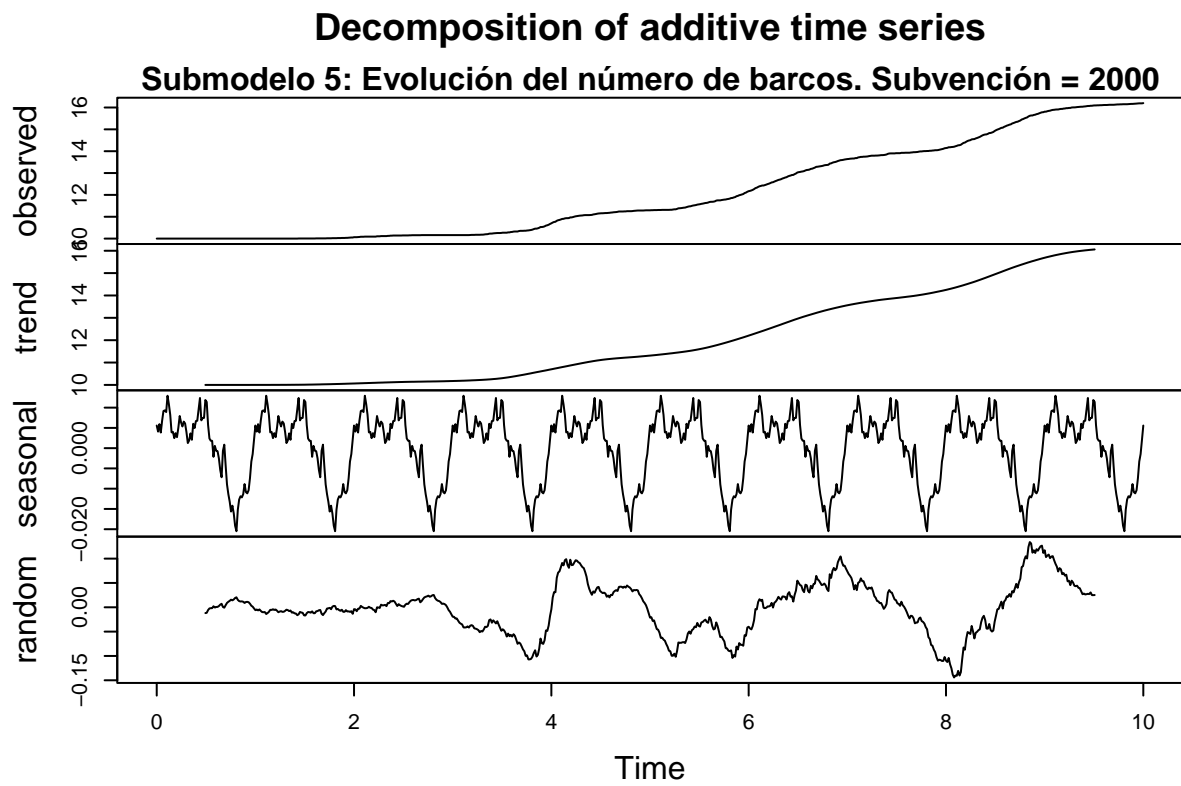


Figura 55: Submodelo 5: Evolución del número de barcos. Subvención = 2000

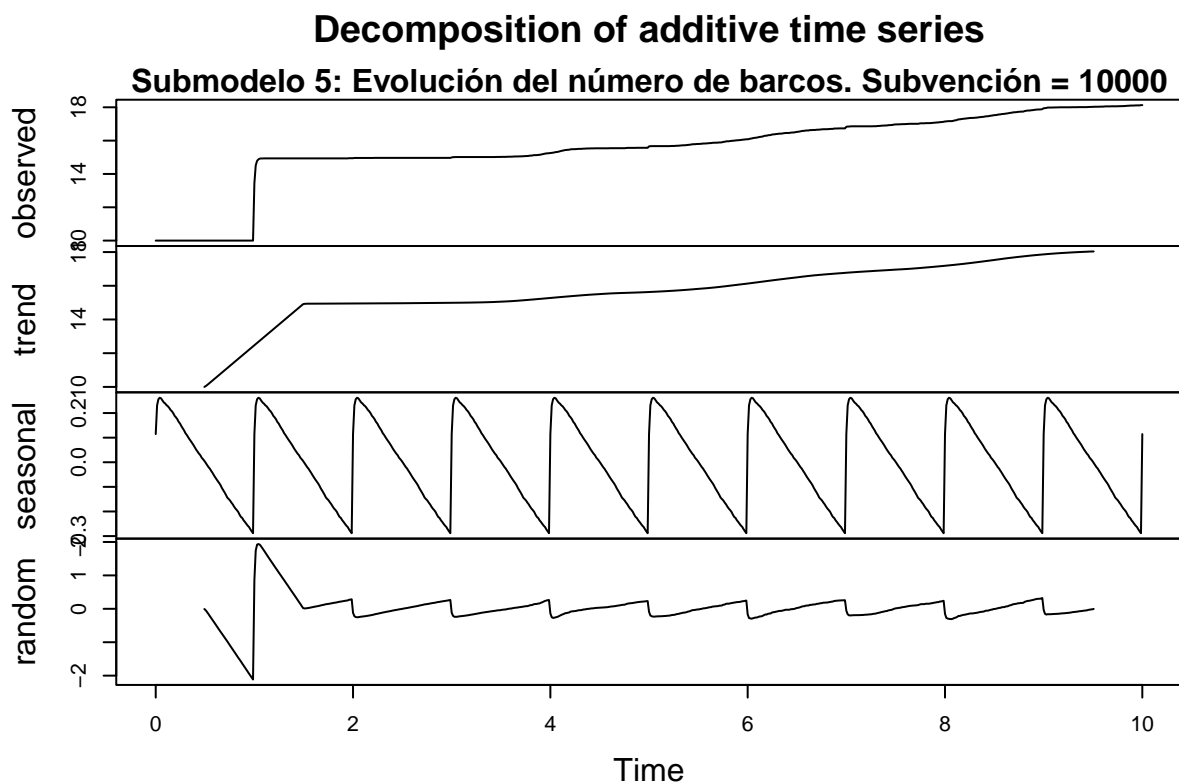


Figura 56: Submodelo 5: Evolución del número de barcos. Subvención = 10000

Al observar las series temporales que muestran la evolución de los beneficios medios de los barcos se corroboran los resultados obtenidos del cálculo del coeficiente de regresión. Es decir, aunque parezca contradictorio, el valor de los beneficios medios de los barcos se decrementa cuando se eleva el valor de las subvenciones, aunque esto no significa que la actividad pesquera sea menos fructífera en términos monetarios. Al observar los gráficos de las series temporales anteriormente descritas, se puede entender lo que ocurre realmente con los beneficios medios de los barcos. Cuando aumenta el valor de la subvención, también lo hace el número de barcos, o al menos en el momento inicial. Esto implica que, a la hora de calcular los beneficios medios, se divide la cantidad total entre un número mayor de barcos, y por consecuencia, el valor medio es más elevado cuando la subvención es menor. Es necesario recordar que, cuando un barco se expande, el valor de sus beneficios se iguala a 0, y esto explica por qué se producen los extraños patrones de crecimiento y decrecimiento pronunciado y repentino que se observan al comienzo de las series temporales donde la subvención toma valores más elevados. Además, el aumento del número de barcos conlleva un decrecimiento del número de ejemplares de sardinas, y por ende, de los beneficios empresariales; por lo que la introducción de una subvención con un valor extremadamente elevado, a largo plazo, acabaría con la sostenibilidad del modelo. Así pues, los gráficos que muestran la evolución de los beneficios observados reflejan cómo los beneficios crecen de forma más o menos pronunciada dependiendo del valor de la subvención y que, hacia el final de la simulación, la pendiente decrece moderadamente y los beneficios medios se sitúan alrededor de las 2500 unidades monetarias. La tendencia describe lo anteriormente mencionado: esta es generalmente positiva durante la mayor parte de la simulación y generalmente negativa cuando el número de barcos es mayor. En relación al componente estacional, se observan cambios en la pendiente y fluctuaciones en el valor de los beneficios medios coincidiendo con el final del ejercicio productivo y cobro de la subvención. Finalmente, el error o componente aleatorio aumenta cuando también lo hace la subvención.

