



Externalidades y Regulación de la Industria del Salmón en Chile y el resto del mundo

Hugo Silva
Raimundo Soto

Instituto de Economía
Pontificia Universidad Católica de Chile

Informe preparado para el Consejo del Salmón. Las opiniones y análisis en este documento no comprometen al Consejo del Salmón o a la Pontificia Universidad Católica y son de nuestra exclusiva responsabilidad. Esta versión: 27 de julio de 2022.

Tabla de Contenidos

Resumen Ejecutivo.....	4
1 Introducción.....	19
2 Regulación Internacional.....	24
2.1 Regulaciones y el Aquaculture Stewardship Council	25
2.2 Regulación en los Principales Países Exportadores.....	27
2.3 Producción y Regulación en Noruega	28
2.4 Producción y Regulación en Escocia	42
2.5 Producción y Regulación en Canadá	50
3 Producción y regulación en Chile.....	57
3.1 Sistemas Regulatorios: Densidades y Porcentaje de Reducción de Siembra	61
3.1.1 Densidades Máximas.....	62
3.1.2 Porcentaje de reducción de siembra (PRS)	64
3.2 Análisis de la Regulación en Chile	67
3.2.1 Crecimiento sustentable con el ambiente	67
3.2.2 Flexibilidad y capacidad de carga.....	68
3.2.3 Estrategia país y coordinación con stakeholders.....	69
3.2.4 Capacidad del sistema productivo.....	69
4 Externalidades de la industria del Salmon de cultivo.....	70
4.1 Regulación y externalidades.....	71
4.2 Externalidades en Acuicultura.....	72
4.3 Cambio ambiental	73
4.4 Comparación con otros productores de proteínas.....	75
4.4.1 Gases de Efecto Invernadero	76
4.4.2 Otros contaminantes.....	77
4.5 Contaminación y deterioro del fondo marino	80
4.6 Impacto negativo en otras especies del ecosistema acuático	82
4.7 Uso de antibióticos	84
4.8 Costos de las externalidades.....	85
4.8.1 Metodologías de estimación de costos de externalidades.....	86
4.8.2 Preferencias declaradas.....	86
4.8.3 Preferencias reveladas	87

4.9	Estimaciones de la literatura.....	90
4.10	Análisis	92
5	Discusión y conclusiones	94
6	Bibliografía	103

Resumen Ejecutivo

Este estudio fue encargado por el Consejo del Salmón y su objetivo general es estudiar las externalidades y la regulación acuícola nacional y de los principales competidores de Chile (Noruega, Escocia, y Canadá). El análisis se concentra en las externalidades y regulación asociadas directamente a la actividad acuícola en centros de cultivos. Esto significa que otros temas, sin duda importantes, como por ejemplo el manejo de desechos, el mercado laboral, y una mirada más amplia sobre la cuenca hidrográfica que incluya ciudades y bosques, no son materia de este informe.

En cuanto a la regulación, el estudio se enfoca en revisar críticamente dos aspectos claves de la regulación en Chile (Régimen de Densidades y Programa de Reducción de Siembras) y derivar del análisis lecciones que permitan proponer mejoras a la regulación chilena. Por otro lado, con relación a las externalidades, se enfoca en presentar la evidencia actual del impacto de la producción, y en delimitar el potencial costo ambiental y sanitario de la producción de salmón en Chile a través de una revisión de la literatura académica y estudios. Finalmente, enfatiza las áreas en las cuáles es urgente realizar más investigación y las metodologías posibles para realizarlo.

Introducción

El crecimiento de la salmonicultura en las últimas décadas en Chile ha traído importantes beneficios al Sur de Chile. En 2021, la producción de salmón superó el millón de toneladas y las exportaciones llegaron a los USD 5.189 millones, siendo superada solamente por el cobre. El INE calcula que generó más de 30 mil empleos y el Consejo del Salmón estima que cuando se incluyen los empleos indirectos, la cifra es aproximadamente 70.000.¹

La producción de salmónidos de piscicultura ocurre principalmente en las regiones de Los Lagos y de Aysén, y en menor medida en la región de Magallanes. Para poder funcionar, la Ley General de Pesca y Acuicultura exige contar con una concesión de acuicultura que permite el uso y goce del bien nacional necesario para la actividad. Actualmente hay aproximadamente 1.300 concesiones de salmonicultura que ocupan una superficie de 15.000 has.

No obstante, la salmonicultura se ha visto criticada por la generación de externalidades negativas (principalmente, ambientales) que, cuando no son internalizadas y corregidas por los productores, causan un costo social y reducen la sustentabilidad de la industria. Es importante señalar, sin embargo, que la generación de externalidades no es un problema exclusivo de la salmonicultura, sino que ocurre, en mayor o menor medida, en la mayoría de las industrias que producen bienes físicos.

Este informe se concentra en tres aspectos importantes de la regulación internacional estatal sobre la salmonicultura: (a) la regulación de entrada al mercado, (b) las restricciones de producción,

¹ Las estimaciones del INE, publicadas en el año 2019 en el informe “Enfoque estadístico de la Industria del Salmón en la macrozona sur de Chile” utiliza datos del año 2016. El informe fue accedido en mayo del 2022, en https://regiones.ine.cl/documentos/default-source/region-x/historico/enfoque_industria_salmon.pdf

usualmente expresadas como restricciones de la biomasa en los centros de engorda y la imposición de períodos de descanso obligatorios y lapsos fijos para algunas fases del ciclo productivo, y (c) el costo de acceso a la industria, incluyendo impuestos y otros cobros específicos para acceder a los sitios de producción.

El informe, luego, se enfoca en la situación de Chile. En primer lugar, provee un resumen del marco general regulatorio junto con tendencias generales y recientes en la producción. En segundo lugar, discute en detalle las dos normativas que determinan la intensidad de uso permitida por licencia. En tercer lugar, discute las principales lecciones del análisis comparativo de regulaciones con un énfasis propositivo.

Finalmente, el informe analiza las principales externalidades negativas, presenta la evidencia actual de sus posibles impactos y las compara con otras industrias y productores de alimentos ricos en proteínas. A continuación, revisa las metodologías de estimación de costos de externalidades y examina las estimaciones existentes en la literatura.

Regulación Internacional

Con mayor o menor grado de éxito en los diferentes países, la regulación de la acuicultura busca compatibilizar el desarrollo y crecimiento de la industria con la mitigación de los efectos negativos que se pueden producir como resultado de esta actividad. El extraordinario crecimiento que esta industria ha tenido en Chile, muy fuerte entre 2010 y 2015 y en menor grado desde entonces, lo posicionó como el segundo productor mundial y ha traído importantes beneficios privados para los productores, proveedores y trabajadores, así como sustanciales beneficios sociales (por ejemplo, mayor desarrollo económico y social).

El análisis de la regulación internacional señala los siguientes elementos comunes. Primero, en términos generales se observa que, si bien históricamente la regulación en los diferentes países no tuvo una base ambiental, ésta ha evolucionado de modo tal que los factores ambientales y sanitarios son los predominantes en la actualidad.

Segundo, una característica importante es que la autoridad no pretende resolver de una vez todas las potenciales externalidades negativas de la producción, sino que se concentra en algunas –las más significativas—dejando que otras instituciones se encarguen de otros problemas relacionados.

Tercero, la regulación europea tiene una sólida base científica, se define en función de las condiciones locales de los centros de cultivos y está en continua evaluación por parte de los usuarios y expertos. Existen buenos modelos de la ecología de los sitios donde se ubica la producción, de las corrientes marinas y la capacidad de dilución del mar, o de los impactos de los efluentes líquidos o sólidos de la industria. Esos modelos, que son la base sobre la cual se fijan los límites de biomasa y otras restricciones productivas, son públicos y pueden ser mejorados tanto por la industria como por los expertos en el área, lo que redundará en un mejoramiento paulatino de la regulación y sus efectos.

Llama también la atención la simplicidad de los sistemas de monitoreo sanitario y ambiental, que evitan sistemas engorrosos porque son más fáciles de eludir por parte del regulado.

Cuarto, recientemente los reguladores en Noruega y Escocia han adoptado una visión más prospectiva que correctiva y, como anticipan un fuerte crecimiento de demanda en las próximas dos décadas, están adaptando la regulación para poder capitalizar ese crecimiento, manteniendo la sustentabilidad ambiental y sanitaria de la industria. Ello se traduce, por ejemplo, en que, si bien la regulación sanciona desviaciones de las empresas de las normas ambientales y de las que evitan contagios entre centros de cultivo, también da incentivos fuertes para la inversión y producción a aquellas empresas que sí cumplen los estándares regulatorios. Asimismo, la regulación se va adaptando a los cambios tecnológicos y las condiciones de mercado. De hecho, pese a que Noruega acaba de implementar en 2020 su famoso “sistema de semáforos para la producción”, la autoridad ya anunció una nueva estrategia de desarrollo que moderniza la regulación existente.

Quinto, en Noruega y Escocia se ha empezado a abandonar, de facto, la regulación por máxima biomasa permitida (MAB). Ello, porque la nueva regulación permite que, si se cumplen los estándares ambientales y sanitarios, la producción se incremente. De hecho, en Noruega la producción ha aumentado sistemáticamente porque han incrementado los límites del sistema de MAB y semáforos. En Escocia las nuevas *Depositional Zone Rules* llevará a un abandono de las MAB al relacionar la operación a riesgos ambientales objetivos y no a la existencia de ciertos volúmenes de peces en los centros de cultivo.

Sexto, en Noruega, Escocia y Canadá se ha observado un fuerte proceso de concentración de la industria, con una reducción del número de empresas operando y un aumento importante en el tamaño de los centros de producción. Ello sugiere que las economías de escala son fuertes y que es posible lograr sustanciales aumentos de productividad y eficiencia con la reorganización de la producción entre centros de cultivo y empresas. En Noruega y Escocia la regulación otorga importancia al manejo sanitario local (p.e., manejo de contagios a nivel de centro de cultivo) por sobre los estándares nacionales.

Producción y regulación en Chile

En Chile, la Ley General de Pesca y Acuicultura exige a los productores contar con una concesión de acuicultura (o licencia) que les permite el uso y goce del bien nacional necesario para la actividad. El uso de la licencia está restringido a un área geográfica específica, a especies definidas y a un límite específico de producción o densidad de población. Las licencias son transables, divisibles, transferibles, y susceptibles de todo negocio jurídico.

La mayoría de las concesiones para salmónidos fueron entregadas en la segunda mitad de la década de los 90 y la primera mitad de la década de los 2000. Esta fue la etapa de mayor crecimiento de la industria, pero culminó con la aparición del virus ISA en el año 2007 que se transformó en pandemia y significó un punto de quiebre en la industria en muchas dimensiones, incluyendo la regulación de la actividad.

Como consecuencia de la epidemia, se constituyó un marco regulatorio significativamente diferente al que existía. Con relación a las licencias, se creó la figura de agrupación de concesiones, se limitó el período de concesión (aunque sólo para las concesiones creadas desde 2010 en adelante), y el otorgamiento de concesiones nuevas cesó, al menos hasta 2022. Sin embargo, la producción se recuperó de manera importante, alcanzando 880 mil toneladas en 2015, desde 466.221 toneladas en 2010. Sin embargo, desde 2015 la producción ha estado estancada en las regiones X y XI, aumentando en sólo 1,5% anual promedio hasta 2020. Si bien la producción de la región de Magallanes ha crecido, ello ocurre desde una base baja y todavía representa menos del 17% de la producción chilena.

El margen intensivo de producción está regulado principalmente a través de reglamentos y normativas, que, dependiendo de factores ambientales, sanitarios y de producción, determinan un número máximo de peces a sembrar para cada centro. La regulación vigente contempla dos regímenes para determinar este máximo: densidades de cultivo y porcentaje de reducción de siembra (PRS). Además, cada centro de engorda de salmónidos antes de comenzar su operación debe hacer declaraciones o estudios de impacto ambiental. A partir de estos, se determina una biomasa máxima permitida que queda establecida en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) del respectivo centro.

El análisis y estudios realizados a partir de las declaraciones o estudios de impacto ambiental que deben llevar a cabo los centros de engorda de salmónidos antes de comenzar su operación pueden asimilarse a un análisis de capacidad de carga ambiental del sitio en el que se ubicarán. Estos análisis derivan en la biomasa máxima permitida allí, que queda establecida en la RCA de cada centro de engorda.

Los incentivos que proveen ambos regímenes son distintos. El sistema de densidades apunta mayoritariamente a minimizar las pérdidas (bajo 5%) y no aumentar la producción (o a aumentarla con densidades bajas). Por otro lado, el sistema de PRS apunta a permitir un crecimiento de hasta 9% si las pérdidas no superan el 10% y el uso de antibióticos y productos farmacológicos antiparasitarios para el control de caligidosis es bajo. Además, el régimen de densidades fija criterios basados a nivel de agrupación de concesiones, donde pueden influir las acciones de otros titulares, mientras que el sistema de porcentaje de reducción de siembra regula el total de peces por empresa titular, aun cuando ella opere centros ubicados en agrupaciones distintas.

La existencia de dos sistemas (densidades y PRS) con objetivos y medidas distintas no provee los incentivos correctos. Al ser sistemas sustitutos, solo aplica uno y ninguno tiene una clara conexión con los problemas de externalidades. Por ejemplo, en ambos sistemas, una vez aprobada la actividad en el sitio, importa muy poco la cantidad de material orgánico depositado en el fondo marino para determinar la siembra y densidad de peces por jaula.

Lecciones del análisis comparativo de regulaciones

Crecimiento sustentable con el medioambiente

El mecanismo principal para armonizar el crecimiento de la producción con el control de externalidades ambientales es condicionar el primero con un buen desempeño en el segundo. Por ejemplo, en Noruega, la preocupación principal desde el punto de vista medioambiental es el contagio de parásitos en la población nativa de salmones, aunque ello mide simultáneamente el contagio hacia otros centros de cultivo. Consistente con la preocupación, según el nivel de parásitos (*sea-lice*), se permite aumentar la biomasa máxima permitida en un área, se debe mantener o reducir.

