Variables asociadas al cambio climático que afectan a la acuicultura de las especies objetivo Identificación y análisis

Proyecto AQUADAPT: Plan de Adaptación del sector de la acuicultura marina española al cambio climático

Fecha de publicación: 2018

Este documento ha sido elaborado en el marco del proyecto AQUADAPT “Plan de Adaptación del sector de la acuicultura marina española al cambio climático”, liderado por el Campus do Mar representado por la Universidade de Vigo (UVIGO) y la Universidade de Santiago de Compostela (USC), en colaboración con el Centro Tecnológico del Clúster de la Acuicultura de Galicia (CETGA), el Centro Tecnológico de Acuicultura de Andalucía (CTAQUA), y con el apoyo de la Fundación Biodiversidad.

Las opiniones y documentación aportadas en esta publicación son de exclusiva responsabilidad del autor o autores de los mismos, y no reflejan necesariamente los puntos de vista de las entidades que apoyan económicamente el proyecto.

Con el apoyo de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica. El proyecto se enmarca en el proyecto LIFE IP INTEMARES “Gestión integrada, innovadora y participativa de la Red Natura 2000 en el medio marino español”, que coordina el Ministerio, a través de la Fundación Biodiversidad.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1

1.1. Especies de estudio, sistemas de cultivo y áreas geográficas 2

1.2. Objetivo del documento 4

2. VARIABLES AMBIENTALES 4

2.1. Temperatura 5

2.2. Oxígeno 6

2.3. Oleaje 7

2.4. Eventos extremos (temporales) 9

3. IMPACTOS E INDICADORES 9

3.1. Consecuencias biológicas en la acuicultura 11

3.1.1 Impactos biológicos 11

3.1.2. Indicadores biológicos 16

3.2. Consecuencias económicas en la acuicultura 16

3.2.1. Impactos económicos 16

3.2.2 Indicadores económicos 19

3.3. Consecuencias sociales en la acuicultura 20

3.3.1 Impactos sociales 20

3.3.2. Indicadores sociales 21

4. PRÓXIMOS PASOS 21

5. REFERENCIAS 23

6. ACRÓNIMOS 29

ANEXO I. VARIABLES AMBIENTALES DESCARTADAS 31

ANEXO II: TABLA 1. IMPACTOS E INDICADORES BIOLÓGICOS 33

ANEXO III: TABLA 2. IMPACTOS E INDICADORES ECONÓMICOS 34

ANEXO IV: TABLA 3. IMPACTOS E INDICADORES SOCIALES 36

1. INTRODUCCIÓN

Tal y como reconoce el Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) la evidencia científica del calentamiento en el sistema climático provocado por la acción del hombre es inequívoca (IPCC, 2014).
El plan nacional de adaptación al cambio climático (en adelante CC), reconoce que España, por su situación geográfica y sus características socioeconómicas, es un país muy vulnerable al CC.

En España la acuicultura marina es una actividad económica muy importante. Su producción sumó en 2015 un total de 289.821 toneladas (tn) y alcanzó un valor en su primera venta de 407,2 millones de euros (APROMAR, 2017). El Plan Estratégico de la Acuicultura Española establece unos objetivos ambiciosos para la acuicultura española, con producciones de 369.470 toneladas en 2020 y 527.766 toneladas en 2030. El valor de esas producciones sería de 780 y 1.465 millones de euros respectivamente (APROMAR, 2016). Después del mejillón (225.307 tn), la lubina (21.324 tn) y la dorada (16231 tn) son las especies principales producidas en España seguidas de la trucha arco iris (16.179t tn) (APROMAR, 2017). El cultivo de rodaballo en 2015 ha sido de 7815 tn (APROMAR, 2016).

En lo que se refiere al empleo, la acuicultura es una actividad empresarial generadora de puestos de trabajo estables y de calidad. La cifra de empleo en acuicultura en España en 2015 fue de 18.076 personas, que computadas en Unidades de Trabajo Anuales (UTA) sumaron 6.813 UTAs. La estimación de empleo indirecto asociado a las 18.076 personas trabajando en acuicultura es de 45.190 puestos de trabajo. El empleo de la acuicultura en España podría alcanzar 30.000 personas en 2030 (APROMAR, 2017).

La producción de peces de acuicultura en España supuso en 2016 un total de 47.635 toneladas (APROMAR, 2017). Además, se estima, en un escenario moderado, una producción de peces marinos de acuicultura de 91.300 toneladas en 2025 y 121.800 toneladas en 2030. El valor de estas producciones sería de 69 y 938 millones de euros respectivamente (APROMAR, 2017).

En este sentido, dada la gran importancia que tiene la acuicultura, los efectos del CC que afectan a las variables ambientales que rigen su sostenibilidad tienen una gran repercusión sobre el sector con efectos sociales y económicos.

Concretamente la acuicultura de peces en España es una actividad especialmente vulnerable por lo siguiente:

- Se realiza típicamente en zonas costeras, bien sobre la lámina de agua o bien en zonas de la costa situadas al nivel del mar o muy pocos metros por encima de éste.
-
    - Estructuras muy expuestas a condiciones meteorológicas desfavorables (jaulas)
    - Instalaciones fácilmente inundables (esteros)

- Sistemas de suministro y tratamiento de aguas dimensionados para las condiciones actuales.

- Se cultivan especies poiquilotermas, totalmente dependientes de las condiciones ambientales. La transmisión de patógenos se produce con mucha mayor facilidad en el medio acuático que en el terrestre.

En este contexto, surge el presente proyecto titulado **"Plan de adaptación del sector de la acuicultura marina española a los efectos del Cambio climático" (AQUADAPT)** para profundizar en el conocimiento del impacto del CC y diseñar acciones de adaptación dirigidas a disminuir la vulnerabilidad del sector y aumentar su resiliencia. Dichas acciones de adaptación serán a nivel nacional o subregional e incluso sectorial, pues los impactos y las vulnerabilidades son específicos de cada lugar y de cada sector de actividad.

Es un proyecto liderado por el Campus do Mar en el que participan investigadores de la Universidade de Vigo y de la Universidade de Santiago de Compostela y entidades empresariales del territorio nacional como el Cluster de Acuicultura de Galicia (CETGA) y el Centro Tecnológico de Acuicultura de Andalucía (CTQUA).

El objetivo principal del proyecto es:

Contribuir a la adaptación del sector de la acuicultura marina (rodaballo, dorada, lubina) a los efectos del CC en el territorio nacional.

Los objetivos específicos son:

1.Incremento del conocimiento de los impactos del CC y de riesgos por área geográfica, especie cultivada y sistema de cultivo.

2.Elaboración de un Plan de Adaptación al CC para la acuicultura marina en el horizonte 2050 como herramienta de apoyo a la planificación y gestión.

3.Promoción de la sostenibilidad del Plan de Adaptación mediante el diseño de un plan de acción y comunicación.

1.1. Especies de estudio, sistemas de cultivo y áreas geográficas

El presente proyecto, se centra en el cultivo de tres especies de peces marinos, el rodaballo (*Scopthalmus maximus L. 1758)*, la dorada (*Sparus aurata L. 1758*) y la lubina (*Dicentrarchus labrax L. 1758)*. Como se acaba de comentar anteriormente, su producción acuícola destaca en España y en el contexto mundial (APROMAR, 2017). A continuación, se resumen algunos datos de producción de estas especies según el informe de APROMAR (2017).

Dorada

La producción acuícola total de dorada en Europa y el resto del Mediterráneo en 2016 se estima en 195.853 toneladas y su valor total en primera venta ha sido de 1.116 millones de euros (APROMAR, 2017). De los 20 países productores destacan Turquía con 67.612 toneladas (34,5 % de la producción total), Grecia con 59.000 tn. (30,1 %), Egipto con 17.000 tn (8,7 %) y España con 13.740 tn (7,0 %).

La producción de dorada de acuicultura en España en 2016 ha sido de 13.740 toneladas, un 15,3% menos que el año anterior. La Comunidad Valenciana, con 5.619 tn, es la región española con mayor producción. La producción de juveniles de dorada de España en 2016 ha sido de 43,2 millones de unidades (APROMAR, 2017).

Lubina

La producción acuícola total de lubina en Europa y el resto del arco Mediterráneo en 2016 se estima en 176.956 toneladas, según estadísticas de FAO, FEAP y APROMAR. Los principales países productores de lubina son Turquía, con 72.342 toneladas (40,9% del total de lubina), Grecia con 46.000 tn (26,0%) y España con 23.445tn (13,2%).

La producción de lubina de acuicultura en España en 2016 ha sido de 23.445 toneladas, un 9,9% más que en 2015. La Región de Murcia ha encabezado la producción española con 8.164 toneladas y también es importante la Comunidad Valenciana con 3.457 tn. La producción de juveniles de esta especie ha sido de 34,1 millones de unidades.

Rodaballo

Según las estadísticas de FAO de 2014, a nivel mundial China es el principal país productor de rodaballo. Sus cosechas se estiman entre el 55.000 y 65.000 toneladas, pero no consta si se trata de la misma especie que en Europa. La producción total de rodaballo de acuicultura en Europa en 2016 es de 10.007 toneladas (APROMAR, 2017)

España es, con diferencia, el principal país productor de rodaballo en Europa, con 7.396 toneladas en 2015 (73,9% total) seguida de Portugal con 2.222 toneladas (27,7 %). Galicia es, con diferencia, la principal Comunidad Autónoma productora de rodaballo en España (99 %). La producción de juveniles de rodaballo en España en 2015 fue de 9,7 millones de unidades (APROMAR, 2017).

El estudio se centra en dos sistemas de cultivo: las instalaciones de tierra en circuito abierto y las jaulas flotantes en el mar. En las instalaciones de tierra se consideran por un lado en un mismo grupo las instalaciones de cría (*hatchery*) de rodaballo, dorada y lubina y en otro el engorde de rodaballo, y en el sistema de jaulas marinas se considera el engorde de dorada y lubina. Las jaulas son estructuras muy expuestas a las condiciones ambientales y las instalaciones de tierra, aunque son menos vulnerables, puede verse afectada parte de su estructura en condiciones desfavorables (ej. las tuberías para captación de agua).

Para la medición y análisis del impacto se han considerado dos regiones del litoral español, el NW del Océano Atlántico en Galicia y el Mar Mediterráneo, seleccionaron dos casos de estudio a nivel nacional: uno en Galicia, por su importancia en producción de rodaballo y otro en la Comunidad Valenciana por su importancia en cultivo de dorada y lubina en el área del Mar Mediterráneo.

1.2. Objetivo del documento

Este documento es el resultado de la primera actividad del proyecto (A1. Identificación y Análisis de Variables) y constituye el primer entregable (A.1.-E.1.) del proyecto. Está realizado por el equipo investigador de la Universidade de Vigo y Universidade de Santiago de Compostela pertenecientes al Campus do Mar y a nivel sectorial por los representantes de CETGA y CTQUA.

El objetivo del documento ha sido identificar, de forma participativa entre todos los miembros del proyecto, las variables afectadas por el cambio climático y que tienen un impacto importante sobre el sector acuícola. Estas variables, una vez seleccionadas, servirán de base para analizar el impacto actual y potencial del CC en el sector. En el presente documento se describen los impactos más importantes a nivel biológico, económico y social que afectan a las especies de estudio y sistemas de cultivo seleccionados. Además, se proponen diferentes indicadores para ser medidos directamente en las empresas y valorar el efecto del cambio climático en el sector.

Este documento corresponde a una revisión bibliográfica realizada por los investigadores de la Universidade de Vigo y la Universidade de Santiago de Compostela. A partir de la información generada en él, los indicadores serán incluidos en unos cuestionarios y distribuidos en las empresas del sector según los casos de estudio seleccionados por el equipo de trabajo.