Las figuras 57 y 58 muestran la evolución del número de barcos cuando el valor de la subvención es es máximo

y el mínimo respectivamente

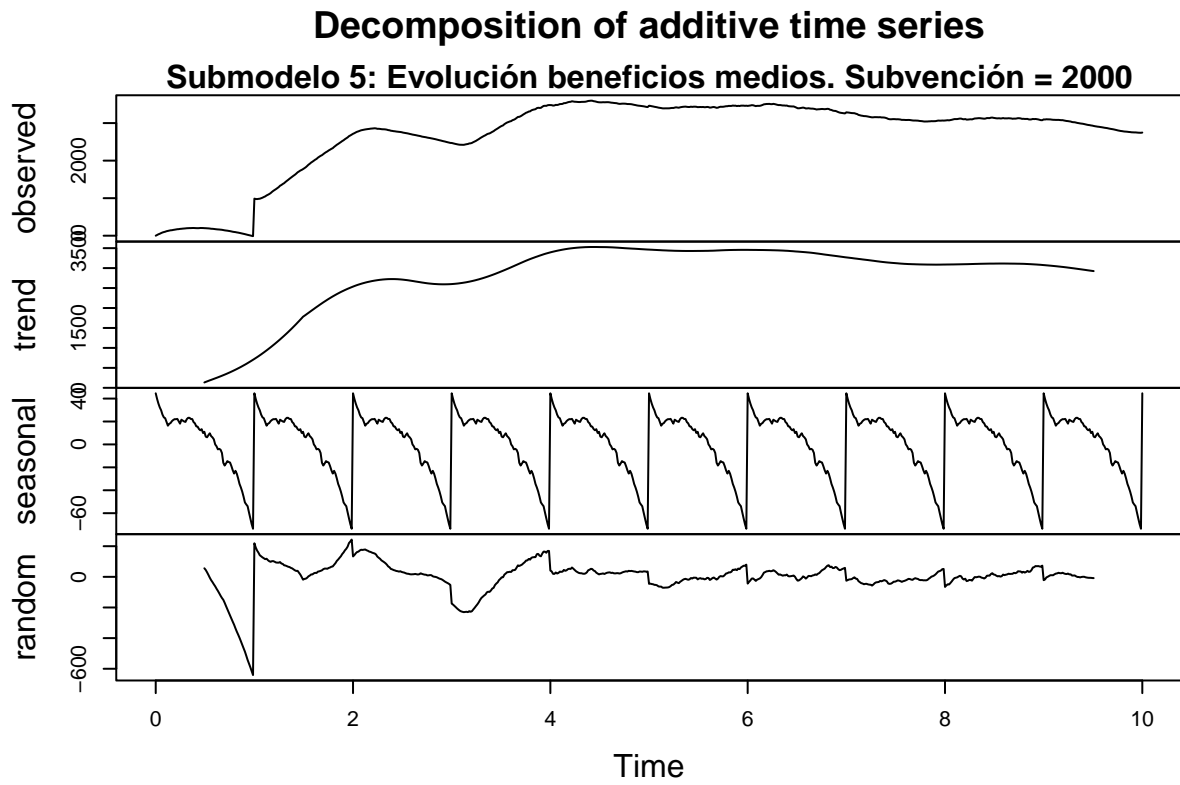


Figura 57: Submodelo 5: Evolución beneficios medios. Subvención = 2000

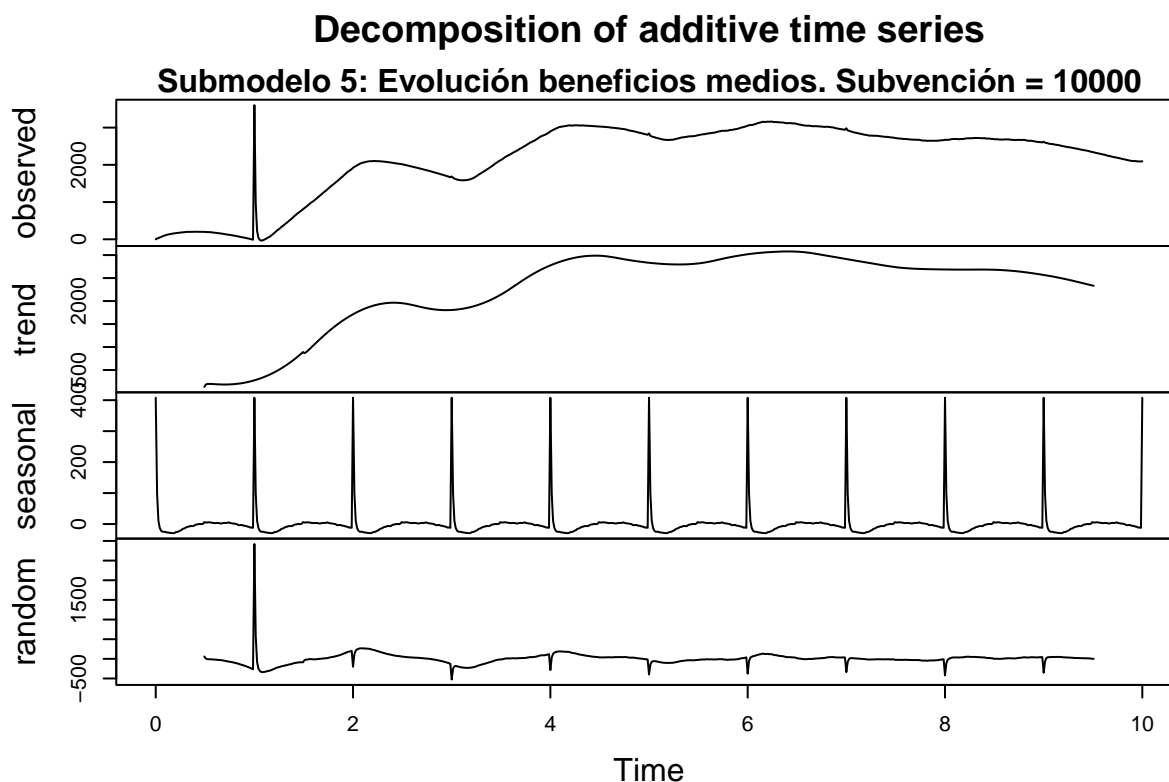


Figura 58: Submodelo 5: Evolución beneficios medios. Subvención = 10000

Conclusiones

Conclusiones generales

Experimento 2. Política de cuotas

Al comparar los resultados con los obtenidos en el primer experimento, se observa cómo, efectivamente, la introducción de una política de cuotas tiene grandes efectos sobre las variables dependientes. Al asignar valores extremos, la actividad pesquera deja de ser sostenible, pues o bien implica la extinción de las sardinas en el largo plazo, o no reporta beneficios sustanciales. Sin embargo, al introducir valores medios, se logran estados de explotación sostenible.

Experimento 3. Gravación fiscal

En términos generales, introducir medidas impositivas resulta interesante a largo plazo para conservar la población de sardinas. Se ha observado cómo estas han contribuido a conservar la especie, especialmente cuando el valor de las cargas fiscales es mayor. En el corto plazo, los beneficios de explotación de los barcos se han visto reducidos, pero se ha comprobado que en el largo plazo la actividad pesquera continúa siendo sostenible, y ya no se observa una tendencia negativa hacia el final de la serie, que auguraba un fin próximo de la sostenibilidad de la pesca. Al verse reducidos los beneficios en el corto plazo, el número de barcos total también se reduce. En general, introducir cargas impositivas provoca que la diferencia entre los ingresos y

los beneficios de explotación no sea tan notable, por lo tanto sea más sencillo adaptarse a las condiciones del entorno. Es decir, si los beneficios de explotación son desmesurados, los barcos experimentan expansiones excesivas que provocan que haya un número de barcos mayor a los que el entorno puede soportar, propiciando la desaparición de la especie y en consecuencia, la quiebra de las empresas y la tragedia de los comunes. Si, por el contrario, la actividad productiva reporta unos beneficios moderados, las expansiones que se producen no son tan repentinas, y es más sencillo que se produzcan readaptaciones en el entorno. En caso necesario, se podría producir la quiebra de alguno de los barcos, evitando que se produzca la de todos los comunes.