En el caso de Chile, sin embargo, no hay claridad en la definición de crecimiento sustentable objetivo. Primero, existen dos normas diferentes para determinar la siembra máxima permitida y cada compañía es libre de elegir entre ellas. Como se discute anteriormente, las variables consideradas son distintas y, por lo tanto, los regímenes entregan incentivos diferentes. Esto muestra que no hay un objetivo medioambiental o sanitario claro sobre el cuál evaluar la producción. Además, las principales externalidades ambientales negativas de la producción de salmones son la emisión de gases contaminantes y la contaminación del lecho marino. Resulta cuestionable que la regulación otorgue importancia distinta a los posibles impactos ambientales en el caso del régimen PRS versus el de densidades (ver cuadro 4).

Es imprescindible, entonces, contar con una estrategia de desarrollo sustentable, en donde esté definido un objetivo medioambiental principal y un objetivo sanitario principal, y luego condicionar el crecimiento de la producción al desempeño según ese estándar.

Flexibilidad y capacidad de carga

La gran mayoría de los países utiliza la máxima biomasa permitida (MAB, por sus siglas en inglés) como variable para regular la carga en un sitio o área geográfica. Chile, en cambio, determina un máximo número de peces a sembrar al inicio del ciclo, lo que aproximadamente equivale a fijar la biomasa al momento de la cosecha. La principal diferencia entre ambos sistemas es que un sistema con una máxima biomasa permite ingresar y cosechar ejemplares en más de un momento del ciclo productivo.² El sistema que opera en Chile solamente permite un momento de ingreso de ejemplares. Claramente el sistema de MAB permite una mayor flexibilidad, lo que se puede traducir en una mayor eficiencia productiva.

La máxima biomasa permitida en países como Noruega y Escocia varía según las condiciones y ubicación del área, y según las características del sitio productivo. Es decir, la regulación toma en cuenta que distintos sitios tienen distintas capacidades de carga y por lo tanto no necesariamente la norma debe ser la misma. En Chile, la máxima biomasa está determinada principalmente por la densidad y siembra permitida, y no por la Resolución de Calificación Ambiental. Sólo esta última se acerca a medir la capacidad de carga del sitio.

² Esta flexibilidad se puede aprovechar al máximo cuando no se prohíbe el transporte entre centros de peces que están en proceso de engorda.

Estrategia país y coordinación con stakeholders

Una diferencia importante entre los países, que se ve reflejada en la regulación, es la estrategia que adopta el país y la manera en que coordina y coopera con los *stakeholders* relevantes y la ciudadanía. La visión país de la industria en Chile es débil y no existe plan de largo plazo para la acuicultura. Lo opuesto ocurre en Noruega, que a través del gobierno apunta a quintuplicar la producción en el mediano plazo. En cambio, Chile, actualmente el segundo productor mundial, carece de una visión estratégica y no tiene intenciones declaradas de buscar mantenerse como un líder de la industria a futuro. Los productores, por otra parte, no aportan suficientes recursos para potenciar la investigación.

Capacidad de producción agregada

Debido a la variedad en la calendarización de los ciclos productivos y respectivos descansos, existe un uso variable de las licencias otorgadas. Una estimación simple muestra que alrededor de un 20% de las licencias no se han utilizado en los últimos 12 años y que cada año se utilizan menos de un 40%. Este resultado, junto con las opiniones recogidas de diferentes actores de la industria, permite concluir que no existe una estimación de la verdadera capacidad de producción agregada del sistema.³ Esta estimación es fundamental para planificar estratégicamente el desarrollo del sector en el mediano y largo plazo.

Externalidades de la Salmonicultura

Las externalidades negativas generadas por la salmonicultura, basados en la clasificación de Olausen (2018) adaptada al contexto chileno, se organizan en las siguientes categorías:

- Impacto en el cambio climático y ambiental.
- Contaminación y deterioro del fondo marino.
- Impacto negativo en peces y otras especies del ecosistema acuático natural.
- Impacto sobre cultivos acuícolas cercanos.

Al comparar la salmonicultura con la producción de otros alimentos ricos en proteínas de origen animal, los estudios científicos han sistemáticamente encontrado que la salmonicultura es de las industrias alimentarias que menos contribuye al cambio ambiental y climático a nivel global. Por ejemplo, la emisión de gases de efecto invernadero, que es crucial para el cambio climático global, es 8 veces mayor en la producción de 100 g de proteína de carne de vacuno que de peces de piscicultura (Poore & Nemecek, 2018).

³ Sin embargo, se debería poder estimar gruesamente el potencial en base a las concesiones otorgadas y suponiendo una operación al máximo con las restricciones actuales de la regulación

Por otro lado, la emisión de gases de efecto invernadero es algo común en las áreas productivas en Chile. Según el inventario nacional desarrollado por el Ministerio de Medio Ambiente, en el año 2018 la minería emitió 8 millones de toneladas de CO₂ equivalente, la agricultura 11,8 millones y el sector Transporte 28,6 millones.⁴ Dentro de la agricultura, los vacunos, ovinos y porcinos lideran las emisiones con más de 6 millones de toneladas de CO₂ equivalente, mientras que en la producción del resto de las especies se emiten 0,26 millones. En Chile, por lo tanto, la piscicultura de salmónidos contribuye mínimamente al cambio climático.

Un potencial problema de la salmonicultura es el aporte de nutrientes (fósforo y nitrógeno) a los cuerpos de agua y los efectos que esto tendría, especialmente la eutrofización. En Chile, estos efectos se monitorean usando Informes Ambientales (INFA) y se requiere que los sitios presenten buenas condiciones (aeróbicas) para operar. Como exponen Quiñones et al. (2019) en una revisión de la evidencia científica, existen varios estudios en Chile que documentan impactos localizados de eutrofización bajo las jaulas de salmón. Sin embargo, señalan que no existen análisis más amplios que permitan un mejor entendimiento del destino de los nutrientes que emite la salmonicultura y muchos impactos, sobre todo de largo plazo, no están siendo examinados ni monitoreados.

En relación con el impacto en peces y especies del ecosistema acuático, es importante recalcar primero que los salmónidos no son nativos de Chile, a diferencia del hemisferio norte, donde el efecto de escapes en salmónidos nativos es una preocupación principal. Hasta el momento, según Quiñones et al. (2019) no hay evidencia de poblaciones naturalizadas de salmón del Atlántico (*Salmo salar*), la especie más cultivada en Chile, en la parte sur del país.⁵ Más aún, Arismendi et al. (2014) estudian el éxito de poblaciones naturalizadas de salmón del Atlántico en el sur de Chile y encuentran que, a excepción de la trucha común y trucha arcoíris, no han podido prosperar en la naturaleza. Sin embargo, la trucha se introdujo activamente en Chile para la pesca recreativa a principios de 1900 y está ampliamente extendida a lo largo del país (Soto et al., 2006), por lo que es difícil estimar los impactos adicionales de los escapes desde centros de acuicultura (Quiñones et al., 2019).

Un segundo aspecto relacionado los con escapes es el impacto sobre mamíferos marinos, aves y tiburones. La acuicultura de salmónidos genera cambios en la dieta, ubicación y hábitat de mamíferos marinos como el Lobo Marino (*Otaria flavescens*). Además, mamíferos, aves y tiburones están expuestos a ruido, cuyo impacto en el largo plazo requiere más investigación. Por último, escapes de peces pueden generar impactos sobre cultivos acuícolas cercanos a través del contagio de enfermedades.

Finalmente, existe en círculos científicos preocupación por el uso de antibióticos en la salmonicultura y la acumulación de residuos en el ambiente marino que podría favorecer la selección de cepas resistentes a antibióticos. Actualmente los niveles de uso de antibióticos en Chile son comparativamente menores con relación al pasado (por cada kg de salmón cosechado se usan 641

⁴ Inventario nacional de gases de efecto invernadero y otros contaminantes climáticos 1990-2018 Ministerio de Medio Ambiente (Ministerio del Medio Ambiente, 2021)

⁵ Ver Soto et al. (2001, 2006); Schroder & García de Leaniz (2011); Niklitschek et al. (2013).

mg. de antibiótico), pero se mantienen altos con relación a otros productores. Sin embargo, el salmón procesado para consumo humano no contiene antibióticos debido a la regulación que limita y controla el período de administración de antibióticos. La preocupación entonces sería sobre las consecuencias de eventuales nuevas cepas resistentes sobre el ecosistema marino.

Al igual que para el aporte de nutrientes, existen varios estudios en Chile que documentan impactos, presencia de resistencia a los antimicrobianos y residuos de antibióticos en las cercanías de las jaulas. Como concluyen Quiñones et al. (2019), no ha habido estudios más exhaustivos en los ecosistemas (más allá de las granjas) sobre los impactos de los antibióticos.

Es indiscutible, como han señalado varios grupos de investigadores, que es primordial dedicar más recursos a la investigación científica para determinar si existen efectos negativos de largo plazo asociados al uso de antibióticos y la eutrofización. En relación con este último aspecto, es fundamental el aporte de los productores de salmónidos, tanto en recursos y financiamiento, como en mayor transparencia de datos.

Medición de costos sociales de las externalidades y estimaciones de la literatura

Así como resulta muy importante entender el origen de las externalidades negativas de la salmonicultura para poder enfrentarlas adecuadamente, es también fundamental medir cuán costosas éstas pueden llegar a ser. En cualquier actividad en el cual existan externalidades negativas, al momento de determinar regulaciones directas, impuestos, o pago de compensaciones, resulta clave comparar los beneficios derivados del control y abatimiento de éstas con el costo de la intervención. En general, la situación que maximiza el bienestar de la sociedad está asociada a un nivel positivo pero limitado de externalidades. Tanto la sociedad como la regulación toleran los niveles de contaminación cuando el beneficio asociado a la actividad contaminante es mayor que el costo social. Por ejemplo, la contaminación por la combustión de combustibles fósiles ha contribuido y aún contribuye a generar y potenciar el efecto invernadero, la lluvia ácida, o la contaminación del aire, suelo y agua. A pesar de ello, el uso de automóviles con motores a combustión no está prohibido, porque el beneficio asociado a los viajes es muchísimo mayor al costo de las externalidades negativas.

Usualmente es difícil medir el costo de las externalidades porque productos tales como aire limpio, ambiente acuático prístino, etc., no se venden en los mercados, por lo que es necesario estimar su valor para la sociedad mediante otros métodos. Existe un amplio rango de metodologías que pueden ser usadas para evaluar los impactos en bienestar de cambios en condiciones medioambientales. Estas metodologías pueden ser clasificadas, al menos, en dos categorías. La primera categoría es denominada de *preferencias declaradas*, ya que los valores se infieren a partir de respuestas de los individuos a preguntas sobre situaciones hipotéticas. Por ejemplo, ¿cuánto pagaría Ud. por disminuir la contaminación ambiental en un kilogramo de CO₂ equivalente?

El segundo tipo de metodología son aquellas que infieren la valoración de individuos, consumidores, y productores a partir de las decisiones y elecciones observadas asociadas a un bien relacionado. Éstas son usualmente denominadas metodologías de *preferencias reveladas*. Por ejemplo, en el caso

de transporte, se puede inferir el valor del tiempo de viaje a partir de las elecciones observadas de modos y rutas. Normalmente las personas eligen entre modos que tienen distinto precio y tiempo de viaje. En el caso de la acuicultura, no existe una opción similar desde el punto de vista de los consumidores. Sin embargo, como discutimos en detalle en el informe, sí pueden inferirse valores a partir de decisiones de los productores.

También resulta conveniente poner en perspectiva los problemas de externalidades en la acuicultura vis-a-vis los de las otras principales industrias alimentarias (vacuno, pollo, cerdo). La comparación se hace con relación a los indicadores clásicos de efectos externos –en la forma de emisiones de gases de efecto invernadero, acidificación de suelos, eutrofización del ambiente y consumo de antibióticos y productos antiparasitarios—por unidad de alimento comestible.

Aunque el resultado de estas comparaciones sugiere que los efectos contaminantes de la salmonicultura son bastante menores –con la sola excepción del uso de antibióticos en Chile— revisamos también la valorización de estas externalidades. Debido a que las externalidades no son directamente observables, éstas no pueden ser valorizadas sin ayuda de modelos económicos y estadísticos relativamente sofisticados. Ello explica, por un lado, la notable ausencia de mediciones del costo de las externalidades en Chile y el resto del mundo, y, por otro lado, la gran variabilidad de los escasos resultados disponibles. Estos últimos dependen fuertemente, del tipo de metodología usada para su estimación. Al revisar la literatura, sin embargo, llama la atención la difusión de un informe reciente de Just Economics (2021) cuyas cifras, al ser revisadas por nosotros, resultaron ser erróneas y estar gruesamente sobreestimadas, incluso usando la misma metodología propuesta en dicho informe. Esto sugiere la necesidad de asignar recursos para hacer estudios científicamente sólidos del problema y costo de externalidades en Chile.

También resulta fundamental recalcar que existen otras externalidades cuyo costo no puede ser cuantificado con la evidencia actualmente disponible. Es imprescindible avanzar de manera significativa en determinar cuáles y de cuál magnitud son los potenciales efectos adversos del uso masivo de antibióticos como principal herramienta para combatir enfermedades provocadas por bacterias (por ejemplo, piscirickettsiosis).

Conclusiones

Sobre la base de la revisión de los cambios regulatorios en los principales competidores de Chile (Noruega, Escocia y Canadá), identificamos cuatro áreas de mejoramiento de la regulación chilena, que justificamos a continuación.