2. VARIABLES AMBIENTALES

A continuación, se identifican las variables ambientales asociadas al cambio climático con una mayor repercusión en el cultivo de las especies objetivo.

En la Figura 1, se muestra un mapa conceptual en el que se resumen los efectos del cambio climático en el medio marino sobre variables simples (T: temperatura, S, O_2: oxígeno, CO_2: dióxido de carbono,) y compuestas (oleaje, circulación, estratificación) en las que intervienen varios factores a la vez. En color rojo se indican las variables simples que desencadenan gran parte de los impactos en el mar, en color verde se indican las variables de naturaleza bio-geo química y en color azul se indican variables compuestas (algo más complejas) afectadas por la interacción de varias variables.

En él se observa como la continua emisión de gases de efecto invernadero, principalmente de CO_2, produce el calentamiento de la atmósfera y a su vez provoca cambios en los vientos, nuevos equilibrios en los procesos de evaporación y precipitación y un calentamiento del océano.

Este aumento en la temperatura del mar junto con variaciones de salinidad (que modifican la densidad) desencadenan impactos con un efecto en cascada en el medio marino.

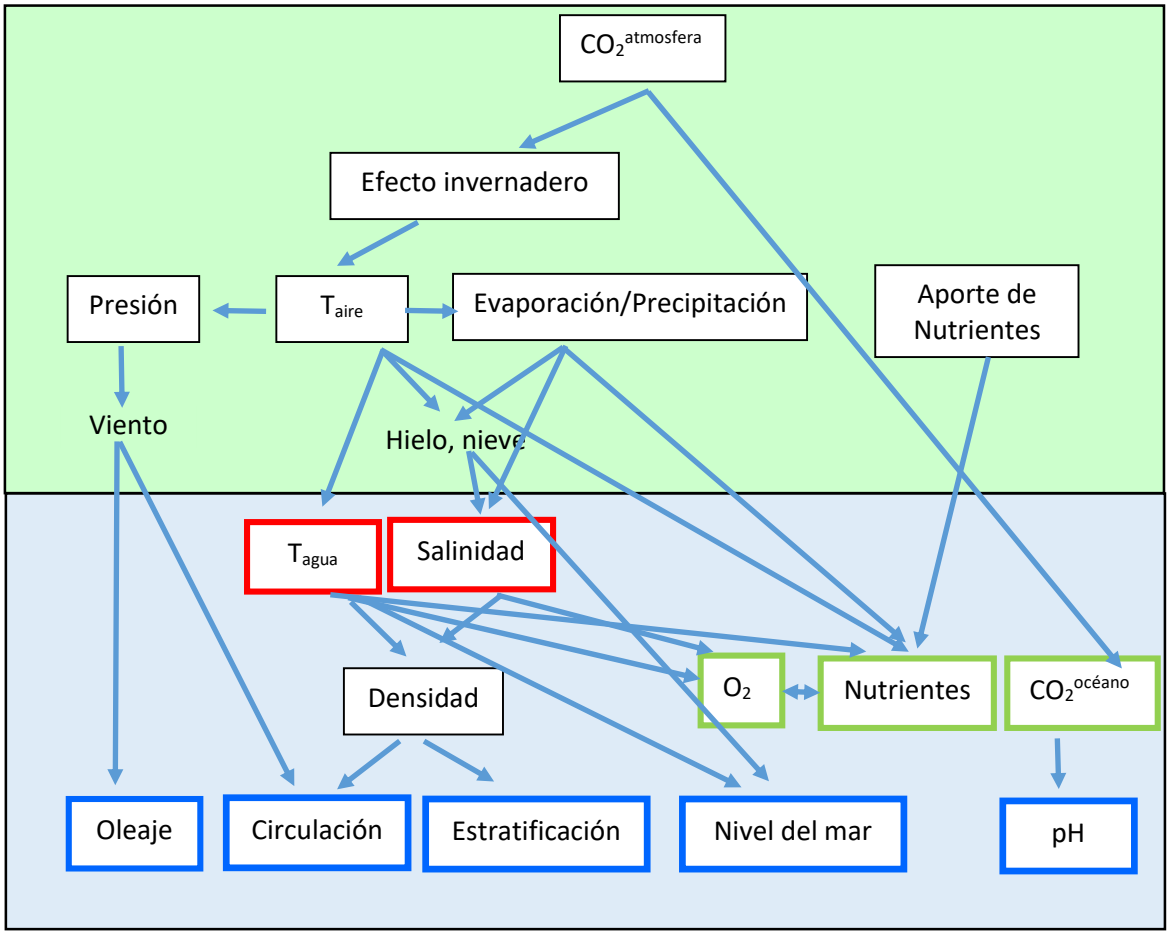

Fig. 1. Mapa conceptual de los efectos del cambio climático en el mar.

En este contexto de cambio climático, no es posible atribuir los impactos sobre la acuicultura a unas variables concretas pues las variables interaccionan entre sí y como señalan De silva y Soto (2009), forman parte de una cadena de efectos. Tampoco es fácil elegir las variables más importantes pues unas pueden agravar el efecto de otras, hay efectos directos, indirectos y con impactos a corto y largo plazo. A pesar de ello, con el fin de simplificar, a partir del mapa (Figura 1), se han seleccionado aquellas variables que podrían afectar en mayor medida al cultivo de las especies objetivo según los sistemas de cultivo y áreas geográficas elegidas y siempre que su impacto sea medible. Las variables descartadas por considerar que sus impactos sobre las especies de estudio son limitados se muestran en el Anexo 1 y las seleccionadas se indican a continuación:

2.1. Temperatura

La temperatura (T) es una medida de la energía interna de un sistema. En el caso del agua del océano, el sistema tiene una gran inercia térmica (capacidad calorífica) de modo que cede y

absorbe calor muy lentamente, por lo que su temperatura tiende a ser muy estable (Stocker *et al*., 2013). Al aumentar la temperatura decrece la densidad del agua, por lo que la temperatura disminuye con la profundidad, siempre que no haya efecto de salinidad. La temperatura del agua superficial del mar (SST, Sea Surface Temperatura) es fuertemente dependiente de la latitud.

En relación a las áreas geográficas consideradas en el presente informe, en la costa oeste de Galicia la temperatura superficial oscila normalmente entre 13 y 18º C, siendo las máximas estivales suaves debido al efecto regulador del afloramiento costero. En zonas con latitudes similares, como Baleares en el Mar Mediterráneo, la temperatura oscila entre 13 y 24º C.

En el contexto del cambio climático, el calentamiento de la atmósfera por el incremento de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), en gran parte por la mayor concentración de CO_2, está aumentando la temperatura del agua de los océanos (1880-2010) desde 1940 (NOOA, 2012). Según el AR5 (Quinto Informe de Evaluación del IPCC), las temperaturas de la superficie del mar aumentaron significativamente durante los últimos 30 años en más del 70% de las costas del mundo, con amplias variaciones espaciales y estacionales (IPCC, 2014). El AR5 indica que el calentamiento del océano es mayor cerca de la superficie, sumando más de 0,1ºC por década en los primeros 75 m durante el periodo 1971–2010, y aumentando 0,015ºC desde la capa superficial hasta los 700m decreciendo con la profundidad hasta los 2000 m (IPCC, 2013; IPCC, 2014; Stocker *et al.*, 2013).

El IPCC proporciona mapas de posibles escenarios futuros, que son orientativos por lo que deben de interpretarse con cautela. El AR5 ha definido cuatro escenarios de emisión, denominados Sendas Representativas de Concentración (RCP, de sus siglas en inglés) que de menor a mayor emisión son: RCP2,6; RCP4,5; RCP6 y RCP8,5. Las mejores estimaciones indican que, al final del siglo XXI, el calentamiento del océano en los primeros 100 m de profundidad será de aproximadamente entre 0,6ºC (RCP2,6) y 2,0ºC (RCP8,5) (IPCC, 2013). En un escenario medio como el RCP4.5 indican incrementos de SST del orden de 0.75ºC al compararse el periodo 2016-35 con el 1986-2005 (IPCC, 2014). Estos valores estarían relacionados con la mayor parte del Atlántico, por lo que la proyección podría cambiar a nivel costero y local, que es donde se desarrolla la acuicultura. Por tanto, según estas proyecciones del cambio climático, el océano se calentará en todos los escenarios. Este proceso continuará durante siglos debido a las largas escalas temporales de la transferencia de calor entre la superficie y el océano profundo, incluso si las emisiones de GEI decrecen o se mantienen constantes (IPCC, 2013; 2014).

2.2. Oxígeno

El oxígeno (O_2) es uno de los elementos químicos a partir del cual se construye la vida. Se encuentra en la corteza terrestre, océanos y atmósfera en proporciones casi constantes gracias al equilibrio entre fotosíntesis, respiración y oxidación del carbono orgánico. Casi la totalidad es de origen biológico, existiendo una estrecha relación entre la evolución de los seres vivos y el oxígeno (Turley *et al*., 2014).

El oxígeno es un importante marcador físico y biológico en el océano. Este factor junto con otras variables como la salinidad, las corrientes, la temperatura, el CO_2, los nutrientes y la luz afectan

a la fisiología de los seres vivos y determinan la composición, estructura y funcionamiento de los ecosistemas marinos (Stocker *et al.*, 2013). Según Kibria *et al.* (2017), niveles de oxígeno disuelto por debajo de 2.8 mg/l, pueden deteriorar la reproducción de los peces, reducir el éxito de fertilización de huevos y provocar alteraciones en el sistema endocrino de los peces.

El cambio climático está alterando las propiedades físicas, químicas y biológicas de los océanos (Stocker *et al*., 2013). Estos mismos autores indican que a partir de análisis globales de los datos de oxígeno desde 1960 a 1990 se concluye (a un nivel de confianza medio) que el patrón global observado de disminución del oxígeno disuelto en los océanos puede atribuirse en parte a la influencia humana.

La solubilidad del oxígeno es inversamente proporcional a la temperatura del agua (Ficke *et al*., 2007). En este sentido el aumento de temperatura del agua de mar provocado por el cambio climático produciría un descenso del oxígeno disuelto en el agua. Por otro lado, la mayor estratificación de la parte superficial del océano (provocada por cambios de T y salinidad) también conduce a una disminución del suministro de oxígeno hasta la termoclina desde las aguas cercanas a la superficie (Stocker *et al.*, 2013). Esto afecta a la productividad, el flujo y ciclo de nutrientes y del carbono y a la vida marina (Keeling *et al.*, 2010; Kersting, 2016). Otras causas de cambios y disminución de oxígeno disuelto en el agua pueden ser la acidificación oceánica y la escorrentía rica en nutrientes procedente de arroyos y ríos (Turley *et al.*, 2010) y los cambios de la circulación originada por el viento (Stocker *et al.*, 2013).

Los actuales modelos del océano predicen descensos de entre el 1 y el 7 por ciento en la cantidad global de oxígeno oceánico a lo largo del próximo siglo, pero existe una gran incertidumbre respecto a la escala y a la localización de estos cambios, así como a su impacto ecológico (Turley *et al*., 2010). No hay disponibilidad de proyecciones futuras ni escenarios de cambio climático en relación a esta variable.

2.3. Oleaje

El oleaje es el conjunto de olas provocadas por el viento, cuyo arrastre sobre la superficie del agua produce la formación de ondas capilares de unos milímetros de altura, a partir de los cuales se generan olas de tamaño mayor como las que habitualmente se observan en la costa.