Experimento 4. Control de la producción de residuos contaminantes

En general, introducir sanciones por exceso de contaminación tiene resultados positivos. En las simulaciones realizadas se ha visto como el número de barcos más contaminantes desciende significativamente al aplicar sanciones, incluso cuando estas no toman valores extremos. El control que se realiza sobre la producción de residuos es clave en el funcionamiento de la política pública, permitiendo que los barcos menos contaminantes se beneficien considerablemente. Se han producido algunos escenarios poco deseables en el modelo, que serían poco verosímiles en la realidad, relacionados con la superpoblación de las sardinas. Es necesario tenerlos en cuenta a la hora de evaluar los resultados. Es decir, es cierto que cuando el control que se ejerce es muy alto y las sanciones ascienden a valores muy elevados, el número de sardinas aumenta estrepitosamente, llegando a colapsar el entorno y provocando un agotamiento del alimento; pero en el mundo real es poco creíble que se den este tipo de escenarios, ya que la pesca no cumple una función de control poblacional y la sardina no es una especie cinegética. Es decir, aunque el modelo haya colapsado, no significa que se deba concluir que es poco deseable aplicar controles exhaustivos y sanciones elevadas, porque de hecho se ha evidenciado que se reduce la contaminación producida, y al menos en el corto plazo, se aumenta el número de sardinas de la simulación.

Experimento 5. Subvenciones estatales

Este experimento sirve para observar un escenario opuesto al del experimento tercero. En este experimento se observa cómo los barcos obtienen unos beneficios de explotación exagerados, provocados por los ingresos derivados de la subvención estatal. Esto puede ser interesante en el corto plazo porque efectivamente, aumenta el número de barcos y el valor de los beneficios, pero desembocará en una tragedia de los comunes a largo plazo. Esto no significa que introducir subvenciones estatales sea una mala práctica, pero tal vez sea más interesante introducirlas cuando se combine con algún otro tipo de política pública adicional que establezca algún tipo de restricción a la producción.

Veredicto

En general, la introducción de este tipo de medidas sería interesante que se realizase de forma conjunta. Es decir, tal vez sería más conveniente combinar algunas de estas políticas con el objetivo de conseguir los mejores estados de sostenibilidad en el modelo. Introducir, por ejemplo, una subvención estatal podría funcionar muy adecuadamente si además se gravara la actividad productiva. La subvención beneficiaría a los barcos que menos ingresos generasen a lo largo del ejercicio, pero que más contribuirían a la hora de conservar la especie; y los presupuestos para las subvenciones podrían proceder del pago de los impuestos que afectan, sobre todo, a los productores con mayores ingresos a lo largo del ejercicio y que realizan un mayor impacto en el entorno. Para estudiar el comportamiento de los agentes y los posibles resultados sería interesante añadir, a su vez, mecanismos de aprendizaje y/o de comportamiento racional, que permita a los barcos decidir, por ejemplo, sobre qué tipo de sardinas centrarán su actividad productiva.

Límites del modelo

Este modelo no implementa ninguna forma de aprendizaje o de racionalidad. Esto, en consecuencia, limita el alcance de las conclusiones que se pueden extraer de la realización de los distintos experimentos. Además, se

ha observado que apenas hay varianza en las series observadas. Esto se produce por el escaso rango de valores que toman las variables independientes durante la simulación. Esto es, en última instancia, consecuencia de la escasa memoria de los ordenadores de uso personal. Si la capacidad de cómputo del ordenador permitiera asignar valores a las variables independientes con un rango mayor y más variado, combinar más variables e incluso estimar interacciones entre ellas, no sólo se obtendrían unos resultados distintos, sino que el alcance y la capacidad explicativa del modelo sería mayor.

Anexo Documental

En el siguiente enlace se podrá acceder a un archivo .zip que contiene todas las figuras generadas tras los experimentos de simulación que no han podido ser incluidas en el cuerpo del trabajo:

<https://drive.google.com/file/d/1aHpGwjRzYeHkeHjloWtzjhGTP8pwTpdc/view?usp=sharing>