1. La necesidad de una política nacional de desarrollo de la salmonicultura

La experiencia internacional sugiere que **es imprescindible contar con una estrategia nacional de desarrollo sustentable con una visión estratégica de largo plazo que permita la creación de un “clúster productivo y de innovación de alta complejidad”**. Chile todavía tiene ventajas comparativas que permiten actualmente a la salmonicultura producir beneficios privados y sociales,

empleo, emprendimiento y desarrollo para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes. Para potenciar estos beneficios y lograr mayor desarrollo de la zona sur se recomienda crear una política estratégica nacional. El sistema actual que regula la operación lleva cuatro años funcionando desde su última reforma importante, en septiembre de 2018. Los antecedentes sugieren que la planificación estratégica ha estado ausente.⁶

Existen importantes desafíos que los productores o la autoridad, actuando por separado, no pueden enfrentar de buena manera. Entre ellos, cómo beneficiarse de la importante expansión prevista de la demanda mundial por salmón⁷; cómo responder a la sustancial inversión en capacidad productiva que están haciendo los principales competidores de Chile; cómo ajustarse a los cambios en las cadenas de comercialización derivados de la pandemia del Covid; cuál es la magnitud de la potencial amenaza sobre las ventajas competitivas de las regiones X, XI y XII como resultado de la entrada de los cultivos de salmón en tierra o en alta mar, y cómo minimizar las consecuencias negativas derivadas de un mal desempeño ambiental o sanitario.

La necesidad de formular una estrategia de desarrollo para esta actividad se vuelve más apremiante por dos razones. Primero, los antecedentes permiten anticipar un fuerte crecimiento de la demanda de productos marinos a nivel global, entre las cuales se incluyen el crecimiento y envejecimiento de la población mundial, el aumento de los ingresos y la riqueza, y la creciente preferencia por dietas más saludables. Segundo, el avance tecnológico de los cultivos en tierra o en alta mar puede ser disruptivo, en cuyo caso las ventajas comparativas de las regiones del Sur desaparecerían velozmente.

Escocia y Noruega cuentan con políticas de desarrollo con una visión estratégica de mediano y largo plazo, con instituciones que coordinan y permiten la cooperación de los interesados relevantes y de la ciudadanía. Mientras que en Noruega y en Escocia existen planes formulados para aumentar sustancialmente la producción en el mediano plazo, las regiones X, XI y XII no tienen intenciones declaradas de mantenerse como un líder en esta actividad salmonicultura a futuro y carecen de una visión estratégica.

Un ejemplo de cómo desarrollar un plan estratégico es el que ofrece Noruega. En 2014 su gobierno planteó un plan ambicioso: ampliar la producción desde más de 1 millón de toneladas a más de 5 millones de toneladas para el año 2050. Una expansión de esta envergadura requiere una amplia aceptación social en el país y, debido a que se necesitan nuevos sitios de acuicultura y/o la expansión de la capacidad en los lugares establecidos, también exige la aceptación a nivel de las comunidades locales que albergarían estos sitios. Una expansión significativa podría activar un conflicto latente o intensificar un conflicto existente tanto en general como a nivel comunitario. Con estas consideraciones en mente, el gobierno reunió a 57 partes interesadas (grupos de interés tales como

⁶ El rol estratégico recae en la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

⁷ El último informe “Global Salmon Market & Volume Forecast Report 2021” estima que la demanda crecería desde USD 30 mil millones en 2020 a USD 46.8 mil millones en 2026, lo que implica un crecimiento promedio anual de 7.4%.

sindicatos, ONGs ambientalistas, empresarios, agencias de gobiernos, universidades, etc.) para elaborar un “libro blanco” que permitió mapear las preocupaciones que tienen sobre la acuicultura y trazar una hoja de ruta que hiciera posible el desarrollo de esta cadena productiva bajo un marco de aceptación social. El proceso de análisis y negociación duró hasta 2017.

Escocia, por su parte, acaba de finalizar (14 de marzo de 2022) un proceso de consulta abierto sobre cómo modificar la regulación de la acuicultura de peces con aleta (*finfish*) debido a “los cambios sustanciales en la industria y el mejoramiento en la capacidad de modelar la dilución ocurridos desde la última consulta en 2017”.

2. *Crecimiento sustentable y armonizado con el medioambiente*

El mecanismo principal para armonizar el crecimiento productivo con el control de externalidades ambientales es condicionar el primero a un buen desempeño en el segundo. Por ejemplo, en Noruega, la preocupación principal desde el punto de vista medioambiental es el contagio de parásitos en la población nativa de salmones. Consistente con esa preocupación, según el nivel de parásitos (*sea-lice*), que mide simultáneamente el riesgo de contagio entre centros de salmones cultivados, se aumenta, mantiene o reduce la biomasa máxima permitida en la respectiva área.

En el caso de Chile, sin embargo, la regulación no tiene un objetivo medioambiental primordial, ya que los distintos estándares ambientales están con distinta ponderación en las normativas y, en algunos casos, se permite cumplir en algunos y no en todos. Primero, cada centro de engorda tiene una biomasa máxima permitida establecida en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA). Respetando este máximo, actualmente, existen dos normas diferentes para determinar la siembra máxima permitida por sitio y cada productor es libre de elegir entre ellas. Bajo el sistema de densidades, la siembra permitida se determina de acuerdo con un promedio ponderado de tres componentes: productiva, sanitaria y ambiental. El componente ambiental, sólo tiene relación con la contaminación del fondo marino debajo del centro y pesa apenas un 10% en el indicador de bioseguridad.

Bajo el segundo sistema, llamado PRS, siempre que las pérdidas (peces sembrados que mueren o escapan) sean inferiores a un 14% (Cuadro 9 de este Informe), se puede aumentar o al menos mantener la producción al ciclo siguiente. Cuanto menor sea el uso de antibióticos y fármacos, mayor puede ser la expansión. En cambio, en el sistema de densidades, no importa el uso de estos productos para determinar la siembra.

En resumen, como las variables que determinan la siembra máxima son distintas, estos dos regímenes entregan incentivos diferentes. Más aún, el sistema de densidades opera a nivel de cada agrupación de concesiones (vecinas) mientras que el de PRS a nivel de la empresa titular, aunque las concesiones pertenezcan a agrupaciones de concesiones muy alejadas entre sí. Claramente no hay un objetivo medioambiental sobre el cual evaluar los resultados. Tampoco hay un objetivo sanitario claro. **Urge definir un objetivo medioambiental principal y condicionar el crecimiento de la producción al cumplimiento de ese estándar.**

Otro elemento para considerar es la relación entre la salmonicultura y las áreas marinas protegidas (AMP).⁸ Más allá del reciente debate respecto de la real efectividad de las AMP como mecanismo de protección ambiental, la experiencia europea indica que **resulta imprescindible determinar de manera científica si la salmonicultura influye y en qué medida sobre los objetivos específicos de cada área de protección marina de uso múltiple.**⁹ En particular, porque las AMP tienen distintos objetivos y las diferentes actividades productivas no tienen por qué ser contrarias a dichos objetivos.

Por ejemplo, en Escocia, la mayor parte de las AMP se declararon después que la industria ya estaba instalada. En estas áreas, la autoridad realizó un análisis extenso para establecer si la actividad productiva afectaba los objetivos principales de la AMP (desde uso exclusivo para la ciencia hasta protección de especies, belleza natural, o conservación), llevando en los casos negativos a relocalizar sitios productivos o cambiar los límites geográficos de la AMP. En los casos en que las empresas desean operar en una AMP ya establecida, éstas deben adjuntar una estricta evaluación de impacto previa y un protocolo de operaciones al momento de solicitar los permisos correspondientes.

3. Regulación local basada en ciencia

La evidencia internacional indica que la sustentabilidad de la acuicultura y el control de externalidades requiere que **la regulación sea hecha sobre la base de las condiciones locales de producción y con una sólida base científica respecto de las condiciones oceanográficas y sanitarias en cada locación.** Por el contrario, Chile tiene una única regulación aplicable a todas las zonas productivas del país repartidas en más de 78,000 km de longitud de costa.¹⁰ Las experiencias de Noruega y Escocia indican que es crucial contar con modelos oceanográficos suficientemente desarrollados que permitan definir la biomasa máxima de cada zona productiva en función de su

⁸ De acuerdo con el *Marine Conservation Institute*, en Chile existen 3,7 millones de km² de área marina, de los cuales las AMP cubren un 12%. En Canadá, la superficie total es de 5,7 millones de km² de los cuales el 0,3% son AMP. En Noruega, las AMP cubren el 0% de los 2 millones de km² de área marina. En el Reino Unido las AMP cubren menos del 0,1% de los 0,7 millones de km² de área marina.

⁹ En Chile existen cuatro tipos de AMP, dos de las cuales se refieren a cuerpos de agua: parques y reservas marinos. Los parques marinos son áreas específicas y delimitadas destinadas a preservar unidades ecológicas de interés para la ciencia, y a cautelar áreas que aseguren la mantención y diversidad de especies hidrobiológicas, como también aquellas asociadas a su hábitat. En ellos no puede efectuarse ningún tipo de actividad, salvo aquellas que se autoricen con propósitos de observación, investigación o estudio. Las reservas marinas corresponden a áreas de resguardo de los recursos hidrobiológicos con el objeto de proteger zonas de reproducción, caladeros de pesca y áreas de repoblamiento por manejo. Solo pueden efectuarse actividades extractivas por períodos transitorios, previa resolución fundada de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

¹⁰ De acuerdo con el *World Resources Institute*, Noruega tiene una longitud de costa (a escala 1:250.000) de 53.200 km., Canadá de 265.500 km, Reino Unido de 19.700 km y Chile de 78.500 km. Naturalmente, no toda la longitud de costa de los países es apta o está disponible para la acuicultura.

capacidad de carga (dilución), del tipo de manejo productivo que se haga, de la etapa del ciclo de crecimiento de los peces, de la época del año, etc. Esos modelos oceanográficos locales permiten, además, un mejor monitoreo de las actividades y una mejor preparación para el control de enfermedades.¹¹

Aún más importante, estas regulaciones europeas tienen una sólida base científica, se definen en función de las condiciones locales de los centros de cultivos y están en continua evaluación por parte de los usuarios y expertos. La frase en boga es que “**el regulador está obligado a regular sobre la base de la mejor ciencia disponible**”. Con el tiempo han logrado construir buenos modelos de la ecología de los sitios donde se ubica la producción, de las corrientes marinas y la capacidad de dilución del mar, o de los impactos de los efluentes líquidos o sólidos en cada localidad. Esos modelos, que son la base sobre la cual se fijan los límites de biomasa y otras restricciones productivas, son públicos y pueden ser mejorados tanto por la industria como por los expertos en el área, lo que redundaría en un mejoramiento paulatino de la regulación y sus efectos. Llama también la atención la simplicidad de los sistemas más nuevos de monitoreo sanitario y ambiental. Los sistemas engorrosos son más fáciles de eludir por parte del regulado y más difíciles de fiscalizar.¹²

Un elemento fundamental para mejorar la regulación en nuestro país consiste en identificar y medir las principales externalidades que podría producir la salmonicultura. Sin mediciones –aunque éstas sean hechas sobre la base de metodologías muy simples—no es posible jerarquizar las políticas regulatorias ni medir su desempeño, y se corre el riesgo de implementar estrategias que no logren el objetivo del cuidado ambiental. Igualmente, las estrategias de prevención de riesgos necesitan de mediciones de los alcances de externalidades negativas tales como el contagio de enfermedades entre jaulas, sitios, o barrios o la aparición de algas nocivas, entre otras.

En este sentido, parece imprescindible avanzar de manera significativa en determinar cuáles y de cuál magnitud son los potenciales efectos adversos del uso masivo de antibióticos como principal herramienta para combatir enfermedades provocadas por bacterias (p.e., piscirickettsiosis). En conclusión, existe acuerdo en la literatura que se requieren más estudios que permitan comprender la evolución y epidemiología de los genes de resistencia de la salmonicultura chilena, e investigar si es factible que exista un vínculo entre estos genes de centros de cultivo de salmónidos y patógenos humanos y de otros peces.

¹¹ Por ejemplo, el nuevo sistema de regulación de Noruega dividió su costa en 13 zonas productivas que tienen distintos estándares de biomasa máxima permitida (mayores biomásas permitidas en zonas más frías, donde el crecimiento de los peces es más lento).

¹² Buenos modelos científicos, como los implementados en Noruega y Escocia, permiten eliminar el uso de herramientas subóptimas de regulación, como son las cuotas de densidad y las restricciones geográficas. En esos países se ha empezado a abandonar, de facto, la regulación por máxima biomasa permitida (MAB). Ello, porque la nueva regulación permite que, si se cumplen los estándares ambientales, la producción automáticamente se incrementa. Esto ha sucedido en Noruega la producción ha aumentado sistemáticamente desde la adopción del sistema de MAB y semáforos. Igualmente, en Escocia las nuevas *Depositional Zone Rules* llevará a un abandono de las MAB al relacionar la operación a riesgos ambientales objetivos y no a la existencia de ciertos volúmenes de peces en los centros de cultivo.

4. Eficiencia productiva

Durante las últimas décadas, se ha observado un sostenido aumento en el tamaño de los centros de producción. Ello sugiere que pueden existir ventajas desde el punto de vista del costo de producción asociadas a un mayor tamaño (economías de escala), lo que es un elemento que puede llevar a lograr mayores niveles de productividad. En Noruega y Escocia, la regulación otorga mucha importancia al manejo sanitario local (p.e., manejo de contagios a nivel de centro de cultivo) por sobre los estándares nacionales.

La regulación de la carga en un sitio o área geográfica, según las mejores prácticas internacionales, debe realizarse mediante la determinación de una biomasa máxima permitida que se aplica en todo momento.¹³ Esto, a diferencia de fijar un único momento de siembra con una densidad determinada y sin posibilidad de transporte entre centros en período de engorda, permite una flexibilidad útil para los productores pues pueden tener cohortes de peces de distinta edad coexistiendo en diferentes centros de cultivo de una misma empresa. Las empresas más grandes, por lo tanto, suelen tener mayor flexibilidad que las pequeñas para maximizar la producción por licencia.