Al describir el oleaje, se usan los conceptos mar de viento y mar de fondo:

- Mar de viento es aquel oleaje que aparece en la zona de formación. Normalmente hay olas de todos los tamaños y longitudes de onda que se propagan en direcciones diferentes, siendo las crestas picudas.

- Mar de fondo es el oleaje fuera de la zona de generación. Normalmente, la longitud de onda es mayor que en el caso del mar de viento y las crestas son más suaves.

Los parámetros que se utilizan para describir el oleaje y caracterizan las olas son la altura significante y el periodo de pico de la ola, cuyos valores están disponibles en la web de Puertos del Estado:

- Altura significante de ola: Es el promedio de altura de la ola (en m) entre el punto de depresión y el punto de cresta del tercio más alto de las olas (de viento y de fondo) en un período dado (IPCC, 2013).

- Periodo de pico: es el período de la ola (expresado en segundos) asociado a la frecuencia de pico, en la que viaja la máxima energía del espectro de olaje.

En relación con las áreas geográficas consideradas en el presente informe, en la costa de Galicia (Boya de Cabo Vilano) alrededor del 80% de las olas tienen un periodo de pico en el rango de 8-12 s y una altura significante de 2-4 m. En el caso del Mediterráneo, en la costa balear (Boya de Dragonera) alrededor del 80% de las olas tienen un periodo de pico en el rango de 8-10 s y alrededor de un 90% tienen una altura significante menor de 2 m. En España, el Organismo Público Puertos del Estado (OPPE) junto con la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) son los que producen y distribuyen este tipo de información marítimo-meteorológica en forma de mapas, gráficos y tablas en la página web de Puertos del Estado (Gómez & Carretero, 2005). En ella incluyen los datos anteriores, así como una predicción de viento y de oleaje de 72 horas (Atlántico Norte y cuenca occidental del Mar Mediterráneo).

En el contexto de cambio climático, el oleaje es uno de los principales factores climáticos susceptibles de cambio que afectan a la costa española, observándose en las últimas 6 décadas importantes variaciones en intensidad y dirección (Losada *et al.*, 2014). Por un lado, el periodo de pico de la ola (importante para el rebase sobre estructuras) muestra una tendencia creciente en todo el Atlántico especialmente al sur de Canarias, donde se estiman aumentos de medio segundo para el año 2030. Por otro lado, con relación a la altura significante, se ha observado un aumento significativo para el Cantábrico (hasta 0,8 cm/año) en el oleaje más intenso (percentil 95 de altura de ola significante) y un descenso en el Mediterráneo y Canarias. Asimismo, se han producido cambios significativos en la dirección dominante del oleaje (flujo de energía medio anual) en la Costa Brava y sur del Delta del Ebro.

Las estimaciones de cambios del oleaje durante el siglo XXI en diferentes escenarios de cambio climático son escasas y según la comunidad científica las conclusiones conllevan mucha incertidumbre al no existir proyecciones de clima marítimo de alta resolución para el litoral español y están todavía en construcción modelos oceánicos regionales. (Losada *et al.*, 2014)

En la actualidad, en el marco del proyecto C3E (www.c3e.ihcantabria.com) las bases de datos generadas permiten caracterizar el oleaje propagado hasta el litoral español (Camus *et al.* 2013).

El visor cartográfico C3E permite observar proyecciones del oleaje en zonas costeras, aunque solo para los escenarios de emisiones SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*) del AR4 (Cuarto informe de evaluación del IPCC) (A1B, B1 y A2) en diferentes periodos. Hasta el año 2040, las proyecciones de altura de la ola media muestran un cambio prácticamente nulo en los

tres escenarios en la mayoría de las zonas y es significativo a partir de 2050, especialmente en las Islas Canarias (Losada *et al.*, 2014).

2.4. Eventos extremos (temporales)

Los eventos extremos son aquellos que suceden con una baja probabilidad, pero que pueden tener un gran impacto. Una ola de calor, una sequía pertinaz o una inundación por lluvia son ejemplos de eventos extremos y están relacionados con el clima.

En el mar, los eventos extremos normalmente se asocian a fenómenos de oleaje extremo, como podrían ser los "temporales". Un ejemplo reciente es el temporal de invierno del 2014 en la costa Atlántica y Cantábrica de la Península Ibérica, caracterizado no solamente por olas de altura extrema, sino también por periodos inusualmente altos. En la boya de Cabo Vilano se midió una altura significante de más de 12 m con un periodo de 20 s en enero de 2014 (Fuente: Redes de Puertos del Estado).

En el contexto del cambio climático, existen observaciones que predicen en las últimas décadas un incremento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos incluyendo olas de calor, sequías, y tormentas tropicales y a latitudes medias (Frost *et al.*, 2012; Kersting, 2016). El AR5 (IPCC, 2014) indica el aumento de eventos extremos en general y de la sequía en particular en el sur de Europa. No obstante, la magnitud de estos eventos climáticos extremos es difícil de precisar y medir como ocurre con el oleaje (Losada et al., 2014). Según Stocker *et al.* (2013) existen problemas vinculados al método de observación y muestreo de datos que dificultan las evaluaciones y declaraciones sobre tendencias a largo plazo.

A pesar de las limitaciones Stocker *et al.* (2013) indican que existen evidencias de un incremento del número de tormentas en el Atlántico Norte desde 1970. Igualmente, Díaz & Remiro (2013) señalan, además de una mayor intensificación de las tormentas, una mayor duración de los temporales, con un aumento importante de la altura de ola en el litoral cantábrico y gallego y con cambios (últimos 50 años) en la dirección del oleaje en los archipiélagos y en el norte de Cataluña.

3. IMPACTOS E INDICADORES

Una vez identificadas las variables asociadas al cambio climático con significación para la acuicultura de las especies objetivo, se indican sus principales impactos biológicos, económicos y sociales. Los impactos se definen como efectos en los sistemas naturales y humanos. En el presente informe, el término impactos se emplea principalmente para describir los efectos sobre los sistemas naturales y humanos causados por variables ambientales afectadas por el cambio climático. Se refieren a efectos en las especies y el ecosistema, las infraestructuras, los bienes económicos y sociales debido a la interacción del cambio climático que ocurren en un lapso de tiempo específico y a la vulnerabilidad del sistema y sociedad expuestos a ellos. Los impactos también se denominan consecuencias y resultados (IPCC, 2014).

Asociados a los diferentes impactos se proponen una serie de indicadores con el objetivo de medir el impacto directamente en las propias empresas de cara a establecer un diagnóstico e

implementar medidas de adaptación. En la literatura el concepto, las funciones y los objetivos de los indicadores aparecen definidos con distintas acepciones y de diversas maneras (Golusin & Ivanovic, 2009). En términos generales, un indicador puede ser definido como "*la parte observable de un fenómeno que permite valorar otra porción no observable por dicho fenómeno*" (Chevalier *et al.*, 1992), o "*una medida de comportamiento del sistema en términos de atributos significativos y perceptibles*" (Holling, 1978); o bien como "*un parámetro, o un valor derivado de un parámetro, el cual provee información acerca de un fenómeno*" (OCDE, 1994).

Los indicadores son una herramienta sencilla y nos informan rápida y fácilmente sobre algo de interés. En la literatura se mencionan muchas de las propiedades que debe cumplir un indicador tales, entre las que destacan (ICES, 2005; OECD, 2001a; 2001b; 2008; Villasante *et al.* 2012):

- Medible: los indicadores deben ser medibles en la práctica y en la teoría, a través del empleo de instrumentos, programas de monitoreo y herramientas analíticas existentes. Deben contener un sesgo mínimo y que sea conocido;
- Costo-efectividad: Los indicadores deberían tener en cuenta el costo y la efectividad dado que los medios financieros para el monitoreo de recursos es limitado. Los indicadores deben adoptarse con el objeto de obtener los mayores beneficios posibles para la sociedad y el rápido progreso del desarrollo sostenible;
- Concreto: deberían ser observables y medibles más que reflejar propiedades abstractas que solo aportan estimaciones indirectas sobre el estado de un ecosistema. La existencia de indicadores concretos fácilmente interpretables por los agentes (industria, pescadores, organizaciones no gubernamentales, etc.) contribuirá a la mejora del proceso de toma de decisiones;
- Interpretable: los indicadores deberían reflejar las preocupaciones de los agentes, y la interpretación de los resultados que se derivan deben ser consistentes con el entendimiento del público en general;
- Acorde con las teorías científicas: los indicadores deben poner de relieve las características de los ecosistemas y los impactos de los seres humanos; y deben basarse en conceptos teóricos claramente definidos y contrastados;
- Sensitivo: las tendencias de un indicador deberían ser sensibles a los cambios que se producen en los ecosistemas que el indicador pretende medir;
- Ágil en la respuesta: los indicadores deben ofrecer una respuesta rápida a las acciones efectivas de gestión, aportando un feedback confiable y expedita sobre las consecuencias de las acciones de gestión adoptadas;
- Específico: los indicadores deben responder a propiedades que pretenden medir más que, a otros factores, y deben ser capaces de distinguir los efectos de los restantes factores de aquellos que el indicador ha observado.

Los indicadores suelen tener tres cualidades básicas: simplificación, cuantificación y comunicación. En este estudio se considerarán indicadores dirigidos a tres niveles: biológico, económico y social. Algunos de ellos (especialmente los económicos y sociales) coinciden con indicadores estándar ya utilizados en otros sectores como la pesca comercial.

A continuación, se resumen en líneas generales para las variables seleccionadas, los impactos y los indicadores según su naturaleza biológica, económica y social.

3.1. Consecuencias biológicas en la acuicultura (Anexo II: Tabla 1)

3.1.1 Impactos biológicos

Los diferentes cambios en las variables anteriores, tales como un aumento de temperatura, niveles bajos de oxígeno o una mayor intensidad de oleaje y de temporales, entre otros, pueden provocar variaciones en el medio que desencadenan alteraciones en los organismos. Entre ellas destaca el incremento de patologías que en algunos casos se agravan y producen mortalidad y por otro lado variaciones en el crecimiento y la maduración.

a) Mayor vulnerabilidad ante enfermedades e incremento de la mortalidad

Descripción:

- ENFERMEDADES

Aumento de temperatura

El aumento de temperatura asociado al cambio climático puede provocar enfermedades en los peces a través de cambios en los patógenos, en los hospedadores y en el patrón de contacto hospedador-patógeno.

Según Callaway *et al.* (2012) el aumento de temperatura por efecto del cambio climático puede afectar al grado de infección por los patógenos a través de tres vías:

En primer lugar, aumentando la carga bacteriana y su composición en especies en el medio y por tanto el riesgo y grado de infección. El aumento de la temperatura puede alterar la expresión génica global de patógenos, que resulta en cambios en su capacidad infectiva (Guijarro *et al.*, 2015).

En segundo lugar, un aumento de temperatura puede modificar el tiempo de la actividad infecciosa ya sea alargando el tiempo de residencia e infección (Harvel *et al.*, 2002) o disminuyendo el tiempo de regeneración de bacterias y virus (Gubbins *et al.*, 2013);

En tercer lugar, un incremento de temperatura puede aumentar la vulnerabilidad de los peces ante enfermedades e infecciones (Alborali, 2006; Karvonen *et al.*, 2010, Peleteiro, 2010). Constituye un factor de estrés en peces ya que la desviación de la temperatura fuera de su rango fisiológico normal puede reducir su respuesta inmune y su resistencia a diversos patógenos (Le Morvan *et al.*, 1998).

En las especies de estudio un aumento de temperatura puede incrementar el riesgo de algunas enfermedades tales como:

Enfermedades bacterianas:

-Vibriosis (Vezzulli *et al.*, 2013; 2015) provocada por bacterias de las especies *Vibrio anguillarum* (en dorada, lubina y rodaballo) y por *Vibrio harveyi* (dorada y lubina).