Bibliografía

- Adelt, F., Weyer, J., Hoffmann, S., & Ihrig, A. (2018). Simulation of the governance of complex systems (SimCo): basic concepts and experiments on urban transportation. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 21(2).
- Anderson, L. G. (2020). *Fisheries Economics, Volume II: Collected Essays*. Routledge.
- Baden, J., & Noonan, D. S. (1998). *Managing the commons*. Indiana University Press.
- Bennett, D. S. (2008). Governments, civilians, and the evolution of insurgency: Modeling the early dynamics of insurgencies. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 11(4), 7.
- Bonifaz, J. L., & Lama, R. (2013). *Optimización dinámica y teoría económica*. Universidad del Pacífico.
- Brown, L., & Harding, A. (2002). Social modelling and public policy: Application of microsimulation modelling in Australia. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 5(4).
- Cárdenes, N. D. (1996). *Análisis económico de pesquerías mediante la teoría del control óptimo: una aplicación al modelo predador-presa* [Tesis doctoral]. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Cerdán, R. A. (1987). Estudio de la pesca de cerco en el puerto de Almería. *Boletín del Instituto de Estudios Almerienses. Ciencias*, 7, 145-167.
- Dantart, L., García-Rubies, A., Garrabou Vancells, J., Hereu Fina, B., Marí, M., Pascual, J., Sabatés, A., & Zabala i Limousin, M. (1997). Reproducció del Mero Epinephelus marginatus a les Illes Medes durant l'estiu 1997. *Seguiment temporal de la reserva marina de les Illes Medes. Informe anual. Any 1997*. p. 73-86.
- Epstein, J. M. (2012). Generative social science. En *Generative Social Science*. Princeton University Press.
- Epstein, J. M., & Axtell, R. (1996). *Growing artificial societies: social science from the bottom up*. Brookings Institution Press.
- García-Valdecasas Medina, J. I. (2011). La simulación basada en agentes: una nueva forma de explorar los fenómenos sociales. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas (REIS)*, 136(1), 91-109.
- Gilbert, N., Ahrweiler, P., Barbrook-Johnson, P., Narasimhan, K. P., & Wilkinson, H. (2018). Computational modelling of public policy: Reflections on practice. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 21(1).
- Gilbert, N., & Troitzsch, K. (2005). *Simulation for the social scientist*. McGraw-Hill Education (UK).
- Grimm, V., Railsback, S. F., Vincenot, C. E., Berger, U., Gallagher, C., DeAngelis, D. L., Edmonds, B., Ge, J., Giske, J., Groeneveld, J., et al. (2020). The ODD protocol for describing agent-based and other simulation models: A second update to improve clarity, replication, and structural realism. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 23(2).
- Janssen, M. A., & Ostrom, E. (2006). Governing social-ecological systems. *Handbook of computational economics*, 2, 1465-1509.
- Lupin, B., Keogan, L., & Muñoz, A. (2014). Gestión de los recursos pesqueros. El modelo bioeconómico de Gordon-Schaefer. *XIV Jornadas de Tecnología Aplicada a la Educación Matemática Universitaria*.
- Macer, C. (1974). The reproductive biology of the horse mackerel *Trachurus trachurus* (L.) in the North Sea and English Channel. *Journal of Fish Biology*, 6(4), 415-438.
- Mansbridge, J. (2014). The role of the state in governing the commons. *Environmental Science & Policy*, 36, 8-10.
- Nathan, A., & Barbosa, V. C. (2008). V-like formations in flocks of artificial birds. *Artificial life*, 14(2), 179-188.
- Ostrom, E. (1990). *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge university press.
- Rathe, L. (2017). La sustentabilidad en los sistemas socio-ecológicos. *Utopía y praxis latinoamericana: revista internacional de filosofía iberoamericana y teoría social*, 78, 65-78.
- Ruiz Domínguez, M. (2019). *Estructura poblacional, estimación de biomasa y análisis del estado del recurso sardina crinuda (Opisthonema libertate, O. medirastre y O. bulleri), en las Costas mexicanas del Océano Pacífico Oriental*. [Tesis doctoral]. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.
- Schindler, J. (2012). Rethinking the tragedy of the commons: The integration of socio-psychological dispositions. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 15(1), 4.
- Schulze, J., Müller, B., Groeneveld, J., & Grimm, V. (2017). Agent-based modelling of social-ecological

- systems: achievements, challenges, and a way forward. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 20(2).
- Seijo, J., Defeo, O., & Salas, S. (1998). Fisheries bioeconomics: theory, modelling and management (No. 368). *Food & Agriculture Org.*
- Wilensky, U. (1998). Netlogo flocking model. *Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.*
- Wilensky, U., & Rand, W. (2015). *An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo*. Mit Press.
- Wilensky, U., & Reisman, K. (2006). Thinking like a wolf, a sheep, or a firefly: Learning biology through constructing and testing computational theories-an embodied modeling approach. *Cognition and instruction*, 24(2), 171-209.