La realidad chilena es distinta porque en la normativa existen varios elementos que afectan negativamente la eficiencia productiva. Primero, independiente del régimen (densidades o PRS), se fija el número de peces a sembrar. Esto tiene menor flexibilidad que el sistema de biomasa máxima permitida y, por lo tanto, menor eficiencia productiva, especialmente si no se permite transporte entre centros. En segundo lugar, después de la crisis del virus ISA, se fijaron períodos de descanso sanitario coordinados para las Agrupaciones de Concesiones o barrios. Estos descansos, que duran tres meses, son heterogéneos. En algunos barrios el ciclo productivo permitido puede ser de 15 meses entre descansos, en otros 21 meses, más allá de 24 meses, e incluso lapsos mayores. Como el ciclo de crecimiento de salmónidos es relativamente estable, esta diferencia en duración de ciclos productivos permitidos genera descansos sanitarios extendidos en algunos centros, que se traducen en menor eficiencia. Finalmente, en la mayoría de los barrios conviven distintas empresas, lo que a veces genera fricciones entre ellas, posibles externalidades cruzadas y no permite aprovechar algunas economías de escala y coordinación.

Existe un espacio significativo para aumentar la eficiencia productiva a través de una optimización de la duración de ciclos de producción y descansos, y mayores niveles de flexibilidad para reubicar licencias y redibujar barrios. En particular, se podría aprovechar nuevos lugares que son eficientes con la tecnología actual de producción y al mismo tiempo expirar licencias ubicadas en sectores poco productivos. Es también importante fortalecer un mecanismo de expiración de

¹³ A principios de los años 2000, en Noruega se discutió si la regulación debía concentrarse en “área máxima permitida”, “máximo alimentación permitida”, o “máxima biomasa permitida”. La última fue elegida sobre las bases que el sistema mejoraría el bienestar de los peces y la sostenibilidad biológica, sería relativamente fácil de controlar, aumentaría la flexibilidad e innovación y, no menos importante, sería más robusto en cuanto a las condiciones políticas y de mercado.

licencias sin uso, junto con otro de creación de nuevas licencias, que fomente la competencia reduciendo barreras a la entrada. Esto es especialmente importante considerando que las licencias otorgadas antes de 2010 se otorgaron por períodos indefinidos.

Un elemento importante al momento de proponer cambios y mejoras en la regulación es mitigar el **“problema de captura de la autoridad”**, es decir aquella situación en la cual un cambio en los objetivos de la regulación o una modificación institucional permite que grupos de interés específicos o grupos empresariales se hagan del control de la regulación y lo encaucen para sus propios fines y en detrimento del bienestar de la población o la sustentabilidad de la industria. Análogamente, puede existir el problema del "populismo regulatorio", que consiste en que una persona o grupo se aprovecha de las potestades regulatorias con el fin de construirse una base de apoyo electoral, que le permita seguir controlando el sector en beneficio propio y en desmedro de la comunidad.

Chile es actualmente el segundo productor de salmónes en el mundo con una participación de mercado aproximada de 30%. Uno de los principales desafíos que enfrenta el país en este ámbito es estudiar y definir cómo aumentar la competitividad de la salmonicultura nacional sin perder las ventajas comparativas actuales y en armonía con el medioambiente. De lo contrario, y considerando las estrategias de los otros principales países productores, antes del año 2050 Chile perderá su rol de líder mundial y con ello pueden desaparecer los beneficios socioeconómicos de esta área productiva, y especialmente los ubicados en las regiones de Los Lagos, Aysén, y Magallanes

1 Introducción

La acuicultura ha sido la tecnología de producción de alimentos de más rápido crecimiento en el mundo durante las últimas décadas (Smith et al. 2010; Mowi 2020), y la producción de salmón ha crecido más rápido que la producción de la acuicultura en su conjunto. Desde 1961, el crecimiento del consumo mundial de pescados y mariscos ha duplicado al del crecimiento poblacional y ha sido mayor que el de todas las otras fuentes de proteína animal, siendo la acuicultura la que explica en mayor medida este aumento (Cerde y Meller, 2019). La producción de salmónidos de piscifactoría, que incluye principalmente salmón del Atlántico, coho y trucha, ha aumentado de unos pocos miles de toneladas en 1980 a más de 2,65 millones de toneladas en 2020 (Mowi 2021). El salmón del Atlántico es la especie dominante en la producción de salmón y representó cerca del 75% de la producción mundial en 2020. En 1986, solo 14% de la producción mundial de pescado comestible provenía de la acuicultura; pero treinta años después, este porcentaje sobrepasa el 50% (FAO, 2018).

Las razones para el notable crecimiento en la producción global de salmón son un crecimiento sostenido de la demanda por proteína animal en el mundo e incrementos dramáticos en la productividad de la industria del salmón de piscicultura (Asche 2008, Mowi 2020). Durante muchos años, el principal motor de crecimiento de la acuicultura del salmón fue el aumento de la productividad. Un mayor control sobre el proceso de producción redujo los costos de producción, aumentó la competitividad y redujo los precios para los consumidores (Asche, Roll y Tveterås 2012).¹⁴ Adicionalmente, cambios en las preferencias y mayores ingresos de los consumidores han llevado también a una nueva expansión de la demanda. Los cambios en preferencias han sido, en parte, fomentados por las autoridades sanitarias que han recalcado los potenciales beneficios de la carne de pescado para la salud humana.

Los precios del salmón están altamente correlacionados con el cambio año tras año en la oferta mundial. Históricamente se verifica que, si la oferta aumenta menos del 6 por ciento en un año, los niveles de precios nominales se mantienen constantes o aumentan. En los años en los que el crecimiento de la oferta ha sido superior al 6 por ciento, los precios nominales por lo general cayeron. El precio real del salmón (noruego), por su parte, se redujo en más de un 70 por ciento desde principios de la década de 1980 (cuando comenzó la cría comercial de salmón) hasta principio de los años 2000. En términos reales, el precio del salmón en la década de 2010 se mantuvo por debajo de la mitad de su precio en la década de 1980. A partir de 2010, el precio real del salmón ha aumentado de manera gradual, pero con oscilaciones, impulsado tanto por aumentos en los precios de los insumos como porque la demanda siguió creciendo con fuerza.

Aunque hay pocas dudas de que los avances en la productividad constituyen un factor importante en el tremendo crecimiento de la acuicultura global del salmón, estudios recientes sugieren que los aumentos de productividad se han desacelerado desde 2005 (Asche, Guttormsen y

¹⁴ Varios estudios documentan el crecimiento de la productividad en la acuicultura del salmón (Asche y Roll 2013; Nilsen 2010; Vassdal y Sørensen Holst 2011).

Nielsen, 2013; Vassdal y Holst, 2011). Ello, como se discute más adelante, ha llevado a importantes reformas en la regulación y organización de la industria en Noruega, Escocia y Canadá, que son los principales competidores de Chile.

En nuestro país no hay muchos estudios de la productividad de la industria. Cerda (2019) hace un estudio con datos agregados y concluye que *“Previo a la crisis del Virus ISA, el aumento en las cosechas fue exclusivamente gracias al aumento en la intensidad de siembra, a costa de un menor rendimiento. Entre 2002 y 2007, la siembra anual se duplicó, mientras que su productividad se redujo a un tercio. Posterior a la crisis del Virus ISA, sin embargo, esta tendencia se revirtió. Gracias a esto, el 2017 la cosecha anual fue 43% superior a la obtenida 10 años atrás, a pesar de tener un nivel de siembra 29% inferior”*. Aunque este es un aspecto positivo, Cerda observa también que la productividad no es estable en Chile: *“Es interesante notar que, entre 2002 y 2017, el nivel de siembra noruego ha crecido a una tasa promedio mayor a las de Chile: 5,9% en Noruega, versus 2,2% en Chile; pero este aumento ha sido con una productividad estable en el país nórdico. Si las siembras chilenas hubieran crecido a la misma tasa promedio de Noruega, manteniendo un nivel de productividad estable entre 2002 y 2012, se habrían cosechado más de 700 mil toneladas adicionales de salmón, equivalentes a más de US\$3.500 millones en un período de 10 años”*.

El notable crecimiento de esta actividad ha traído importantes beneficios privados para los productores, proveedores y trabajadores en los distintos países, así como sustanciales beneficios sociales para la sociedad (desarrollo económico y social, acceso a un alimento saludable y rico en nutrientes, etc.). Un resumen de los potenciales beneficios para Chile se puede encontrar en Cerda y Meller (2019) quienes, sin embargo, no proveen una cuantificación de éstos.

No obstante, la acuicultura en general, y la salmonicultura en particular, se han visto criticadas por la generación de externalidades negativas que, cuando no son internalizadas por los productores y/o corregidas por la regulación, causan un costo social y reducen la sustentabilidad de la industria. Las externalidades son costos para terceros y para el ambiente que los productores no incorporan en sus decisiones y que tienen que ser pagados o soportados por la sociedad (deterioro ambiental, contagios a otros salmonicultores, etc.)

El problema de externalidades negativas en la producción está presente en prácticamente toda actividad productora de bienes físicos y es importante y recurrente no sólo en Chile sino a nivel mundial. Por “externalidades negativas” usualmente se entienden aquellos efectos socialmente indeseados en la producción, transporte y/o comercialización de algún producto, cuando esos efectos no son tenidos en cuenta en su totalidad por los productores, transportistas y distribuidores.¹⁵ Un objetivo primordial de la regulación es lograr que los productores internalicen los efectos negativos que causan y los corrijan (o que compensen a los afectados), de modo que dejen de ser un problema. Dichos efectos indeseados no tenidos en cuenta pueden tomar la forma de:

¹⁵ Existen también externalidades positivas. Por ejemplo, el beneficio mutuo que obtienen un productor de miel y un productor de frutas por la polinización que hacen las abejas.

- impactos ambientales en el mismo sitio productivo (típicamente referidos a contaminación del lecho marino y bentos)
- impactos ambientales alejados de los sitios productivos derivados de efluentes sólidos y líquidos (por ejemplo, impactos sobre algas)
- contagio de enfermedades a plantas productivas de otros dueños (a otros centros de cultivo o piscifactorías)
- uso de productos químicos que alteran el ecosistema (antibióticos, desinfectantes, fungicidas)
- escape de peces que puede generar competencia por alimentos y transmisión de enfermedades a otras especies (y en las regiones donde existen salmones silvestres, hibridación o cruce y transmisión de enfermedades a ellos; no es el caso de Chile)
- impactos disruptivos en mamíferos y aves
- impacto negativo en la biodiversidad por uso de peces limpiadores (especies, como el *lumpfish*, que devoran el piojo de mar directamente de la piel del salmón)
- contaminación por aumentos de CO₂ y emisión de gases en general
- efectos adversos en otras industrias por el uso de sitios (turismo, preservación)

Como se puede ver, la lista de potenciales externalidades negativas es larga y sus efectos son bastante heterogéneos. Es importante reiterar que la generación de estas externalidades no es un problema exclusivo de la salmonicultura, sino que ocurre también en la mayoría de las industrias que producen bienes físicos. Conocidas son las externalidades derivadas de la producción minera, industrial o forestal. También hay significativas externalidades negativas generadas por el transporte de bienes físicos y de personas, en la forma de contaminación del aire y congestión.¹⁶

Sin embargo, al comparar las emisiones globales de la producción de salmones con las de otras proteínas animales, resulta ser una de las industrias alimentarias más sustentables. Un metaanálisis de Poore y Nemecek (2018) estima que por cada 100 g de producción de carne de vacuno se emiten 50 kg de CO₂eq., mientras que para una producción equivalente de salmón se emiten sólo 6 kg. Incluso en la producción de 100 g de queso se emite aproximadamente el doble de gases contaminantes que en el caso del salmón de cultivo. Adicionalmente, la acuicultura suele ocupar comparativamente mucho menos territorio que la producción de otras carnes –en particular bovina o porcina—y es sustancialmente más eficiente en términos de conversión de alimento en carne consumible.

No obstante, existe, como es comprensible, una demanda social por la mitigación de las externalidades negativas. En parte, esa demanda ha sido atendida por las salmonicultoras con autorregulación, es decir adoptando voluntariamente prácticas productivas que reducen dichas externalidades negativas. Ellas comunican estas diferencias a sus clientes y consumidores finales por

¹⁶ Otras concepciones de externalidad negativa centran la atención en la relación entre la naturaleza y la acción humana. Por ejemplo, el concepto de que no se debe aprovechar o reorganizar la biosfera con el fin de aumentar el bienestar social humano, guía la acción y comunicación de ciertas organizaciones no gubernamentales (ONG) que cuentan con amplios recursos para influir sobre la opinión masiva y las políticas públicas.

medio de certificaciones, aspirando a una preferencia más intensa. También la comunican a los inversionistas que compran sus títulos financieros, aspirando a acceder a financiamientos más ventajosos (inversión ESG) y a sus trabajadores, aspirando a atraer una fuerza laboral de mayor calidad en condiciones más convenientes.

Por su parte, los Estados han desarrollado una extensa red de regulaciones que buscan identificar, controlar, reducir y/o eventualmente prohibir los efectos indeseados de las actividades productivas, entre ellas los de la producción de salmón. La regulación específica para el sector de salmonicultura coexiste con otras regulaciones de orden general que velan por la mantención de estándares ambientales, sanitarios de los alimentos, o regulan aspectos laborales, de comportamiento competitivo de las empresas, tributarios, etc. Algunos Estados también han establecido regulaciones que imponen estándares de bienestar animal y de biodiversidad.

Este informe está organizado en dos partes. En la primera parte se estudia la experiencia histórica y la evolución de la regulación de los principales países competidores de Chile en el mercado internacional (Noruega, Escocia y Canadá). El análisis se concentra en algunos aspectos específicos de la regulación sobre la salmonicultura que, por su importancia, figuran prominentemente en la normativa de estos países desarrollados. Estos aspectos se relacionan directamente con la segunda parte de este informe, donde se aborda el tema de externalidades, es decir, aquellos efectos externos indeseables que se generan como parte del proceso productivo y que afecta a otros productores, consumidores o al ambiente.