-Photobacteriosis (antigua pasteurelosis) provocada por la bacteria *Photobacterium damselae* subsp. *piscicida* o por *P. damselae subsp. damselae* (en dorada y lubina) (Margarinos *et al.,* 2001).

-Tenacibaculosis provocada por la bacteria *Tenacibaculum maritimum* (rodaballo, dorada y lubina). Puede venir transportada por materia orgánica en suspensión y por las medusas (Avendaño *et al.,* 2006; Faílde *et al.*, 2013).

Infecciones provocadas por virus:

-El incremento en la incidencia y mortalidad por el virus Nodavirus (lubina y dorada) (Toffan *et al.*, 2016).

-Infección por el virus de la enfermedad de la linfocistis (dorada) (Cano *et al.,* 2006).

-Aparición de nuevos virus como los polyomavirus y papillomavirus (López-Bueno *et al.*, 2016)

Infecciones provocadas por ecto y endoparásitos (Bagni, 2005; Colloca & Cerasi, 2005; Rodriguez *et al*., 2005):

-Criptocarionasis provocada por el ciliado *Cryptocaryon irritans* (dorada y lubina).

-Amiloodiniasis producida por el dinoflagelado *Amyloodinium occelatum* (dorada y lubina).

-Escuticociliatosis provocada por el protozoo ciliado *Philasterides dicentrarchi* (lubina y rodaballo).

-Mixosporidiosis provocada por los protozoos mixosporidios (*Shaerospora dicentrarchi*; *S. testicularis*; *Ceratomyxa labraci*) (lubina), *Enteromyxum scophthalmi* (rodaballo) y *Enteromyxum leei* (dorada).

-Microsporidiosis provocada por el protozoo microsporidio (*Glugea* sp.) (lubina) y *Tetramicra brevifilum* (rodaballo).

-Infestación causada por crustáceos ectoparásitos: isópodos (*Ceratothoa oestroides*; *Nerocilla orbiguyi*; *Anilocra physoides)* y copépodos (*Lernathropuskroyeri*, *Caligus* sp.) (lubina).

-Tricodiniasis (*Trichodina* spp.) (rodaballo, lubina y dorada).

-Enfermedad amébica de las agallas (AGD) causada por *Neoparamoeba spp* (rodaballo).

Por el contrario, un aumento de temperatura puede reducir la incidencia de algunas enfermedades como es el caso de la forunculosis por *Aeromonas salmonicida* (Fernández-Alvarez *et al.*, 2016; Toranzo & Barja, 1992) (rodaballo y lubina), ya que por encima de 20º esta bacteria puede perder factores de virulencia (Gudmundsdottir *et al*., 2017), o incluso llegar a desaparecer el problema como es el caso de la Pseudomonadiasis por *Pseudomonas anguilliseptica* (Toranzo *et al.*, 2005) (dorada) o la infección por el virus VHSV (rodaballo) (Pereiro *et al.*, 2016). Así por ejemplo desde hace dos décadas no hay descritos casos de VHSV en rodaballo en Europa. Del mismo modo, temperaturas elevadas pueden hacer un control sobre los patógenos/parásitos al aumentar la mortalidad de los hospedadores (Callaway *et al.*, 2012).

Proliferación de plancton dañino

Otra posible causa del aumento de infecciones y patologías en las especies objetivo es la mayor proliferación de plancton dañino para los peces.

Entre ellas se incluyen las proliferaciones de medusas (plancton gelatinoso), un fenómeno natural y cíclico cuya intensidad y estacionalidad es afectada por varios factores (Gubbins *et al.*, 2013; Kersting, 2016; Purcell *et al.*, 2007;). No obstante, parece que en las últimas décadas (1990) se está incrementando la frecuencia de estas proliferaciones por efectos del cambio climático (Brodeur *et al.*, 1999; Lynam *et al.*, 2011). La importancia de estos *blooms* para las especies de estudio radica en que estos invertebrados pueden dañar a los peces cultivados en jaulas (dorada y lubina) de forma indirecta, provocando hipoxia y asfixia, y de forma directa, con lesiones en la piel y en las branquias que pueden causar la muerte (Baxter *et al.*, 2011; Canepa *et al.*, 2014; Mitchell *et al.*, 2012; Rodger *et al.*, 2011). Baxter et al (2011) registraron estos daños provocados por *Pelagia noctiluca* en las branquias de lubinas cultivadas en el Mar Mediterráneo (costa española) y Doyle *et al*. (2008) los registraron en Irlanda en salmones cultivados asociados a elevadas mortalidades. Además, las medusas pueden actuar como vectores de patógenos (Delannoy *et al.*, 2011; Ferguson *et al.*, 2010) para los peces y afectar a las tres especies objetivo (dorada, lubina y rodaballo). Bosch-Belmar *et al.* (2016) señalan el incremento de temperatura como una de las causas de la mayor abundancia y frecuencia de *blooms* de medusas en el Mediterráneo. En acuicultura, estos efectos podrían agravarse por las propias estructuras de cultivo (jaulas) al ejercer de sustrato para la fijación de hidrozoos (Lucas *et al.*, 2014) y de la fase pólipo de medusas como la especie *Aurelia aurita* (Lo *et al.*, 2008).

Dentro de las proliferaciones de plancton dañino, el aumento de temperatura, junto con otros muchos factores oceanográficos (bajos niveles de oxígeno, cambios de salinidad por lluvias torrenciales, etc.), puede provocar también un incremento de *blooms* de microalgas y cambios en su composición (dinoflagelados y diatomeas) (Gubbings *et al.*, 2013) siendo algunas de ellas tóxicas para los peces (Barange y Perry, 2009; Holmyard, 2014). En Canarias durante el año 2005, se ha registrado la presencia del dinoflagelado *Gambierdiscus toxicus* que afectó a peces herbívoros y causó la enfermedad de la ciguatera (García & Remiro, 2014). En 2016, en Chile también se registraron elevadas mortalidades por *blooms* de la microalga *Pseudochattonella verruculosa.* (Apablaza *et al.,* 2017). En el caso de las especies objetivo, existen registros de

lesiones y mortalidades provocadas por el dinoflagelado y ectoparásito *Amyloodinium ocellatum* en doradas y lubinas de cultivo (Pereira *et al*., 2011).

Patógenos de especies de otras zonas o invasoras

Otra causa de posibles enfermedades e infecciones para las especies objetivo es, la aparición y persistencia de especies propias de otras zonas más cálidas (ej.: el jurel dentón, *Pseudocaranx dentex* o el pez ballesta, *Ballistes* sp) (Fernández-Cordeiro & Bañón, 1997) o especies invasoras (Bañón *et al*, 2002 en García & Remiro, 2014) debido principalmente a un aumento de temperatura del agua. En ambos casos, pueden ser el origen de introducción de nuevos patógenos o variantes de los ya existentes (Callaway *et al.*, 2012). Algunas de las especies invasoras han sido mencionadas al formar parte del *fouling* en las estructuras de acuicultura (Barange & Perry, 2009; Williams *et al.*, 2011).

Nivel crítico de oxígeno

Una menor disponibilidad de oxígeno disuelto asociada a elevadas temperaturas en el agua puede provocar estrés, alteraciones en el metabolismo de los peces (aceleración de la respiración, mayor consumo de energía), efectos en el crecimiento (Peleteiro, 2010), aparición de nuevas patologías y en definitiva una mayor vulnerabilidad ante enfermedades (Callaway *et al.*, 2012). Esta disminución de oxígeno puede agravarse por cambios en otros procesos como una mayor estratificación en las capas superficiales que dificultan la renovación y ventilación del agua circundante y potenciar en definitiva el efecto de algunos patógenos. Además, en el cultivo intensivo de las especies objetivo se produce una mayor liberación de dióxido de carbono y excreción (por elevado metabolismo) que puede aumentar la toxicidad de nutrientes, como los nitritos (Peleteiro, 2010), agravar la eutrofización y perjudicar la salud de los peces.

Eventos extremos (temporales)

Una elevada frecuencia de temporales puede provocar estrés en los peces cultivados en jaulas (lubina y dorada), reducir su sistema inmune frente a enfermedades e incluso provocar en casos extremos su mortalidad. Por el contrario, Overstreet (2007) indicó cierta reducción de las poblaciones de parásitos y del equilibrio estacional de la interacción hospedador- parásito por efecto de eventos extremos como los huracanes.

- MORTALIDAD

Uno de los impactos biológicos potenciales del cambio climático es el incremento de mortalidad como consecuencia de patologías que producen daños severos en los organismos o por la superación de los niveles óptimos de algunas variables ambientales (niveles de temperatura y oxígeno, incidencia de temporales, etc.). Baxter *et al.* (2011) en Pitt & Lucas (2014) indican mortalidades de ejemplares de lubinas cultivadas como consecuencia de lesiones provocadas por *blooms* de medusas.

Niveles críticos T y O_2

Muchas oscilaciones de la temperatura del agua en breves periodos de tiempo y niveles extremos alejados del óptimo de tolerancia fisiológica para la especie pueden provocar, además de estrés y una mayor vulnerabilidad a enfermedades como se comentó anteriormente, la muerte de los peces. Esto podría ser más crítico en el Mediterráneo (donde la temperatura media ya es elevada).

Por otro lado, una disminución del oxígeno disuelto en el agua (asociada a un aumento de temperatura) (Barange & Perry, 2009) puede incrementar el metabolismo del pez y de su demanda de oxígeno (Ficke *et al.*, 2007) y desencadenar en último término la mortalidad de los peces. El oxígeno disuelto es un factor limitante en la acuicultura intensiva. En el presente estudio, las especies más susceptibles serían la dorada y la lubina durante su etapa de engorde en jaulas, especialmente si la temperatura es elevada. Según Peleteiro (2010) podría suponer cambios en las densidades de cultivo de las especies cultivables y afectar a la producción de la especie.

<u>b) Cambios en el patrón de crecimiento</u>

Descripción: Otra de las posibles consecuencias del cambio climático, son las variaciones en el patrón de crecimiento de los organismos.

Por un lado, factores ambientales como niveles críticos de temperatura, así como una baja concentración de oxígeno puede dar lugar a cambios en el crecimiento y metabolismo de organismos marinos, así como el aumento de su mortalidad, siendo los más sensibles los peces (Losada *et al.*, 2014). Además de los niveles críticos, la simple modificación de la temperatura habitual, fuera de los intervalos óptimos de cada especie afecta a su crecimiento y en consecuencia a su rendimiento productivo.

Una mayor frecuencia e intensidad de eventos extremos (temporales) puede hacer disminuir el crecimiento de las especies de estudio cultivadas en jaula, al dejar éstas de comer bajo situaciones de estrés o porque, en el caso concreto de los temporales, no se les pueda alimentar. Baxter *et al.* (2011) en Pitt & Lucas (2014) indican un menor crecimiento de lubinas cultivadas en el Mediterráneo durante o después de los *blooms* de medusas.

Dos de los índices utilizados para valorar el crecimiento de los peces son el SGR (Specific grotwh rate) que proporciona la tasa de crecimiento específico y el FCR (Feed Conversion Rate) que es el factor de conversión del alimento que informa sobre la eficiencia de la alimentación. Un aumento de temperatura puede acelerar la tasa de crecimiento de los peces al reducir los tiempos de cultivo y mejorar el índice de conversión del alimento y prolongar la estación de crecimiento (Barange & Perry, 2009; Holmyard, 2014). Esto afectaría al engorde de dorada y lubina en jaulas en el mar y al engorde de rodaballo en las instalaciones de tierra al considerarse el cultivo en circuito abierto.

c) Cambios en la maduración y reproducción

Descripción: La edad de maduración en peces depende de la especie y de factores ambientales. En general, la inversión en crecimiento es prioritaria hasta la primera madurez sexual. Un aumento de temperatura del agua, puede alterar la reproducción y provocar una maduración temprana. (Arula *et al.,* 2017).

En las especies objetivo esta maduración precoz afectaría a la fase de engorde en los dos sistemas de cultivo considerados (jaulas e instalaciones de tierra). Los peces al alcanzar antes la talla de maduración generarían cambios en el crecimiento (y por tanto en la biomasa final) al invertir menos en engorde.

3.1.2. Indicadores biológicos

a) Mayor vulnerabilidad ante enfermedades y aumento de la mortalidad

-Indicador: Número de brotes de enfermedades

-Indicador: Duración media de los brotes de enfermedades

-Indicador: % mortalidad asociada a enfermedades/total

b) Cambios en el patrón de crecimiento

-Indicador: Tasa de crecimiento específico: SGR (Specific Growth Rate) (%)

-Indicador: Factor de conversión de alimento: FCR (Feed Conversión Rate) ($FCR_{económico}$ y $FCR_{biológico}$)

c) Cambios en la maduración y reproducción

-Indicador: Edad o tamaño de maduración de las especies

3.2. Consecuencias económicas en la acuicultura (Anexo III: Tabla 2)

3.2.1. Impactos económicos

Los cambios en las variables ambientales y los impactos biológicos anteriores asociados al cambio climático tienen consecuencias socio-económicas en la acuicultura. Son impactos operacionales, económicos y sociales afectan a la demanda del mercado, soporte financiero e influyen en el progreso de la industria de la acuicultura (Callaway *et al.*, 2012).

Entre los impactos económicos se incluyen las variaciones en la producción por diferentes causas que generan costes económicos para las empresas (aumento del control y tratamiento de enfermedades, disminución del patrón de crecimiento de las especies, cambios en la maduración, mayor contratación de seguros, etc.).

Otras veces, aunque en menor medida, los cambios de producción suponen un beneficio económico (crecimiento mayor y más rápido de las especies) o una reducción de costes por la desaparición o menor incidencia de algunas enfermedades si las condiciones ambientales (ej: elevada temperatura del agua) inhiben o reducen la acción de algunos patógenos.

Otros impactos económicos suponen un incremento de costes de tipo operacional por reparaciones de daños por temporales y labores de mantenimiento y limpieza. Entre estas labores destaca la mayor eliminación de incrustaciones (*fouling*) favorecidas en parte por las elevadas temperaturas asociadas al cambio climático (Gubbins *et al*., 2013) y que provocan obstrucción de tuberías en instalaciones de tierra y del flujo de agua en jaulas. Además, este *fouling* provoca desgaste, rotura y mayor peso de estructuras flotantes, amarres y redes, y como consecuencia, suponen un incremento de las labores de cambio y rotación de redes (jaulas).

Otro impacto económico significativo en acuicultura son las pérdidas de producción de la empresa por el coste asociado a la pérdida de stock. Esta pérdida de stock puede originarse por mortalidad asociada a patologías, sacrificio de animales o por escapes de peces desde las instalaciones de cultivo (jaulas) al medio natural (Baxter *et al.*, 2011). Los escapes se producen principalmente por la rotura de jaulas y de redes durante eventos extremos como los temporales (Callaway *et al.*, 2012; Handyside *et al*., 2006). Las variaciones en la intensidad, distribución y frecuencia de los temporales pueden afectar a la frecuencia de escapes de especies como la dorada y la lubina cultivadas en viveros flotantes (FOESA, 2013). En Escocia, existen registros masivos de escapes de salmones de cultivo producidos por tormentas (Taylor & Kelly, 2010). Estos escapes de peces, además de suponer importantes pérdidas en acuicultura pueden llegar a desencadenar impactos ecológicos en el medio. Por un lado, pueden contribuir a la transmisión de enfermedades a especies salvajes y a su persistencia en el medio y, por otro lado, pueden reducir la biodiversidad y la diversidad genética de las poblaciones salvajes (González *et al*., 2005; García & Remiro, 2014, Kersting, 2016; Walker *et al.*, 2006).

A continuación, se detallan los impactos económicos que consideramos más representativos en la acuicultura de las especies de estudio:

<u>a) Variaciones de los costes de producción: enfermedades.</u>

Incremento de los costes de producción por el incremento de la prevención y tratamiento de enfermedades (Gubbins *et al.*, 2013; Aguilar *et al.*, 2017).

-Descripción: Nivel de coste económico asociado a un incremento de fármacos, pienso medicado y tratamientos de enfermedades.

<u>b) Pérdidas en la producción: pérdida de stock.</u>

Pérdidas de producción por patologías (Gubbins *et al.*, 2013), escapes (Gubbins *et al.*, 2013; Handyside *et al.*, 2006) o días sin alimento.

-Descripción: Nivel de coste económico (€) producido por la pérdida de stock.

c) Variaciones en la producción: cambios en el patrón de crecimiento

Pérdidas de producción por la disminución del crecimiento calculado en base al índice de crecimiento (SGR) y el factor de conversión (FCR).

-Descripción: Valor económico (€) de la disminución de crecimiento/biomasa.

d) Pérdidas en la producción: densidad de cultivo

-Descripción: Nivel de reducción de la densidad de cultivo asociado a niveles críticos de temperatura y oxígeno (jaulas de lubina y dorada).

e) Pérdidas en producción: reparaciones y labores de mantenimiento y limpieza

Pérdidas de producción por un incremento de las reparaciones y los daños en las infraestructuras (tuberías de captación de agua, jaulas) debido a eventos extremos (Gubbins *et al.*, 2013; Handyside *et al.*, 2006) y por un aumento de las labores de limpieza de instalaciones (Aguilar *et al.* 2017).

-Descripción: Costes económicos por los daños y roturas en las infraestructuras (jaulas, redes, tuberías de captación) y por los gastos operacionales de mantenimiento asociados a temporales (Callaway *et al.*, 2012).

-Descripción: Nivel de coste económico y operacional por las labores de mantenimiento (ej. rotación de redes de las jaulas) y limpieza de incrustaciones (*fouling*).

f) Variación de costes de producción: seguros (MAGRAMA, 2017)

-Descripción: Incremento de los costes de producción por una mayor inversión en seguros por escapes y daños en instalaciones por eventos extremos.

g) Disminución de venta: desabastecimiento/encarecimiento de producto

-Descripción: Costes económicos por no abastecer el mercado con regularidad (ej. indemnizaciones) o por el encarecimiento del producto.

h) Producción (OESA, 2015)

-Descripción: Valor de la producción acuícola total en España por especie de rodaballo, dorada o lubina/año/comunidad autónoma (millones €).

-Descripción: Producción acuícola total (en cantidad) en España por especie de rodaballo, lubina o dorada/año/comunidad autónoma (Tn).

-Descripción: Valor consumos intermedios en pienso, alevines, mano de obra y energía (en instalaciones de tierra) (millones €).

3.2.2 Indicadores económicos

a) Variaciones de la producción: enfermedades (Gubbins *et al.*, 2013).

-Indicador: % coste económico asociado a un incremento de fármacos, pienso medicado y tratamientos/costo operacional total.

b) Pérdidas en la producción: pérdida de stock (Gubbins *et al.*, 2013)

-Indicador: % coste económico por variaciones de stock/costo operacional total.

c) Variaciones en la producción: cambios en el patrón de crecimiento calculado en base al índice de crecimiento (SGR) y el factor de conversión (FCR)

-Indicador: % coste económico por la disminución de crecimiento.

d) Pérdidas en la producción: reducción de la densidad de cultivo

-Indicador: % coste económico por la necesidad de reducir la densidad del cultivo asociado a niveles críticos de temperatura y oxígeno/costo total.

e) Pérdidas en la producción: incremento de las reparaciones y de las labores de limpieza (Gubbins *et al.*, 2013; Aguilar *et al.* 2017)

-Indicador: % coste económico daños en infraestructuras/costo operacional total.

-Indicador: % coste económico por mantenimiento (ej. cambios de redes) y limpieza de *fouling*/costo operacional total.

f) Variación de costes de producción: Seguros (MAGRAMA, 2017)

-Indicador: Valor económico (€) de costes de los seguros por daños en las infraestructuras.

g) Disminución de venta: desabastecimiento/encarecimiento de producto

-Indicador: % coste económico asociado a la no disponibilidad de producto o al encarecimiento de producto/costo operacional total.

h) Producción (OESA, 2015)

-Indicador: Producción acuícola total (en cantidad) en España por especie de rodaballo, dorada o lubina/año/comunidad autónoma (Tn)

-Indicador: Valor producción acuícola total en España por especie de rodaballo, dorada o lubina/año/comunidad autónoma total (€)

-Indicador: Valor consumos intermedios de pienso, alevines, mano de obra y energía (instalaciones en tierra) por especie de rodaballo, dorada o lubina/año/comunidad autónoma (€)

3.3. Consecuencias sociales en la acuicultura (Anexo IV: Tabla 3)

3.3.1 Impactos sociales

En el contexto del cambio climático cobran especial importancia algunos impactos sociales relacionados con la acuicultura. La población estaría expuesta a la variación en el empleo, tanto por la creación o destrucción de puestos de trabajo como por los cambios en la proporción de trabajadores locales y temporales. También es importante la variación del acceso al producto por parte del consumidor en el mercado. Desde el punto de vista de la gobernanza son relevantes aspectos como la eficiencia y efectividad de la gobernanza, la apertura del sector acuícola y la capacidad de monitoreo del sector acuícola.

a) Variación del empleo (OESA, 2015)

-Descripción: Variación del empleo por la necesidad de un mayor volumen de mano de obra (trabajadores temporales, locales, con más especialización) o al contrario por la pérdida de puestos de trabajo.

b) Pérdida de adquisición del producto en el mercado

-Descripción: Pérdida de la capacidad de adquisición del producto por el consumidor en el mercado (incremento de precio de venta, desabastecimiento, etc.).

c) Efectividad de la gobernanza

-Descripción: Calidad de la administración estrechamente vinculada con el nivel de competitividad de sector productivo. Para el desarrollo sostenible de la acuicultura, las estrategias, planes y regulaciones deberían ser consistentes con la conciliación de los resultados ecológicos, económicos y sociales del sector a lo largo del tiempo (FAO, 2013).

d) Apertura del sector acuícola

-Descripción: Apertura del sector acuícola ante la administración y los sectores de una sociedad como factor relevante para su desarrollo sostenible (Mathé *et al*. 2011; Ishamunda *et al*. 2014). Por ejemplo, formar parte de grupos de trabajo tendientes a proporcionar evidencia científica de cara a la gestión de la acuicultura.

e) Capacidad de monitoreo del desarrollo acuícola

-Descripción: Adopción de un sistema armonizado de colecta de información para evaluar el estado actual, contribución socioeconómica y los efectos de la acuicultura por su importancia para evitar impactos no deseados en la estructura productiva del sector y en las comunidades costeras. Este sistema de monitoreo debería ser simple, efectivo y de acuerdo a los estándares internacionales o europeos (FAO, 2013). Por esta razón, el desarrollo de estándares y/o puntos de referencia son claves para asistir a la administración en el monitoreo, evaluación y proyección de la acuicultura hacia el futuro (GFCM, 2011).