En la primera parte del estudio, se revisan cuatro aspectos cruciales de la regulación: (a) los mecanismos de entrada al mercado (licencias) y su impacto en la producción, productividad y control de externalidades, (b) las restricciones de producción –expresadas usualmente como límites de la biomasa e imposición de períodos de descanso obligatorios—y su potencial impacto en reducir externalidades, (c) los elementos que determinan el costo de acceso a la industria, incluyendo impuestos y otros cobros específicos para acceder a los sitios de producción, y (d) las estructuras institucionales que permiten un desarrollo armónico de la actividad con sustentabilidad ambiental y sanitaria, y cómo esta institucionalidad enfrenta los retos que el desarrollo productivo presenta.

La primera parte del estudio finaliza con un análisis de estos mismos aspectos de la industria para el caso de Chile. En particular, el análisis se enfoca en los incentivos que las diversas regulaciones dan a los productores para controlar problemas de externalidades –que es el objetivo explícito de la regulación. De la comparación entre las regulaciones chilenas y de los países desarrollados derivamos una serie de lecciones y recomendaciones para el mejoramiento de la regulación de la acuicultura nacional.

En la segunda parte del estudio nos enfocamos en detalle en los problemas ambientales de la salmonicultura. Identificamos, primeramente, cuáles podrían ser los principales problemas ambientales derivados de la producción del salmón de cultivo. En términos de la regulación del sector, nos concentramos en aquellas regulaciones que están bajo la tutela de las autoridades de

pesca y acuicultura. Ignoramos, por lo tanto, las externalidades negativas de transporte o agrícolas, las que están bajo la tutela de otros organismos del Estado.

Más allá de las cifras absolutas de emisión de contaminantes, resulta conveniente poner en perspectiva los problemas de externalidades en la acuicultura vis-a-vis los de las otras principales industrias alimentarias (vacuno, pollo, cerdo). La comparación se hace con relación a los indicadores clásicos de efectos externos –en la forma de emisiones de gases de efecto invernadero, acidificación de suelos, eutrofización del ambiente y consumo de antibióticos y productos antiparasitarios—por unidad de alimento comestible. El resultado de estas comparaciones sugiere que los efectos contaminantes de la salmonicultura son bastante menores –con la sola excepción del excesivo uso de antibióticos en Chile.

También revisamos la valorización de estas externalidades. Debido a que las externalidades no son directamente observables, éstas no pueden ser valorizadas sin ayuda de modelos económicos y estadísticos relativamente sofisticados. Ello explica, por un lado, la notable ausencia de mediciones del costo de las externalidades en Chile y el resto del mundo, y, por otro lado, la gran variabilidad de los escasos resultados disponibles. Estos últimos dependen, fuertemente, del tipo de metodología usada para su estimación. Al revisar la literatura, sin embargo, llama la atención la difusión de un informe reciente de Just Economics (2021) cuyas cifras, al ser revisadas por nosotros, resultaron ser erróneas y estar gruesamente sobreestimadas, incluso usando la misma metodología propuesta en dicho informe. Esto sugiere la necesidad de asignar recursos para hacer estudios científicamente sólidos del problema y costo de externalidades en Chile.

2 Regulación Internacional

Toda regulación opera utilizando una canasta de permisos, mandatos, premios y castigos, organizados de modo tal de alterar los incentivos que tienen las empresas privadas con el objetivo que éstas tomen decisiones en la dirección deseada por el regulador. Una buena regulación en la acuicultura debiera propender a ser eficaz –es decir, que logre que los incentivos privados estén alineados con los del regulador—pero también a ser eficiente –es decir, que los objetivos se consigan al menor costo posible y/o con la mayor ganancia de bienestar para la sociedad. Al mismo tiempo, una buena regulación no puede buscar cualquier objetivo. Los objetivos aceptables son aquellos que balancean adecuadamente la mitigación de los problemas derivados de la actividad de los centros de acuicultura (ambientales o sanitarios) con los beneficios sociales y económicos que se obtienen de un nivel de actividad sustentable de la industria.

Existen, al menos, dos problemas complejos para la regulación, que abordamos más adelante. En primer término, es posible que los objetivos del regulador sean múltiples y no necesariamente congruentes entre sí. Ello ocurre típicamente cuando hay varias entidades involucradas en la regulación de una industria y dichas autoridades tienen distintos objetivos (por ejemplo, el desarrollo de la industria vs. la conservación ambiental) y/o cuando no existe consistencia entre los objetivos explícitos de la regulación y aquellos implícitos del regulador. Estos son problemas que inducen ineficiencia, aumentan los costos de producción y reducen la sustentabilidad de la industria. A diferencia de Chile, estos costos han estado creciendo en los países líderes de la industria salmonera y han llevado a las autoridades a iniciar importantes reformas de modo de simplificar la regulación, hacer más expeditos los procesos burocráticos y unificar la dirección estratégica del sector bajo un único ente regulador.

En segundo lugar, la eficiencia y la calidad de una regulación se determina por la comparación entre los beneficios sociales que ella logra y los costos sociales y privados que ella impone. Alternativamente, la eficiencia de una regulación podría determinarse comparando su beneficio social (neto de costos sociales) con el beneficio social de otras regulaciones alternativas que sean factibles. Una regulación eficiente, entonces, requiere que existan metodologías de medición tanto de los costos de controlar las externalidades como de los beneficios que con ello se obtienen. Esas mediciones deben tener base científica, es decir cumplir las exigencias de precisión y objetividad propias de la metodología de las ciencias.

Dichas metodologías son usualmente complejas porque la medición de externalidades frecuentemente exige trabajar con aspectos de difícil cuantificación o donde los mecanismos de causa y efecto son difíciles de identificar por la presencia de múltiples variables intervinientes. En el caso de la acuicultura –en particular, en Chile—se le añade al problema la falta de información sistemática y pública respecto de variables del ambiente marino (como la capacidad de dilución de las zonas donde se realiza la producción), la existencia de eventos negativos no previsibles (como la aparición de un virus o florecimientos de algas nocivas), y la ausencia de información detallada por sitio o concesión que permitan evaluar la necesidad de imponer regulaciones o su efectividad.

2.1 Regulaciones y el *Aquaculture Stewardship Council*

Antes de presentar en detalle la regulación de los países de referencia y de Chile, es conveniente revisar la evaluación que ha hecho el *Aquaculture Stewardship Council* (ASC) de los estándares ambientales para la industria del salmón en Noruega, Chile, Escocia y Canadá (British Columbia). El (ASC) es una organización independiente sin fines de lucro con influencia global, que tiene como objetivo ser el programa de certificación y etiquetado líder en el mundo para productos del mar cultivados de forma sostenible.¹⁷ La función principal de la ASC es evaluar los actuales sistemas de producción e impulsar estándares globales para la acuicultura responsable. Según Luthman, Jonell, y Troell (2019) un 16% de la producción de Chile estaba certificada por el ASC, cifra que se compara con los niveles en Noruega (17%) pero es inferior a la de Canadá (27%) y superior a la de Escocia, donde no había productores certificados al momento de esa publicación. No obstante, la producción certificada en Chile ha aumentado significativamente en los últimos 3 años y el dato más reciente indica que aproximadamente 737.000 toneladas están certificadas lo que corresponde a un 70% de la producción.

La evaluación del ASC se hace sobre la base de una serie de indicadores para distintos objetivos, que se pueden agrupar en cuatro categorías, como muestra el Cuadro 1. En la primera categoría están las regulaciones que se refieren a la interacción con la vida silvestre, para lo cual se evalúa los escapes de peces desde los centros de cultivo, el uso de sistemas acústicos de control de predadores y la eliminación de predadores por métodos violentos. Chile, al igual que los otros países productores, no impone sanciones por violar límites a los escapes, no prohíbe el uso de sistemas acústicos de control, aunque sólo permite la eliminación de predadores con autorización y bajo estrictas medidas ambientales. En el Cuadro 2 se observa que no existen diferencias en la calificación de estos cuatro países.

Una segunda área de evaluación se refiere a las condiciones de salud de los peces, en particular al uso de antibióticos, antiparasitarios, vacunas y tratamientos. Como se ve en el Cuadro 1, no existen diferencias en términos normativos entre los cuatro países respecto al uso de antibióticos, ni en la obligación de contar con autorización veterinaria para hacer tratamientos, o en términos de limitaciones al número de tratamientos que se realizan. En la práctica, sin embargo, el uso de antibióticos en Chile es sustancialmente más alto que en los países del hemisferio norte (aunque se

¹⁷ La ASC es una organización independiente, internacional, sin fines de lucro que administra un programa de certificación y etiquetado para la acuicultura responsable. Esta organización nació en 2010 y fue cofundada por la agencia holandesa Sustainable Trade Initiative (IDH) y la ONG WWF. Es una de las agencias de certificación más exigentes y reconocidas a nivel mundial, cuyo objetivo principal es evaluar los actuales sistemas de producción e impulsar estándares globales para la acuicultura responsable, certificando que operan con los más altos estándares para garantizar la preservación del medio ambiente, la biodiversidad y los recursos hídricos, y para proporcionar buenas condiciones de trabajo a sus empleados.

ha estado reduciendo paulatinamente¹⁸). Igualmente, en Chile no existe la obligación de vacunar, posiblemente porque el tipo de enfermedades (p.e., ISA) no tiene vacunas efectivas disponibles. Como describe el Cuadro 2, Chile se encuentra en un rango intermedio –producto principalmente del uso de antibióticos—por detrás de Noruega, pero superando a Escocia.

Cuadro 1 - Áreas de evaluación de estándares ambientales del ASC

Área de Impacto	Efecto Potencial	Regulación en Chile, Canadá, Noruega y Escocia
Interacción con vida silvestre	Escapes Uso de sistemas acústicos de control Eliminación de predadores	Sin límites Permitidos Solo con autorización
Salud de los peces	Uso de antibióticos <ul style="list-style-type: none"> • Restricción de tipo • Regulaciones para hacer tratamientos • Límites al número de tratamientos por ciclo • Vacunación Pandemias Uso de antiparasitarios	Sin restricción de tipo de antibióticos. Tratamientos con receta veterinaria. Sin límites al número de tratamientos. Vacunación obligatoria (excepto Chile). Sin límite al uso de antiparasitarios.
Alimentación	Uso de productos del mar certificados Uso de productos terrestres certificados	Sin requerimientos en ambas categorías.
Control de desechos	Bentos Sedimentos (tests) Frecuencia de Tests Cobre usado para limpieza	Chile tiene requerimientos por región, en otros países es por sitio Tests no son sistemáticos (tiempo o ciclo en otros países).

Fuente: elaboración propia sobre la base de Luthman et al. (2019)

Cuadro 2 - Calificaciones ambientales del ASC

Área de Impacto	Chile	Noruega	Canadá	Escocia
Interacción con la vida silvestre	0,3	0,3	0,3	0,3
Salud de los peces	0,7	0,5	0,9	0,7

¹⁸ Durante los últimos cinco años el uso de antibióticos en acuicultura ha disminuido en 44%, según el Informe sobre “Uso de Antimicrobianos en la Salmonicultura Nacional del 2020”, publicado por SERNAPESCA en marzo del 2021.

Alimentación	1,0	1,0	1,0	1,0
Control de desechos	0,8	0,6	0,6	0,6

*Nota: Un menor valor indica que el país está más cerca de cumplir un estricto estándar ambiental
Fuente: elaboración propia sobre la base de Luthman et al. (2019).*

Una tercera área de evaluación se refiere a externalidades derivadas del origen de los alimentos que consumen los salmones y la necesidad de certificación de los insumos terrestres y marinos usados para fabricar alimentos. Como se ve en el Cuadro 1, ninguno de los cuatro países exige las certificaciones que el ASC considera pertinentes y, por ello, en el Cuadro 2 todos están clasificados en el peor escenario posible. Se debe recordar que en la escala del ASC un menor valor indica que el país está más cerca de cumplir el respectivo estándar ambiental.

La última área de evaluación se refiere al control de los desechos, los que incluyen tanto aquellos directamente bajo el sitio de producción (bentos) como más alejados de éste (sedimentos). Al respecto, importa la frecuencia de los tests y el tipo de tratamiento de limpieza que se haga. En esta categoría Chile califica peor que los otros países. En parte esto se debe a que Chile, aunque tiene requerimientos de testeo bajo el sitio, estos no son sistemáticos o no busca cumplir estándares ambientales específicos al sitio de producción. En efecto, el estándar ambiental en Chile es el mismo a nivel nacional independientemente de las características ecológicas del lugar donde se desarrolla la actividad –sea si se opera con el sistema de densidad o de PRS—. Igualmente, el sistema de testeo es evaluado como débil por no tener una frecuencia temporal definida ni estar ligado al ciclo productivo.

En resumen, las prácticas productivas en Chile no difieren de manera sustancial de las aplicadas por los principales productores a nivel mundial, según las normas del ASC, excepto en el caso del uso de antibióticos y por la falta de testeos sistemáticos de ciertos contaminantes. Más adelante ahondamos en ambos temas.

2.2 Regulación en los Principales Países Exportadores

Antes de revisar en detalle la regulación de la salmonicultura en los países desarrollados conviene resumir las principales características que ellas tienen en común, las que responden a un diseño razonablemente bien pensado para lograr un balance entre crecimiento sustentable de la industria y protección ambiental.

La regulación de un sector productivo está en permanente cambio, porque ésta responde tanto al contexto histórico en el que lleva a cabo sus actividades como a la evolución de los estándares internacionales de calidad de la producción. Éstos últimos no sólo se producen por voluntad de la autoridad sino, crecientemente, por la presión de los consumidores que se han vuelto más exigentes respecto de las condiciones humanas, ambientales y sociales en las cuales se desarrolla la producción. En el caso de la salmonicultura y en términos generales se observa que, si bien históricamente la

regulación en los diferentes países no tuvo una base ambiental, ésta ha evolucionado de modo tal que los factores ambientales son los predominantes –pero no exclusivos—en la actualidad.