3.3.2. Indicadores sociales

a) Variación del empleo (OESA, 2015)

-Indicador: Incremento/Descenso del empleo por una mayor/menor contratación en la empresa.

b) Pérdida de la adquisición del producto en el mercado

-Indicador: Variación del acceso del consumidor al producto (por incremento de precio, desabastecimiento o rotura de stock, etc.).

c) Efectividad de la gobernanza

-Indicador: Efectividad: baja, media, alta

d) Apertura del sector acuícola

-Indicador: Grado de cooperación del sector acuícola: bajo, medio, alto.

e) Capacidad de monitoreo del desarrollo acuícola

-Indicador: Nivel del sistema estandarizado de información: bajo, medio, alto.

4. PRÓXIMOS PASOS

En el presente documento, se presentan los resultados realizados por el equipo de trabajo del proyecto AQUADAPT de la primera actividad del proyecto: *Actividad 1. Identificación y análisis de variables asociadas al cambio climático que afectan a la acuicultura de las especies objetivo*.

Las variables seleccionadas por su mayor impacto en el cultivo de las especies de estudio son la temperatura, el oxígeno, los eventos extremos (temporales) y el oleaje.

Seguidamente, como parte de esta actividad, se han identificado las principales consecuencias de la variación de estas variables en el cultivo de las especies con la descripción de posibles impactos a varios niveles:

-A nivel biológico con el aumento de la vulnerabilidad ante enfermedades e incremento de la mortalidad, cambios en el patrón de crecimiento (en base al SGR y FCR) y cambios en la edad de maduración de los peces;

-A nivel económico con variaciones en los costes de producción por enfermedades, pérdida de stock, variaciones del patrón de crecimiento, reducciones de la densidad de cultivo, incremento de las reparaciones y labores de limpieza, costes de los seguros, desabastecimiento y encarecimiento del producto, etc.

-A nivel social con impactos en la variación del empleo, cambios en la adquisición del producto por parte del consumidor, eficiencia de la gobernanza, apertura y capacidad de monitoreo del sector acuícola, etc.)

Asociados a estos impactos anteriores, se han identificado, los principales indicadores que servirán de base para medir el impacto de las variables seleccionadas, afectadas por el cambio climático, en la acuicultura de las especies de estudio. Estos indicadores son de naturaleza biológica, económica y social.

Esta Actividad 1 se ha llevado a cabo de forma simultánea a la *Actividad 2. Mapeo de grupos de interés*, en la que se identificaron los principales agentes públicos y privados con influencia en el ámbito del cambio climático y la acuicultura.

También de forma paralela a estas actividades anteriores, se ha realizado la *Actividad 3. Celebración del workshop Kick-off y de presentación para la elaboración del diagnóstico*. En ella el grupo de trabajo ha diseñado la metodología para el análisis de vulnerabilidad y el análisis de impacto del cambio climático en el sector acuícola con la selección de dos casos de estudio, uno en Galicia y otro en la Comunidad Valenciana, por su importancia en la producción de las especies objetivo.

A continuación, se llevará a cabo la Actividad A4. *Análisis de casos de estudio*. Para llevar a cabo esta actividad, los indicadores obtenidos en la Actividad 1 serán incluidos en unos cuestionarios, que se entregarán en las empresas del sector para la recogida de información y de los datos necesarios.

Posteriormente, una vez obtenida toda la información, se realizará la Actividad A5. *Elaboración del documento de diagnóstico* p*articipativo,* para analizar los datos obtenidos en relación a las especies, sistemas y áreas geográficas de estudio.

La aprobación del diagnóstico realizado se llevará a cabo en la Actividad 6. *Elaboración de un Plan de Adaptación del sector acuícola al cambio Climático, por especie cultivada y sistema de cultivo, a través de la integración de todas las aportaciones de los grupos de trabajo*. Este plan incluirá una serie de medidas para disminuir la vulnerabilidad del sector y aumentar su resiliencia en el horizonte 2050.

Finalmente, como parte de la Actividad 7 se llevará a cabo la *Elaboración de un Plan de Acción para la puesta en marcha del Plan de Adaptación con la involucración de los grupos de interés público-privado (A.A.PP., sector privado, Universidad y sociedad).* Dicho plan de acción será presentado públicamente para que los resultados del proyecto AQUADAPT sean compartidos con el mayor número de organizaciones y personas posibles.

5. REFERENCIAS

Aguilar, J.; Soto, D. & Brummett, R. 2017. Aquaculture zoning, site selection and area management under the ecosystem approach to aquaculture. A handbook. Report ACS18071. Rome, FAO, and World Bank Group, Washington, DC. 62 pp. Includes a USB card containing the full document. 395 pp.

Alborie, I. 2006. Climatic Variations Related to Fish Diseases and Production. *Veterinary Research Communications*, 30(1): 93–97.

Apablaza, P.; Frisch, K.; Brevik, Ø.; Småge, S.; Vallestad, C.; *Duesund, H.; Mendoza, J. & Nylund. A. 2017.* Primary Isolation and Characterization of *Tenacibaculum maritimum* from Chilean Atlantic Salmon Mortalities Associated with a *Pseudochattonella* spp. Algal Bloom. *J. Aquat. Anim. Health.,* 29 (3): 143-149.

APROMAR, 2016. La acuicultura en España: 88 pp.

APROMAR, 2017. La acuicultura en España: 92 pp.

Arechavala, P.; Sanchez-Jerez, P.; Bayle, J.T.; Sempere, U.I.& Mladineo, I. 2013. Reared fish, farmed escapees and wild fish stocks - a triangle of pathogen transmission of concern to Mediterranean aquaculture management. *Aquacult. Environ. Interact*., 3: 153–161.

Arula, T.; Shpilev, H; Raid, T.; Vetemaa, M. & Albert, A. 2017. Maturation at a young age and small size of European smelt (*Osmerus eperlanus*): A consequence of population overexploitation or climate change? *Helgol Mar Res.,* 71:7: 1-9.

Avendaño, R.; Toranzo, A. & Magariños, B. 2006. Tenacibaculosis infection in marine fish caused by *Tenacibaculum maritimum*: a review. *Dis. Aquat. Org.*, 71: 255–266.

Bagni, M. 2005. Programa de información de especies acuáticas. *Dicentrarchus labrax*. Aquaculture Management and Conservation Service (FIMA) (FAO).

Barange, M. & Perry, R.I. 2009. Physical and ecological impacts of climate change relevant to marine and inland capture fisheries and aquaculture. In Cochrane, K.; De Young, C.; Soto, D. & Bahri, T (eds). Climate change implications for fisheries and aquaculture: overview of current scientific knowledge. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. No. 530. Rome, FAO: 7–106.

Baxter, E.J.; Albinyana, G.; Girons, A.; Isern, M.M., García, A.B.; Lopez, M.; Canepa, A.; Olariaga, A.; Gili, J.M & Fuentes, V. 2011. Jellyfish-inflicted gill damage in marine-farmed fish: an emerging problem for the Mediterranean? In: XIII Congreso Nacional de Acuicultura. Castelldefels, Barcelona

Brodeur, R. D.; Mills, C.E.; Overland, J.E.; Walters G. E. & Schumacher, J.D. 1999. Evidence for a substantial increase in gelatinous zooplankton in the Bering Sea, with possible links to climate change. *Fish. Oceanogr.*, 8: 296–306.

Callaway, R.; Shinn, A.P.; Grenfell, S.E.; Bron, J.E.; Burnell, G.; Cook, E.J., Crumlish, M. 2012. Review of climate change impacts on marine aquaculture in the UK and Ireland. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst*. 22(3): 389-421.

Camus P., F.J. Méndez, R. Medina, A. Tomas & C. Izaguirre (2013). High resolution Downscaled Ocean Waves (DOW) reanalysis in coastal areas. *Coastal Engineering*, 72, 56-68.

Canepa, A.; Fuentes, V.; Sabatés, A.; Piraino, S.; Boero, F. & Gili, J.M. 2014. *Pelagia noctiluca* in the Mediterranean Sea. En: Pitt K.A. & Lucas C.H. (eds) Jellyfish blooms. *Springer International Publishing Netherlands*: 237-266.

Cano I.; Alonso, M.C.; García-Rosado, E.; Rodríguez, S.; Castro, D. & Borrego, J.J. 2006. Detection of lymphocystis disease virus (LCDV) in asymptomatic cultured gilt-head seabream (*Sparus aurata*, L.) using an immunoblot technique. *Vet. Microbiol.,* 113: 137-141.

Chevalier, S.; Choiniere, R. & Bernier, L. 1992. User guide to 40 community health indicators, Community Health Division, Health and Welfare Canada, Ottawa.

Colloca, F. & Cerasi, S. 2005. Programa de información de especies acuáticas. *Sparus aurata*. Aquaculture Management and Conservation Service (FIMA) (FAO).

De Silva, S.S. & Soto, D. 2009. Climate change and aquaculture: potential impacts, adaptation and mitigation. En Cochrane, K.; De Young, C.; Soto, D.; Bahri, T. (eds). Climate change implications for fisheries and aquaculture: overview of current scientific knowledge. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 530. Rome, FAO. 151-212.

Delannoy, C.M.J.; Fleming, N.E.C. & Ferguson, H.W. 2011. Mauve Stingers (*Pelagia noctiluca*) as carriers of the bacterial fish pathogen *Tenacibaculum maritimum. Aquaculture,* 311: 255–257.

Delegrange, A.; Vincent, D.; Courcot, L & Amara, R. 2015. Testing the vulnerability of juvenile sea bass (*Dicentrarchus labrax*) exposed to the harmful algal Bloom (HAB) species *Pseudo-nitzschia delicatissima*. *Aquaculture*, 437: 167–174.

Faílde, L.D.; Losada, A.P.; Bermúdez, R. & Quiroga, M.I. 2013. *Tenacibaculum maritimum* infection: Pathology and immunohistochemistry in experimentally challenged turbot (*Psetta maxima* L.). *Microb. Pathog.,* 65: 82-88.

FAO. 2013. Studies and Reviews No. 93 General Fisheries Commission for the Mediterranean indicators for sustainable aquaculture in the Mediterranena and Black Sea countries. Guide for the use of indicators to monitor sustainable development of aquaculture, FAO.

Ferguson, H.W.; Delannoy, C.M.J.; Hay, S.; Nicolson, J.; Sutherland D. & Crumlish, M. 2010. Jellyfish as vectors of bacterial disease for farmed salmon (*Salmo salar*). *J. Vet. Diagn. Invest.,* 22: 376–382.

Fernández-Álvarez, C.; Gijón, D.; Álvarez, M. & Santos, I. 2016. First isolation of *Aeromonas salmonicida* subspecies salmonicida from diseased sea bass, *Dicentrarchus labrax* (L.), cultured in Spain. *Aquaculture Reports*, 4: 36-41.

Fernández-Cordeiro, A. & Bañón, R. 1997. Primera cita del jurel denton *Pseudocaranx dentex* (Bloch & Schneider en Schneider, 1801) en aguas de Galicia noroeste ibérico). *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.,* 13: 87-90.

Ficke, A.D.; Myrick, C. & Hansen, L.J. 2007. Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries. *Rev. Fish. Biol. Fish.,* 17:581–613.

FOESA, 2012. Valoración de la sostenibilidad de la acuicultura en España. FOESA, Madrid, España. 100 pp.

FOESA, 2013. Cambio climático y acuicultura. FOESA, Madrid, España. 210 pp.

Frost, M.; Baxter, J.M.; Buckley, P.J.; Cox, M.; Dye, S.R. & Harvey, N.W. 2012. Impacts of climate change on fish, fisheries and aquaculture. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst*., 22: 331–336.

García, C. & Remiro, J. 2014. Impactos del Cambio Climático sobre la Acuicultura en España. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, 38 pp.