Una segunda característica general de la regulación es que la autoridad acuícola no pretende resolver de una vez todas las potenciales externalidades negativas de la producción, sino que se concentra en algunas –las más significativas—dejando que otras instituciones se encarguen de otros problemas relacionados. Por ejemplo, el desarrollo local de comunidades vinculadas al salmón fue, históricamente, una consideración crucial al momento de regular la industria del salmón en Europa (como se discute en la sección C más adelante). Esta dimensión está ahora fuera de la competencia de la regulación de la acuicultura, siendo las autoridades sociales las encargadas del tema.

Una tercera característica común a la regulación europea es que ésta tiene una sólida base científica y que está en continua evaluación por parte de los expertos. En general, tanto en Noruega como en Escocia existen buenos modelos de la ecología de los sitios donde se ubica la producción, de las corrientes marinas y la capacidad de dilución del mar, o de los impactos de los efluentes líquidos o sólidos de la industria. Esos modelos, que son la base sobre la cual se fijan los límites de biomasa y otras restricciones productivas, son públicos y pueden ser mejorados tanto por la industria como por los expertos en el área, lo que redundará en un mejoramiento paulatino de la regulación y sus efectos.

Una cuarta característica es la participación conjunta entre reguladores, regulados, grupos de interés (ambientalistas, expertos y universidades) y comunidades locales en el mejoramiento de la regulación. Los involucrados tienen, de esta manera, un canal formal de participación y para ser escuchados, lo que por un lado le da legitimidad al proceso y, por otro, permite una mejor entendimiento y aplicación de los cambios regulatorios.

2.3 Producción y Regulación en Noruega

Evolución histórica

La evolución de la regulación en Noruega ha sido zigzagueante en los últimos 50 años y no tuvo, sino hasta hace muy poco tiempo, una base primordialmente ambiental sino un objetivo de controlar la entrada de productores, la producción y los retornos de la actividad de salmonicultura (Hersoug et al, 2019; Hersoug et al., 2021a). En parte como respuesta a un caótico inicio de la industria en los años 1960 que llevó a la quiebra de muchas empresas, el gobierno establece en 1971 la comisión *Lysø* para investigar cómo desarrollar y regular la nueva industria. Esta comisión recomienda establecer un sistema de registro de las granjas de salmón y trucha e introducir un régimen de licencias. La idea era crear una industria a pequeña escala, manteniendo el capital industrial a gran escala fuera de la industria. La principal razón de limitar la producción era para no repetir las sustanciales pérdidas en que habían incurrido bancos y productores en la década de 1960, debido a la sobreproducción de truchas. Según dicha comisión había tres opciones: (a) regular la producción individual a través de un tope (medido en toneladas), (b) regular el área de mar disponible para la granja individual (medida en m²), o (c) regular la capacidad de producción individual (medido en m³). Se recomendó un tope en la producción, afirmando que 50 toneladas de

salmón o 100 toneladas de trucha arcoíris “serían suficientes para ganarse la vida decentemente para los futuros acuicultores”. Sin embargo, el gobierno decidió utilizar una medida indirecta de capacidad de producción: el volumen neto de la jaula.

En 1973 se impuso un sistema de licencias y limitó el tamaño de las jaulas a 8,000 m³. En 1975, la autoridad redujo el tamaño máximo de las jaulas a 5,000 m³ por razones de crecimiento de la producción, pero no por razones de externalidades negativas. En 1981 se impusieron restricciones a la propiedad, mediante las cuales sólo podía haber un dueño de cada sitio productivo y un dueño no podía tener más de un sitio de cultivo (una doctrina llamada “*one farm, one person*”). También en ese año, el gobierno dejó de entregar licencias. Ninguna de estas restricciones tiene que ver con razones ambientales o de externalidades, sino que nacen del miedo de la autoridad a una gran quiebra de empresas y el deseo de atomizar la producción para reducir el riesgo.

El sostenido crecimiento de la demanda y la incapacidad de contar con suficientes ovas y alevines llevó al gobierno a eliminar en 1985 las licencias en estos dos casos y permitir que la industria de insumos se ordenara por razones de mercado. Más aún, en 1988 el gobierno permitió el aumento del tamaño de las jaulas hasta los 12.000m³, nuevamente para hacer frente al sostenido crecimiento de la demanda.

La idea de regular la producción total a través de la capacidad de producción pronto demostró ser imperfecta. Primero, había una tremenda presión para aceptar nuevos operadores debido a la rentabilidad de la industria. Segundo, la forma oficial de medir el volumen era bastante imperfecta. De acuerdo con la Dirección de Pesca (DoF), el registro de la granja consideraba un volumen medido usando el 85% del área de las jaulas por 6 m de profundidad. En realidad, muchos productores ya operaban con redes más profundas (30–50 m) y tenían volúmenes de producción mucho más altos que el cálculo oficial. En consecuencia, la producción total aumentó de 600 toneladas en 1970 a 8.000 toneladas en 1980.¹⁹ Tercero, los costos de transacción de licencias eran muy elevados y no podían comercializarse, porque estaban estrechamente relacionadas con el propietario/operador. Sólo si un acuicultor quebraba, la licencia volvía al Estado, que a su vez podría reasignarlo a un nuevo acuicultor. Un salmonicultor necesitaba un permiso especial del gobierno para vender la licencia a un tercero.

A fines de 1988, el Ministerio de Pesca concluyó que la limitación de volumen era bastante disfuncional con respecto a problemas relacionados con la salud de los peces y los impactos ambientales. Una nueva comisión, que trabajó durante dos años, recomendó cambiar el sistema a uno de tonelaje fijo para una licencia estándar y propuso que ese valor se fijara en 350 toneladas. El Ministerio decidió ignorar la recomendación y mantener el límite de volumen de 12.000 m³. Sin embargo, agregó una regulación adicional, que consistió en limitar la biomasa a no más de 25 kg por m³. Ello significaba de facto que la biomasa máxima permitida en cualquier momento sería

¹⁹ Este es un buen ejemplo de lo que los economistas llaman distorsiones incentivadas por las regulaciones, es decir, de cómo los productores evitan la intención original de las regulaciones y ajustan sus prácticas de producción cuando es rentable hacerlo.

equivalente a 300 toneladas. Además, se introdujo una regulación de la densidad por razones de bienestar animal y con el fin de reducir el riesgo de enfermedades.

En el año 1990 se produjo un evento de fuerte sobreproducción que llevó a la quiebra de 181 empresas noruegas (aproximadamente un tercio del total). El enorme crecimiento de la producción se debió, en parte a la liberalización de la producción de smolts, pero principalmente a la introducción de vacunas eficaces contra las enfermedades más comunes de los peces (Kumar and Engle, 2016). La organización de productores noruegos (un cartel de vendedores llamado *Fiskeoppdretternes Salgslag*, NFSSO) decidió intentar subir los precios congelando parte de la producción (40% aproximadamente) en un esfuerzo por cambiar el rumbo. La operación fracasó y el cartel de vendedores quebró, al igual que aproximadamente el 60% de los productores.²⁰

Esto, a su vez, condujo a una reestructuración de la industria, liberalizando aún más las restricciones a la propiedad. Durante el período 1992-2002, la producción total aumentó de 147 800 toneladas a 546 000 toneladas, sin que se asignaran nuevas licencias o hubiese cambios en las restricciones de volumen: el aumento fue el resultado de un tremendo aumento en la productividad. En 1992, cada empleado era responsable de 80 toneladas de producción, mientras que en 2002 la cifra aumentó a 340 toneladas por empleado. En 1992, el costo de producción era de 36 NOK por kg, mientras que en 2002 se había reducido a 17 NOK (valores ajustados por inflación).

Sin embargo, la liberalización no duró mucho. En una primera etapa los productores vertieron el exceso de producción en los mercados europeos y norteamericanos, con el resultado que tanto EE. UU. como la Unión Europea acusaron a Noruega de “*dumping*”.²¹ El gobierno noruego continuó enfrentando este litigio de comercio internacional hasta fines de los años 1990. En 1991, sin embargo, el gobierno abandonó la política de “*one farm, one person*” con el fin de permitir una reestructuración de la industria que aprovechara las economías de escala, las posibilidades de tener una mejor gestión y un mercadeo más efectivo. Otra manifestación de este proceso fue el inicio un proceso de consolidación de los productores. La tendencia a la consolidación se manifestó en una caída en el número de firmas y en un aumento del número promedio de licencias por firma. La autoridad no modificó el número de licencias disponibles.

Las acusaciones de dumping en la Unión Europea, impulsadas principalmente por los salmonicultores escoceses, no se resolvieron sino hasta 1997 cuando ésta impuso un acuerdo de comercio internacional por cinco años mediante el cual se aplicaron precios mínimos, se acordó un

²⁰ La NFSSO previó pedir prestados US\$ 200 millones a bancos privados para financiar el plan de congelación, lo que sería servido con un impuesto de USD 0.75/kg sobre todas las exportaciones de salmón fresco en 1990.

²¹ El “precio predatorio” es una práctica anticompetitiva en la que un productor (o un grupo de ellos) busca la quiebra, cierre o la compra a bajo precio de las empresas rivales, mediante una rebaja artificial de los precios del producto en el corto plazo, de modo tal de capturar una participación de mercado mucho mayor e imponer un precio monopólico para el producto en el mediano y largo plazo. En cambio, el “dumping” es una situación de comercio internacional definida por la OMC, donde destaca un aumento brusco de las importaciones que daña la producción o el empleo nacional del mismo producto, a precios inferiores a los que cobra el exportador en su propio país y que da derecho a imponer aranceles transitorios (“salvaguardias”) al país importador.

aumento de la tarifa de exportación y un techo a las exportaciones noruegas, además de un sistema de seguimiento del cumplimiento del acuerdo.²² Como resultado de estas medidas de comercio internacional, el gobierno noruego impuso internamente cuotas para los alimentos para salmón y regulaciones de densidad de biomasa.²³

Paulatinamente, las autoridades noruegas se dieron cuenta de que, para controlar el crecimiento de la producción, la capacidad de producción era una medida bastante imprecisa, incluso cuando se le combina con regulaciones de densidad. En 1996 se introdujeron cuotas anuales de compras de alimentos con el fin de para controlar más directamente el crecimiento de la producción. Hacia 2002, una licencia estándar (12.000 m³) tenía una cuota de alimentación de 840 toneladas de alimentación seca, cuota que había sido incrementada entre un 5% y un 10% por año desde la introducción. Estas cuotas fueron bastante efectivas, ya que el alimento para peces no es fácil de sustituir, aunque implicó un aumento de costos y la calidad del pescado se deterioró. El sistema de manejo y regulación se complicó ya que la producción quedaba delimitada por consideraciones de volumen, regulaciones de densidad, restricción de biomasa (65 kg por m³) y, a nivel de localidad, por restricciones respecto en términos del área de uso de la licencia. Además, regular la alimentación se consideró poco ético desde el punto de vista del bienestar de los peces.

En 2002, un nuevo comité de expertos sugirió implementar un sistema basado en la Biomasa Máxima Permitida (MAB). El comité discutió tres alternativas: Área Máxima Permitida, Alimentación Máxima Permitida (medida por el contenido de energía en el alimento) y MAB. La recomendación unánime fue basar el sistema en MAB. Los principales argumentos a favor del MAB fueron que el sistema mejoraría el bienestar de los peces y la sostenibilidad biológica, sería relativamente fácil de controlar, aumentaría la flexibilidad y, no menos importante, sería más robusto en cuanto a las condiciones políticas y de mercado. Los economistas indicaron además que las regulaciones de producción crean distorsiones menores que las causadas por las regulaciones de insumos. La desventaja era que el MAB aumentaría las diferencias en el potencial de producción entre sitios debido a las diferentes condiciones naturales. Además, el MAB sería menos flexible en una situación en la que la producción tenga que reducirse debido a condiciones del mercado.

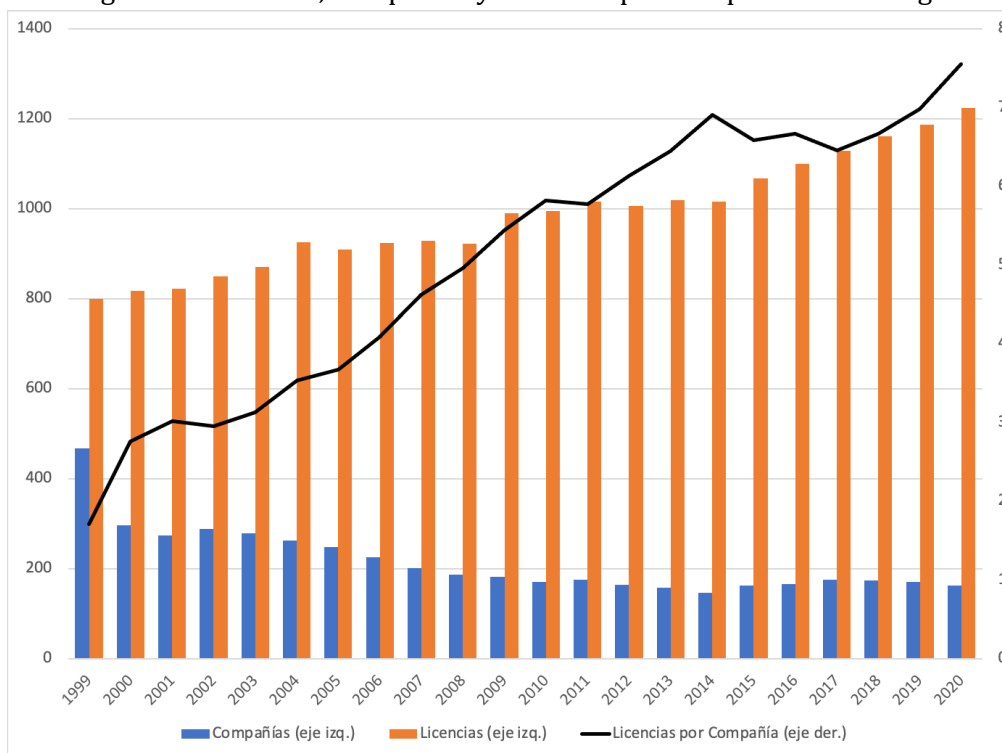
En el marco del acuerdo con la UE, el gobierno noruego introdujo también en 2002 licencias pagadas ("*license fees*") para que éstas actuasen como costo de entrada a la industria. Inicialmente, las licencias de producción se entregaron a las empresas existentes de forma gratuita. Sin embargo, en 2002, el gobierno introdujo una tarifa de NOK 5 millones por licencia, es decir USD 670 mil de la época (NOK 4 millones para los municipios de Troms y Finnmark). Luego, la tarifa se aumentó a NOK 8 millones en 2009 (NOK 3 millones en Troms) y, posteriormente, NOK 10 millones en 2013. Como

²² El acuerdo entre Noruega y la Comisión Europea impuso un aumento del impuesto a la exportación del salmón noruego que ingresa a los mercados de la UE desde 0,75% a 3,00% a partir del 1 de julio de 1997. Además, se incrementó la tarifa a 6% si se viola los límites de precio piso o techo durante los cinco años de vida del acuerdo. Durante la vigencia del acuerdo no se violaron los límites de precio o cantidad (Kinnucan y Øystein, 2005).