García, C.; Remiro, J.; Ojeda, J.; Simard, F., & Simoes, S. 2011. Aproximación a la sostenibilidad acuícola del Mediterráneo mediante el uso de indicadores. *AquaTIC*, 35: 1-8.

GFCM. 2011. Site selection and carrying capacity in Mediterranean marine aquaculture: key issues. Rome, Italy, 9-14 May 2011. GFCM:CAQVII/2011/Dma.9(Draft). 180pp.

Golusin, M. & Ivanovic, O.D.M. 2009. Definition, characteristics and state of the indicators of sustainable development in countries of Southeastern Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 130(1-2): 67-74.

González, G.; Brito, A. & Barquín, J. 2005. Impactos provocados por los escapes de peces de las jaulas de cultivos marinos en Canarias. *Vieraea*, 33: 449-454.

Gómez, M. & Carretero, A. 2005. Wave forecasting at the Spanish coasts. Journal of Atmospheric and Ocean Science, 10 (4): 389–405

Goy, J.; Morand, P. & Etienne, M. 1989. Long-term fluctuations of *Pelagia noctiluca* (Cnidaria, Scyphomedusa) in the Western Mediterranean-Sea prediction by climatic variables. *Deep-Sea Research Part A-Oceanographic Research Papers*, 36: 269-279.

Guijarro, J.A.; Cascales, D.; García, A.I.; García, M. & Méndez, J. 2015. Temperature-dependent expression of virulence genes in fish-pathogenic bacteria. Frontiers in microbiology, 6: https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00700

Gubbins, M.; Bricknell, I. & Service, M. 2013. Impacts of climate change on aquaculture. *MCCIP Science Review*: 318-327

Handisyde, N.T.; Ross, L.G.; Badjeck, M-C. & Allison, E.H. 2006. The effects of climate change on world aquaculture: a global perspective. Final Technical Report, DFID Aquaculture and Fish Genetics Research Programme, Stirling Institute of Aquaculture, Stirling, U.K., 151 pp.

Hishamunda, N.; Ridler, N. & Martone, E. 2014. Policy and governance in aquaculture Lessons learned and way forward, FAO Fisheries and Aquaculture Technical Papers Nº 577.

Holling, C.S. 1978. Adaptive environmental assessment and management, Wiley, London.

Holmyard, N. 2014. Climate Change: Implications for Fisheries & Aquaculture: University of Cambridge and Sustainable Fisheries Partnership, UK 15 pp.

ICES, 2005. Guidance on the application of the ecosystem approach to management of human activities in the European marine environment. ICES Co-operative Research Report No. 273, 22 pp.

Instituto de Hidráulica Ambiental. 2013. Manual de uso del visor C3E. Universidad de Cantabria. 29pp.

IPCC, 2013. Resumen para responsables de políticas. En: *Cambio Climático 2013: Bases físicas*. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático" [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

IPCC, 2014: Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Guía resumida del quinto informe de evaluación del IPCC. Grupo de trabajo II. 57 pp.

Karvonen, A.; Rintamäki, P.; Jokela, J. & Valtonen, E.T. 2010. Increasing water temperature and disease risks in aquatic systems: Climate change increases the risk of some, but not all, diseases. *Int. J. Parasitol.,* 40: 1483–1488.

Keeling, R.P.; Körtzinger, A. & Gruber, N. 2010. Ocean deoxygenation in a warming world. *Ann. Rev. Mar. Sci.,* 2: 199-229.

Kersting, D.K. 2016. Cambio climático en el medio marino español: impactos, vulnerabilidad y adaptación. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, 166 pp.

Kibria, G.; Yousuf, A. K. & Nugegoda, D. 2017.Climate change impacts on tropical and temperate fisheries, aquaculture, and seafood security and implications. A review. *Livestock Research for Rural Development* 29 (01).

Kim, W.S.; Kim, S.R.; Park, M.A.; Lee, J.S.; Avunje, S.; Kim, D.H. & Oh, M.J. 2013. Changes in Fish Viral Disease Outbreaks in the Coastal Area of Korea Due to Increasing Water Temperature, an Impact of Climate Change. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.* 46(5): 582-588.

Le Morvan, C. 1998. Differential effects of temperature on specific and nonspecific immune defences in fish. *J. Exp. Biol.,* 201, 2: 165-168.

López-Bueno, A.; Mavian, C.; Labella, A.M.; Castro, D.; Borrego, J.J.; Alcami, A. & Alejo, A. 2016. Concurrence of iridovirus, polyomavirus, and a unique member of a new group of fish papillomaviruses in lymphocystis disease-affected gilthead sea bream. *J. Virol.,* 90: 8768–8779.

Losada, I.; Izaguirre, C. & Diaz, P. 2014. Cambio climático en la costa española. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, 133 pág.

Lucas, C.H.; Gelcich, S. & Uyi, S.I. 2014. Living with Jellyfish: Management and Adaptation Strategies. In: Pitt and C.H. Lucas. 2014. Jellyfish Blooms, DOI 10.1007/978-94-007-7015-7_6, © Springer Science+Business Media Dordrecht.

Lynam, C.P.; Lilley, M.K.S.; Bastian, T.; Doyle, T.K.; Beggs, S.E. & Hays, G.C. 2011. Have jellyfish in the Irish sea benefitted from climate change and overfishing? *Glob. Change Biol*., 17: 767-782.

Magarinos, B.; Couso, N.; Noya, M.; Merino, P.; Toranzo, A.E. & Lamas, J. 2001. Effect of temperature on the development of pasteurelosis in carrier gilthead seabream / *Sparus aurata*. *Aquaculture,* 195: 17–21.

MAGRAMA, 2017. Informe anual de indicadores: Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente 2016. Análisis y Prospectiva. Serie Indicadores. MAGRAMA. 188 pp.

Mathé, S. & Rey-Valette, H. 2011. Towards the implementation of sustainable development of aquaculture in the Mediterranean: the conditions of governance. In GFCM, 2011. Indicators for the sustainable development of finfish Mediterranean aquaculture: highlights from the InDAM Project. Studies and Reviews. General Fisheries Commission for the Mediterranean. No.90.Rome, FAO. 218 pp.

Mills, C.E. 2001. Jellyfish blooms: are populations increasing globally in response to changing ocean conditions? *Hydrobiologia,* 451: 55–68, 2001.

NOAA. 2012. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST.v3b). National Climatic Data Center, Asheville, NC.

OECD, 1994. Environmental indicators: OECD Core Set, Paris.

OECD, 2001a. Citizens as Partners: OECD Handbook on Information, Consultation and Public Participation in Policy-Making.

OECD, 2001b. Towards sustainable development: environmental indicators. Paris, 2001.

OECD. 2008. Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and user Guide. ISBN 978-92-64-04345-9: 158 pp.

OESA, 2015. Indicadores de seguimiento y sostenibilidad en acuicultura 2015. Observatorio español de acuicultura. Fundación Biodiversidad. 42 pp.

Peleteiro, J.B. 2010. Influencia del cambio climático en la acuicultura. *Foro Rec. Mar. Ac. Rías Gal*., 12: 709-718.

Pereira, J.C.; Abrantes, I.; Martins, I.; Barata, J; Frias, P. & Pereira, I. 2011. Ecological and morphological features of Amyloodinium ocellatum occurrences in cultivated gilthead seabream Sparus aurata L.; A case study. *Aquaculture*, 310 (3–4): 289-297.

Pereiro, P.; Figueras, A. & Novoa, B. 2016. Turbot (*Scophthalmus maximus*) vs. VHSV (Viral Hemorrhagic Septicemia Virus): A Review. *Front. Physiol.*, 7 (192): 1-10.

Pitt, K.A. & Lucas, C.H. 2014. Jellyfish blooms. DOI 10.1007/978-94-007-7015-7_1, © Springer Science+Business Media Dordrecht 20142014.

Rodger, H.D.; Henry L. & Mitchell S.O. 2011. Non-infectious gill disorders of marine salmonid fish. *Rev. Fish. Biol. Fisher.*, 21: 423–440.

Rodríguez, J.L. & Fernández, B. 2005. Programa de información de especies acuáticas. *Psetta maxima*. Aquaculture Management and Conservation Service (FIMA) (FAO).

Stachowicz, J.J.; Terwin, J.R.; Whitlatch, R.B. & Osman, R.W. 2002. Linking climate change and biological invasions: Ocean warming facilitates nonindigenous species invasions. *PNAS*, 99(24): 15497-15500.

Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, L.V. Alexander, S.K. Allen, N.L. Bindoff, F.-M. Breon, J.A. Church, U. Cubasch, S. Emori, P. Forster, P. Friedlingstein, N. Gillett, J.M. Gregory, D.L. Hartmann, E. Jansen, B. Kirtman, R. Knutti, K. Krishna Kumar, P. Lemke, J. Marotzke, V. Masson-Delmotte, G.A. Meehl, I.I. Mokhov, S. Piao, V. Ramaswamy, D. Randall, M. Rhein, M. Rojas, C. Sabine, D. Shindell, L.D. Talley, D.G. Vaughan y S.-P. Xie, 2013: Resumen técnico. En: *Cambio climático 2013. Bases físicas.* Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de America.

Taylor, M. & Kelly, R. 2010. Assessment of Protocols and Development of Best Practice Contingency Guidance to Improve Stock Containment at Cage and Land-based Sites Vol.1: Report. Scottish Aquaculture Research Forum.

Toffan, A.; Panzarin. V.; Toson, M.; Cecchettin, K. & Pascoli F. 2016. Water temperature affects pathogenicity of different betanodavirus genotypes in experimentally challenged *Dicentrarchus labrax*. *Dis. Aquat. Org*., 119: 231–238.

Toranzo, A.E. & Barja, J.L. 1992. First report of furunculosis in turbot reared infloating cages in NorthWest of Spain. *Bull. Eur. Assoc. Fish Pathol*., 12(5):147–149.

Toranzo, A.; Magariños, B. & Romalde, J.L. 2005. A review of the main bacterial fish diseases in mariculture systems. *Aquaculture,* 246(1-4): 37-61.

Turley, C.; Keizer, T.; Williamson, P.; Gattuso, J.-P.; Ziveri, P.; Monroe, R.; Boot, K. & Huelsenbeck, M. 2014. Caliente, ácido y sin aire: el océano bajo estrés. *Boletín de la OMM*, 63 (1): 1-5.

Vezzulli, L.; Colwell, R. & Pruzzo, C. 2013. Ocean Warming and Spread of Pathogenic Vibrios in the Aquatic Environment. *Microb. Ecol.,* 65: 817–825.

Vezzulli L.; Pezzati, E.; Brettar, I.; Höfle, M. & Pruzzo, C. 2015. Effects of global warming on Vibrio ecology. *Microbiol. Spectrum* 3(3):VE-0004-2014.

Villasante, S.; Rodríguez, D.; Antelo, M.; Quaas, M. & Österblom, H. 2012. The Global Seafood Market Performance Index: A theoretical proposal and potential empirical applications. *Marine Policy*, 36(1):142-152.

Williams, F.; Eschen, R.; Harris, A.; Djeddour, D.; Pratt, C.; Shaw, R.S.; Varia, S.; Lamontagne-Godwin, J.; Thomas, S.E. & Murphy, S.T. 2010. The economic cost of invasive non-native species on Great Britain. CABI, Wallingford. (www.cabi.org; 27/09/2011).

6. ACRÓNIMOS

AEMET: Agencia estatal de Metereología

A1B: Escenario de cambio climático del IPCC de la familia A1

A2: Escenario de cambio climático del IPCC de la familia A2

AR4: Cuarto Informe de evaluación (Fourth Assessment Report)

AR5: Quinto Informe de evaluación (Fifth Assessment Report)

B1: Escenario de cambio climático del IPCC de la familia B1

CC: Cambio climático

C3E: Cambio Climático en la Costa Española

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Food and Agriculture Organization of the United Nations).