²³ En abril de 1994 la Organización Mundial del Comercio desestimó las acusaciones de EE. UU. de dumping y la petición de imponer sobretasas arancelarias.

los sitios de cultivo adecuados estaban limitados y la demanda por licencias continuó creciendo, el gobierno decidió posteriormente utilizar un sistema de subastas como mecanismo principal para asignar las licencias (Hersoug et al., 2019). La evolución de las licencias, así como el número de empresas se presenta en la Figura 1.

Figura 1 - Licencias, Compañías y Licencias por Compañía en Noruega



Fuente: Fiskeridirektoratet, Norway

En 2005, la propuesta se implementó con el abandono de las cuotas de alimentación, pero se mantuvo el requisito de densidad. Las diferencias locales entre los potenciales sitios de producción llevaron a imponer una licencia estándar de 780 toneladas MAB en todo el país con la excepción de las dos zonas más septentrionales (Troms y Finnmark con 945 tons.) debido a sus menores temperaturas del agua hacen más lenta la engorda. Indirectamente, la restricción del MAB sobre biomasa indicaría la producción total máxima, mientras que el MAB a nivel de localidad indicaría la capacidad de carga de cada sitio.

Si bien hubo cierto desacuerdo dentro de la organización de la industria con respecto al uso de MAB, la mayoría de los acuicultores se dieron cuenta del potencial de aumento de la producción que implicaba el MAB de 780 toneladas en relación con las restricciones anteriores. De la noche a la mañana, el potencial de producción aumentó en casi un 30%, porque la limitación del MAB permitía una producción significativamente superior a las anteriores cuotas de alimentación (Hersoug, 2021).

No fue sino hasta 2011 que la regulación empezó a tomar un carácter más ambientalista que de comercio internacional. Esto ocurre cuando se decide complementar la regulación de límites de

biomasa con reglas sobre la presencia de parásitos en los salmones (*sea-lice*) y restricciones para el número de peces escapados (Hersoug et al, 2019). Finalmente, en 2017 se aprobó el “sistema de semáforos” para la producción de salmones que se describe a continuación, el que no fue implementado sino hasta 2020.

Antes de eso, en el verano de 2013, el gobierno noruego abrió 45 nuevas licencias de cultivo de salmón sujetas a estrictos criterios ambientales sobre piojos de mar, riesgo de escape y otros factores ambientales, que fueron denominadas "Licencias Verdes". La medida fue una de las primeras oportunidades importantes para nuevas licencias en años y generó entusiasmo en el sector. Se debían solicitar las licencias en un proceso de selección presidido por un panel de expertos. Las licencias se repartieron en tres grupos diferentes. Se vendieron veinte licencias del Grupo A en los dos condados más al norte de Noruega, Troms y Finnmark, a un precio de NOK 10 millones (€ 1,1 millones / \$ 1,2 millones) por licencia. Las 15 licencias del Grupo B y las 10 licencias del Grupo C se adjudicaron en una subasta cerrada a NOK 10 millones (€ 1,1 millones / \$ 1,2 millones) por licencia, menos de 1/5 del precio de mercado. Los criterios y las identidades de las empresas adjudicatarias de las licencias fueron tema de gran debate e irritación en el sector.

En resumen, como se puede ver la regulación comienza con objetivos “de protección del empleo y sociales” (evitar quiebras, lograr una atomización productiva, impulsar el desarrollo local, incentivar el empleo, etc.) pero se mueve progresivamente hacia una regulación de comercio internacional primero, y ambiental después, en gran medida por los fracasos de las regulaciones previas y porque la fuerte presión de demanda imponía un alto costo alternativo a las regulaciones ineficientes. Complementariamente, puede decirse que la regulación pasó de ser inicialmente del tipo “burócratas decidiendo ex-ante las condiciones productivas” (entrada, tamaños de jaulas, producción, y licencias) a una regulación moderna basada en “prevención y fiscalización ex post de efectos de la producción” y con fines principalmente ambientales.

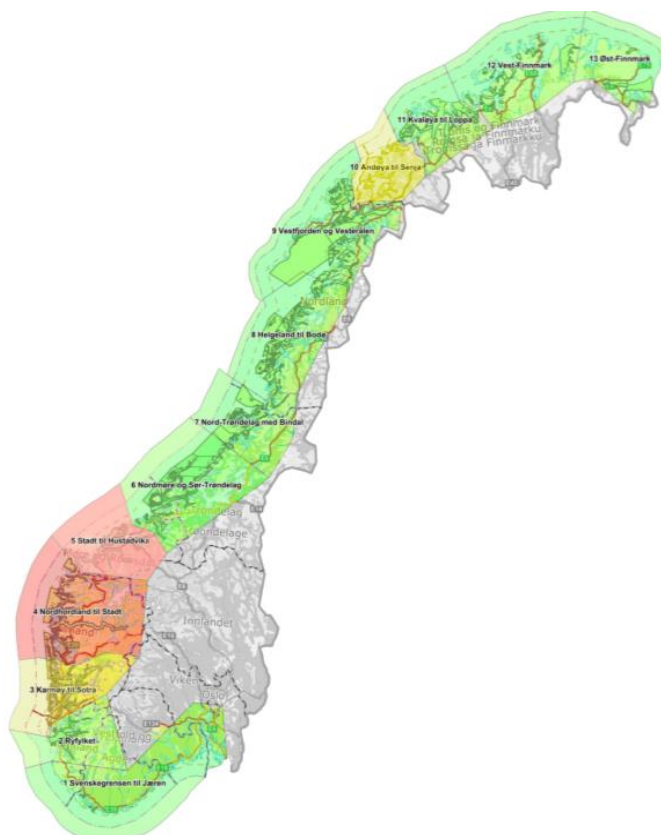
La introducción de MAB fue apoyada por la ciencia (por el instituto de Investigación Marina), por la administración del gobierno (Dirección de Pesca) y por la organización de acuicultores (*Seafood Norway*). En los años siguientes, se fortaleció y perfeccionó el sistema, introduciendo ajustes menores. Sin embargo, resultó difícil controlar la producción total, ya que el control físico debía basarse en los informes de los propios acuicultores, no se disponía de un dispositivo automático y objetivo para medir el peso de peces en cada jaula y, como resultado, pocos piscicultores fueron condenados por tener una biomasa demasiado grande (Bjelland et al., 2012).

Regulación Actual (desde 2020)

En la actualidad, las empresas de piscicultura en Noruega están sujetas a la Ley de Acuicultura (de 2005), a la Ley de Seguridad Alimentaria (de 2003) y a las disposiciones detalladas establecidas en sus respectivos reglamentos. Las licencias de agua de mar son otorgadas por el Ministerio de Comercio, Industria y Pesca de Noruega y son administradas por la Dirección de Pesca. Las licencias se pueden vender e hipotecar y tienen seguridad jurídica. Su tenencia está registrada en el Registro de Acuicultura, similar a un Conservador de Bienes Raíces.

La costa noruega está dividida en 13 áreas geográficas de producción. Una licencia de cultivo de salmón permite el cultivo de salmón en agua dulce o en el mar. El número de licencias en agua de mar para el salmón del Atlántico y la trucha se limitó a 1.087 en 2020. Estas limitaciones no se aplican a las licencias de agua dulce (producción de smolts), que se conceden apenas son solicitadas. Las licencias de agua de mar se pueden usar en hasta cuatro sitios de cultivo, no necesariamente contiguos (en algunos casos se permiten hasta 6). Esto aumenta la capacidad y la eficiencia operativa de las empresas. Aunque desde 1982 se han otorgado nuevas licencias solo en ciertos años, el número de licencias ha aumentado sostenidamente desde 1994 (como se ve en la Figura 1). No obstante, el crecimiento de la biomasa en cada sitio está hoy regulado sobre la base del sistema de semáforos que describimos a continuación.

Figura 2 - Zonas Productivas de Noruega



Fuente: Fiskeridirektoratet, Norway

La producción en Noruega está limitada mediante el mecanismo de fijar el volumen máximo definido de biomasa de peces (MAB) que una empresa puede mantener en el mar en todo momento. En la mayoría de los condados, una licencia establece un MAB de 780 o 945 toneladas, según la productividad promedio del condado. Ambos elementos son distintivos del sistema: el límite de la licencia es para la biomasa total en cualquier momento (no para la siembra como sucede en Chile) y no es único, sino que depende de la ubicación geográfica del centro de cultivo (a diferencia de lo que

sucede en Chile donde no existen consideraciones sobre las condiciones locales para el límite de siembra u otros límites).

En Noruega, la capacidad del sitio se calculó utilizando el antiguo volumen neto de la jaula multiplicado por una restricción de 65 kg de pescado por m³ ($12.000 \text{ m}^3 \times 65 \text{ kg/m}^3 = 780$ toneladas de MAB). Sin embargo, esta conversión no implicó ninguna evaluación de la capacidad de carga del sitio (Hersoug, 2021). Esto fue institucionalizado con la introducción de un estándar noruego específico en 2000, el que especificó cómo se deben investigar las condiciones del fondo, aunque no existe una fórmula que pueda usarse para calcular la capacidad de carga de una localidad específica sobre la base de esas investigaciones. Según las autoridades noruegas, la sustentabilidad de un sitio de piscicultura dependerá, entre otras cosas, del estado natural del cuerpo de agua, carga orgánica, condiciones químicas en el sedimento, uso de agentes químicos, composición, condiciones actuales, ciclos de intercambio de agua y finalmente biomasa acuícola y producción en la piscifactoría. Esto significa que la capacidad de carga de un sitio específico es el resultado de una serie de factores, que se pueden expresar con números, mientras que la ponderación de las diversas condiciones en el caso noruego se basa en gran medida en la discreción de las autoridades ambientales.

El límite de biomasa por licencia y no por sitio permite, además, cierta flexibilidad para los productores pues pueden tener cohortes de peces de distinta edad coexistiendo en diferentes centros de cultivo de una misma empresa. Las empresas más grandes, por lo tanto, suelen tener mayor flexibilidad que las pequeñas para maximizar la producción por licencia, lo que significa que la cosecha promedio para la industria en su conjunto es normalmente menor que la cifra promedio para las empresas más grandes. La utilización de MAB normalmente alcanza su nivel más alto en octubre-noviembre, porque en el verano la tasa de crecimiento es más alta que la tasa de cosecha. El uso de MAB está en su punto más bajo en abril y mayo debido al bajo crecimiento de los peces durante los fríos meses del invierno nórdico. La utilización promedio del MAB fue del 86% en 2020, frente al 84% en 2019.

La suma del MAB permitido por todas las licencias en cada región es la biomasa total permitida de la empresa acuícola en esa región. Además, cada sitio de producción tiene su propio MAB y la cantidad total de biomasa en cada sitio debe ser menor que este límite establecido. Generalmente, los sitios tienen un MAB de entre 2.340 y 4.680 toneladas. La limitación de MAB varía de un sitio a otro y está determinada por la capacidad de carga de cada sitio. La MAB permitida para uso comercial en todo el país a fines de 2020 fue de 973.530 toneladas de salmón y trucha del Atlántico.

El segundo elemento distintivo de Noruega es que el nivel de parásitos observado en un ciclo productivo en un sitio determina el crecimiento potencial del MAB en el ciclo siguiente. Como es evidente, el MAB no es una herramienta de control de externalidades sino de regulación de producción. El control del nivel de parásitos, sin embargo, sí apunta directamente al problema de externalidades negativas de los sitios de cultivo sobre la población de salmones silvestres, aunque al mismo tiempo apunta a las externalidades sobre sitios de cultivo de salmón operados por otras empresas. En particular, se usa el nivel de piojos de mar (*sea-lice*) para decidir si el MAB puede

aumentar (+6%), permanecer igual o disminuir (-6%) en estas áreas. Cada dos años, el gobierno actualiza las condiciones para el crecimiento de las licencias nuevas y existentes.

El sistema de “semáforo” opera entonces de la siguiente manera:

- Se dividió el país en 13 zonas sobre la base de modelos ambientales hidrodinámicos.
- Se determinó la capacidad de carga (producción) de una zona en función de su estatus ambiental medido usando indicadores objetivos. En principio, no hubo consideraciones de producción histórica al momento de decidir la capacidad de carga. Las autoridades locales retienen ciertos derechos de fijar la MAB local en sus territorios.
- La autoridad decide cada dos años ajustes en el límite de producción sobre la base de indicadores ambientales. Sólo se mide el impacto del piojo de mar sobre los salmones silvestres (“*sea-lice impact on wild salmonids*”).
 - El gobierno cuantifica el nivel de riesgo al exigir a las empresas que cuenten el número de piojos por salmón que se encuentran en su piscifactoría.
- El resultado de la medición arroja tres posibles resultados:
 - Luz verde: si el riesgo de mortalidad producto del piojo de mar es menor al 10% se permite un aumento de la producción de hasta un 6%.
 - Luz amarilla: si el riesgo se ubica entre 10% y 30%, se limita a 0% de crecimiento.
 - Luz roja: si el riesgo mayor que 30%, se reduce la producción al menos en 6%.
- El riesgo de mortalidad es evaluado usando un gran número de modelos matemáticos y de simulación de riesgos ambientales, en particular:
 - Los modelos de un evento de difusión de infección de piojo de mar son específicos y responden a las características de cada región y zona donde se ubican los sitios de cultivo.
 - Los modelos también incluyen el contagio potencial de piojos de mar entre pares de sitios de cultivo vecinos. Existe, al respecto, una restricción de distancia entre centros de cultivo de 2,5 km. Según algunos autores, esta sería la principal restricción de crecimiento de la industria (Hersoug et al, 2021b).
- Si bien el gobierno toma la determinación final sobre un aumento o disminución de la producción en cada área, esta decisión se toma con base en las recomendaciones de un comité directivo que incluye a miembros del Instituto de Investigación Marina (NINA por sus siglas

en inglés)²⁴, del Instituto Veterinario de Noruega y de expertos en piojos del salmón y salmón salvaje (Stien et al., 2020).