FCR: Feed Conversion Rate

FOESA: Observatorio español de acuicultura

GEI: Gases de efecto invernadero.

IPCC: Panel Intergubernamental de Cambio Climático (Intergovernmental Pannel on Climate Change)

MAGRAMA: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration (EEUU).

OECC: Oficina Española de Cambio Climático.

OECD: Organization for Economic Co-operation and Development

OEPP: Organismo español de puertos del Estado

PNACC: Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático.

RCP: Rutas representativas de concentración (Representative Concentration Pathways)

SGR: Specific Growth Rate

SRES: Escenarios de emisiones (Special Report on Emissions Scenarios)

UTA: Unidades de Trabajo anuales

ANEXO I. VARIABLES AMBIENTALES DESCARTADAS

Circulación: se descarta esta variable en el presente estudio, ya que los cambios que se puedan prever hasta 2050 producidos por el cambio climático no serán los suficientemente significativos para el desarrollo de los sistemas de cultivo aquí estudiados como para ser tenidos en cuenta. En su lugar se selecciona la variable de "oleaje".

Estratificación: se descarta esta variable por varias razones. Por un lado, las especies objetivo son peces que se alimentan principalmente de piensos y su producción, aunque si está influida por factores ambientales, no depende directamente de estos nutrientes como sí les ocurre a los moluscos (FOESA, 2013). En este estudio, además, el ciclo completo de rodaballo en Galicia y el cultivo de la dorada y lubina (salvo el engorde) en el Mediterráneo, se llevan a cabo en tanques en tierra, y en ellos no hay problemas de estratificación. Por otro lado, se explica que, al aumentar la estratificación, hay menos movimientos verticales en la columna de agua, lo que conlleva a una menor renovación y oxigenación de la misma. En este sentido, como su principal consecuencia medible en las empresas es la concentración de oxígeno en el agua, se descarta la variable de estratificación y se toma como referencia la variable "Oxígeno".

Salinidad: Se descarta esta variable, aunque puede verse afectada por las lluvias torrenciales y la mayor escorrentía durante eventos extremos influenciados por el cambio climático, por dos razones: por un lado, las especies objetivo de estudio son eurihalinas y por tanto tolerantes a variaciones en la salinidad y por otro lado los sistemas de cultivo seleccionados son jaulas e instalaciones de tierra (y no esteros) donde el impacto es menor. En cualquier caso, las lluvias torrenciales podrían incluirse en la variable sí seleccionada "eventos extremos".

Nivel del mar: No se considera esta variable por ser un impacto a largo plazo (un metro en 50 años) y porque su efecto sobre las especies de estudio y los sistemas de cultivo (jaulas sumergidas e instalaciones de tierra) es limitado. Los posibles impactos a largo plazo de la subida del nivel del mar serían la salinización de los acuíferos que dificultaría la captación de agua dulce (Peleteiro, 2010), las inundaciones y pérdida de hábitat costero protegido (Barange & Perry, 2009) para instalaciones en tierra y problemas con los anclajes y amarres de las jaulas y reducción de su margen de desplazamiento en superficie. Estos impactos tendrían a su vez consecuencias económicas (costes económicos por cierre y reubicación de granjas, pérdida de empleo local por traslado de instalaciones) y sociales (conflictos para la captación de agua y por la competencia por el espacio).

Sequías (eventos extremos): La sequía y mayor evaporación impactaría igualmente en mayor medida en otros sistemas de cultivo (esteros) y no tanto en las jaulas e instalaciones de tierra. Un impacto a largo plazo podría ser la limitación en la disponibilidad de agua dulce. Los efectos económicos provocados por la sequía se descartan por tanto en este estudio (Ej. Captación de agua).

Afloramiento y Nutrientes: Los cambios en la intensidad, frecuencia y estacionalidad de los afloramientos afecta a los nutrientes, la salinidad y la temperatura. Estas variables se han descartado pues, los peces se

alimentan de pienso y no son tan dependientes de los nutrientes del medio. Por otro lado, el afloramiento afectaría principalmente al Atlántico, donde la especie de estudio cultivada es el rodaballo, mientras que en el Mediterráneo los efectos de los afloramientos son relativos. En cualquier caso, en el presente informe ya se han contemplado estas variables al considerar las proliferaciones de plancton como fuente posible de patologías y de mortalidad.

CO_2 y pH: Estas variables se han descartado porque sus efectos sobre las especies objetivo son escasas. El aumento de dióxido de carbono en el agua de mar y la bajada de pH afecta principalmente a organismos calcificadores (Peleteiro, 2010) como pueden ser los moluscos.

ANEXO II: TABLA 1. IMPACTOS E INDICADORES BIOLÓGICOS

VARIABLES AMBIENTALES	IMPACTOS BIOLÓGICOS	INDICADORES BIOLÓGICOS
Temperatura	<u>Mayor vulnerabilidad ante enfermedades e incremento de la mortalidad</u> Mayor vulnerabilidad ante enfermedades e infecciones provocadas por bacterias, virus y parásitos. Aumento de mortalidad asociada a diferentes patologías.	<u>Mayor vulnerabilidad ante enfermedades e incremento de la mortalidad</u> -Número de brotes de enfermedades -Duración media de los brotes de enfermedades -% Mortalidad asociada a enfermedades/total
Oleaje Eventos extremos (temporales)	<u>Cambios en el patrón de crecimiento</u> Alteraciones y cambios en el crecimiento y en el índice de conversión en los peces	<u>Cambios en el patrón de crecimiento</u> -Tasa de crecimiento específico: SGR (Specific Growth Rate) -Factor de conversión de alimento: FCR (Feed Conversion Rate) (FCR $_{\text{biológico}}$ y FCR $_{\text{económico}}$)
Oxígeno	<u>Cambios en la maduración y reproducción</u> Alteraciones de la maduración que puedan afectar al crecimiento y reproducción (menor talla de reproductores).	<u>Cambios en la maduración y reproducción</u> -Edad o tamaño de maduración de las especies de cultivo

ANEXO III: TABLA 2. IMPACTOS E INDICADORES ECONÓMICOS

VARIABLES AMBIENTALES	IMPACTOS ECONÓMICOS	INDICADORES ECONÓMICOS
Temperatura	<u>Variaciones de la producción: enfermedades</u> -Incremento de los costes de producción por el incremento de la prevención y el tratamiento de enfermedades.	<u>Variaciones de la producción: enfermedades</u> -Nivel de coste económico asociado a un incremento del uso de fármacos, pienso medicado y tratamientos.
Oxígeno	<u>Variaciones en la producción: cambios en el patrón de crecimiento</u> Pérdidas de producción por la disminución del crecimiento (calculado en base a la SGR y FCR).	<u>Variaciones en la producción: cambios en el patrón de crecimiento</u> -% coste económico por disminución de crecimiento/costo operacional total.
Oleaje	<u>Pérdidas de producción: densidad de cultivo</u> Pérdidas de producción por una reducción de la densidad de cultivo (jaulas) por niveles críticos de temperatura y oxígeno.	<u>Pérdidas en la producción: reducción de la densidad de cultivo</u> -% coste económico por la necesidad de reducir la densidad de cultivo por niveles críticos de temperatura o de oxígeno/costo operacional total.
Eventos extremos (temporales)	<u>Pérdidas de producción: pérdida de stock</u> Pérdidas de producción por pérdida de stock (asociada a mortalidades por patologías, días sin alimento, escapes, etc.	<u>Pérdidas en la producción: pérdida de stock</u> -% coste económico por variaciones de stock/costo operacional total.
	<u>Pérdidas de producción: reparaciones y labores de mantenimiento y limpieza</u> Pérdidas de producción por un incremento de reparaciones y daños en infraestructuras debido a eventos extremos y por labores de mantenimiento y limpieza de incrustaciones (*fouling*).	<u>Pérdidas en la producción: incremento de reparaciones y de labores de mantenimiento y limpieza</u> -% coste económico por daños en infraestructuras/costo operacional total. -% coste económico por mantenimiento (Ej. cambio de redes) y limpieza de incrustaciones/costo operacional total.

ANEXO III: CONT. TABLA 2. IMPACTOS E INDICADORES ECONÓMICOS

VARIABLES AMBIENTALES	IMPACTOS ECONÓMICOS	INDICADORES ECONÓMICOS
Temperatura	<u>Variación de costes de producción: Seguros</u> Incremento de los costes de producción por inversión en seguros (escapes y daños en instalaciones por eventos extremos).	<u>Variación de costes de producción: Seguros</u> -% coste económico de costes de los seguros por daños en las infraestructuras/costo operacional total.
Oxígeno	<u>Disminución de venta: desabastecimiento/encarecimiento de producto</u> -Costes económicos por no abastecer el mercado con regularidad (ej. indemnizaciones) o por el encarecimiento del producto.	<u>Disminución de venta: desabastecimiento/encarecimiento de producto</u> -% coste económico asociado a la no disponibilidad de producto en el mercado o al encarecimiento de producto/costo operacional total.
Oleaje Eventos extremos (temporales)	<u>Producción</u>: -Valor total de la producción acuícola en España por especie de rodaballo, dorada o lubina/año/comunidad autónoma (mill €). -Producción acuícola total (en cantidad) en España por especie de rodaballo, lubina o dorada /año /comunidad autónoma (Tn) -Valor consumos intermedios en pienso, alevines, mano de obra y energía (en instalaciones de tierra) por especie de rodaballo, lubina o dorada/año/comunidad autónoma (mill €)	<u>Producción:</u> -Valor producción acuícola total en España por especie de rodaballo, dorada o lubina/año/comunidad autónoma total (€) -Producción acuícola total (cantidad) en España por especie de rodaballo, dorada o lubina/año/comunidad autónoma (Tn) -Valor consumos intermedios de pienso, alevines, mano de obra y energía (instalaciones en tierra) por especie de rodaballo, dorada o lubina/año/comunidad autónoma (€)

ANEXO IV: TABLA 3. IMPACTOS E INDICADORES SOCIALES

VARIABLES AMBIENTALES	IMPACTOS SOCIALES	INDICADORES SOCIALES
Temperatura	Variación del empleo -Variación del empleo por la necesidad de un mayor volumen de mano de obra (trabajadores temporales, locales, con más especialización) o al contrario por la pérdida de puestos de trabajo.	Variación del empleo -Incremento/Descenso del empleo por una mayor/menor contratación en la empresa.
Oxígeno	Pérdida de adquisición del producto en el mercado -Pérdida de la capacidad de adquisición del producto por el consumidor en el mercado (incremento de precio de venta, desabastecimiento, etc.).	Pérdida de adquisición del producto en el mercado -Variación del acceso del consumidor al producto (incremento de precio, desabastecimiento o rotura de stock, etc.)
Oleaje	Efectividad de la gobernanza -Calidad de la administración (estrategias, planes, regulaciones) vinculada con el nivel de competitividad de sector productivo.	Efectividad de la gobernanza -Efectividad: baja, media, alta
Eventos extremos (temporales)	Apertura del sector acuícola -Apertura del sector acuícola ante la Administración y los sectores de la sociedad.	Apertura del sector acuícola -Grado de cooperación del sector acuícola: bajo, medio, alto.
	Capacidad de monitoreo del desarrollo acuícola -Sistema armonizado de colecta de información para evaluar el estado actual, contribución socioeconómica y los efectos de la acuicultura.	Capacidad de monitoreo del desarrollo acuícola -Nivel del sistema estandarizado de información: bajo, medio, alto.