- La decisión tomada por el gobierno puede contradecir las recomendaciones del comité directivo, como sucedió en el área 3 (Karmøy a Sotra) que no tuvo que reducir la producción en 2019, a pesar de que el área reportó altos niveles de mortalidad de salmón salvaje.

En 2020, el gobierno calificó nueve de las trece áreas como "verdes", dos áreas como "amarillas" y dos áreas se definieron como "rojas".²⁵

Licencias verdes y de desarrollo

En 2012, el gobierno noruego probó un nuevo tipo de licencias de producción llamadas licencias "verdes" y "súper verdes". Para ese año se había planificado una expansión del 5% del MAB en todo el país. Sin embargo, debido a las fuertes críticas sobre la incapacidad de la industria para controlar los piojos de mar, dicha expansión se canceló (Hersoug et al., 2019). Como las empresas estaban ansiosas por expandir la producción ya que el precio de mercado del salmón era alto y la demanda global estaba creciendo, el gobierno introdujo "licencias verdes".

Las licencias verdes permitieron la expansión de la cosecha bajo la condición que las empresas adoptaran nuevos métodos de producción para reducir las fugas de peces y controlar los niveles de piojos de mar. En total se anunciaron 45 licencias y se dividieron en tres grupos. El Grupo A proporcionó diez licencias para cada uno de los condados de Troms y Finnmark. El costo de cada licencia fue de NOK 10 millones, y para calificar para estas licencias, las empresas necesitaban cumplir un límite máximo de 0,25 piojos hembras adultas por salmón. El Grupo B asignó quince licencias, que estaban disponibles para empresas en todos los condados. Estas licencias se vendieron a través de una subasta y exigieron a los solicitantes garantizar un límite de piojos de 0,25 piojos hembras adultas por salmón. Además, los acuicultores que buscaban licencias del grupo A o del grupo B también tenían que comprometerse a operar una licencia existente con un límite de piojos de 0,25 piojos hembras adultas por salmón. Por último, se pusieron a disposición de las empresas de Noruega diez licencias del grupo C, o licencias "súper-ecológicas". Los criterios para las licencias del grupo C eran más estrictos y requerían un límite superior de piojos de 0,10 piojos hembras adultas por salmón. La respuesta de la industria fue positiva y en total se recibieron 255 solicitudes. Para ser elegibles para las licencias verdes, las empresas presentaron una variedad de técnicas de mitigación de piojos.

²⁴ Norwegian Institute for Nature Research. Es una fundación independiente centrada en la investigación ambiental, haciendo hincapié en la interacción entre la sociedad humana, los recursos naturales y la biodiversidad.

²⁵ Incluso una empresa en una zona roja puede aumentar su población de peces si cumple ciertos estándares de presencia de parásitos (piojos de mar) en mediciones recientes.

A pesar de llevar a un aumento en la producción (unas 33.000 toneladas adicionales), las licencias verdes no parecen haber sido exitosas. En primer lugar, muchos productores no pudieron cumplir con los estándares prometidos para piojos de mar. En segundo lugar, no estaba claro cuáles serían las consecuencias del incumplimiento y si las empresas serían sancionadas, penalizadas o su licencia revocada si no lograban alcanzar los niveles requeridos. Por último, las empresas tuvieron que someter a los peces a tratamientos químicos y mecánicos adicionales para cumplir con los estrictos límites de piojos. El aumento en el número de tratamientos llevó a mayores niveles de mortalidad del salmón (Hersoug et al., 2021).

Por otro lado, entre 2015 y 2017 se introdujeron y operaron “licencias de desarrollo”, es decir, permisos de producción especiales otorgados a empresas que podían demostrar innovaciones capaces de resolver áreas ambientales o de superficie que afectan al sector de la acuicultura. Para ser elegible para una licencia de desarrollo, los proyectos deben basarse en nueva tecnología e involucrar altas inversiones (Osland, 2019). Debido a los altos costos de inversión involucrados en el desarrollo de nuevas tecnologías, las licencias de desarrollo se otorgaron gratuitamente a las empresas por hasta 15 años. Si el proyecto puede cumplir con los objetivos ambientales, las empresas pueden convertir la licencia de desarrollo en una licencia comercial por NOK 10 millones. La Dirección de Pesca recibió 104 solicitudes, de las cuales se aceptaron 18 solicitudes, se rechazaron 82 y 4 se encuentran pendientes de decisión (SINTEF, 2021).

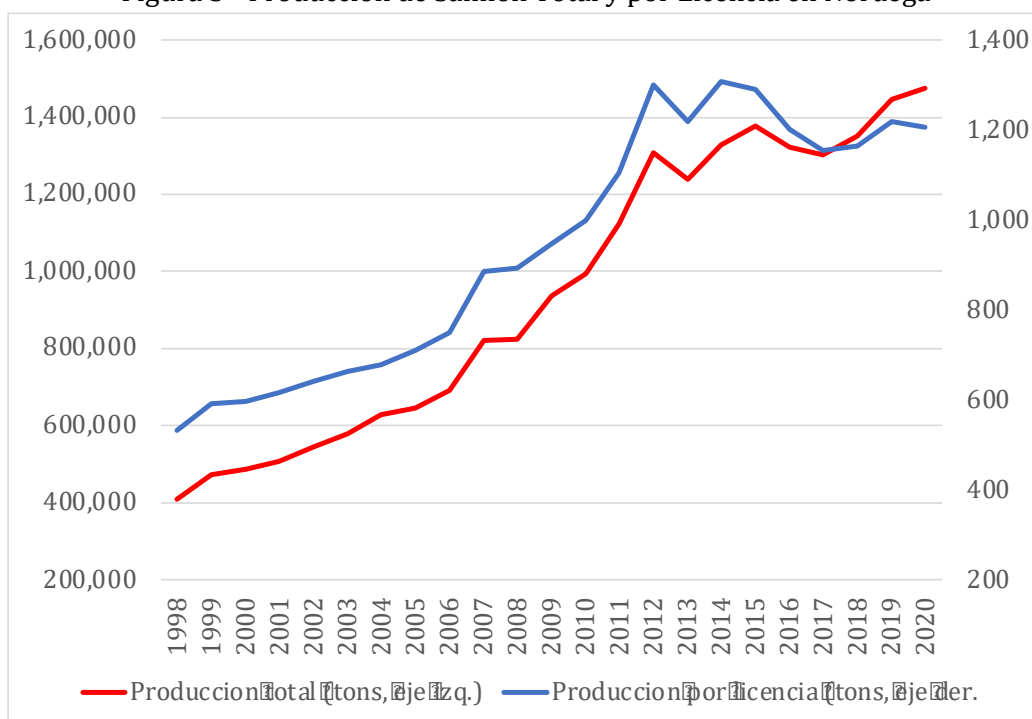
La introducción de licencias de desarrollo provocó una innovación significativa en la industria y condujo al avance de los sistemas de contención cerrados (CCS), los sistemas de contención semicerrados (SCCS) y los sitios en alta mar (Føre et al, 2022). Si bien son eficaces para combatir los piojos de mar, estos sistemas requieren grandes inversiones de capital. Los altos costos sugieren que estas innovaciones no hubieran sido posibles si las licencias no se hubieran emitido de forma gratuita (Greaker et al., 2020). A pesar de desencadenar el desarrollo de varias tecnologías innovadoras, sigue siendo incierto si las licencias de desarrollo serán una ruta viable para aumentar la producción en el futuro.

Aunque la restricción de MAB pareciera imponer límites a la producción de salmón en Noruega, existen en realidad varios márgenes de expansión. Aparte del crecimiento base de 6% para aquellos que cumplan con un buen estándar ambiental, existen otras maneras de premiar a los más eficientes. Primero, a los sitios que cumplen con mejores estándares ambientales (más estrictos) se les ofrece un espacio de crecimiento adicional. Las condiciones para ello son haber tenido por debajo de 0,1 piojos de mar por pez en cada conteo durante los dos años anteriores y haber realizado como máximo un tratamiento antiparasitario durante el último ciclo de producción. Los sitios que cumplen con este estándar pueden tener un crecimiento máximo adicional del 6%, independientemente de la situación general en las diferentes áreas de producción.

Además del crecimiento potencial por las licencias existentes, el Gobierno permitió la expansión de la producción mediante la licitación de nuevas licencias en agosto de 2020 (Figura 3). Se ofrecieron 27.189 toneladas adicionales de producción (equivalente al 3% de producción de 2020) y 30 empresas diferentes compraron toda la biomasa disponible en las diferentes áreas de

producción por un monto total de NOK 6 mil millones (aprox. USD 600 millones). En este caso, las nuevas licencias han resultado bastante caras (en promedio unos USD 25.000 por tonelada) lo que refleja que los inversionistas vencedores esperan una sustancial expansión de la demanda futura y/o un aumento futuro de precios y retornos a la inversión.

Figura 3 - Producción de Salmón Total y por Licencia en Noruega



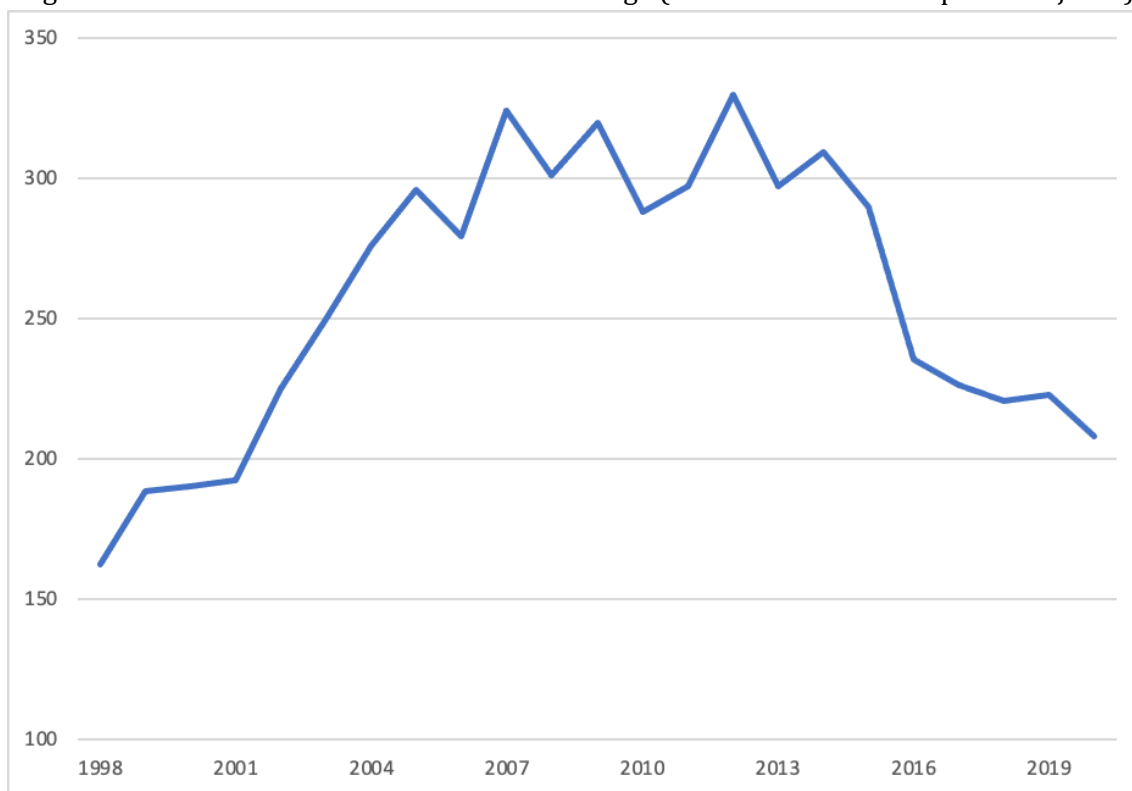
Fuente: elaboración propia sobre la base de información de Fiskeridirektoratet, Norway

El sistema noruego de MAB + Semáforo tiene ciertamente virtudes. En primer lugar, tiene una sólida base científica en el sentido que las 13 áreas de producción se determinaron principalmente en función de características oceanográficas y que para cada una de ellas se determinaron límites de carga que, en principio, son congruentes con la capacidad de ese ecosistema de soportar de manera sustentable la actividad productiva. En segundo lugar, las variables de decisión del sistema son pocas (se fija el MAB y los parámetros del semáforo), son bastante objetivas pues tienen respaldo científico, no son arbitrarias ni dependen del visado de la autoridad de turno. Además, es una ventaja que las decisiones de calificación usen información de más de un ciclo productivo y se extiendan también por más de un ciclo productivo pues permiten acomodar un shock transitorio de mejor manera. La ausencia de componentes arbitrarios en el sistema debiera llevar, a su vez, a reducir el riesgo regulatorio para el inversionista, y a un mayor nivel de inversión. El alto costo de las licencias señalado más arriba también indica que los inversionistas ven un bajo riesgo regulatorio.

El sistema de MAB + semáforos de Noruega también tiene, sin embargo, sus debilidades. En primer lugar, existe evidencia de errores significativos en la estimación de biomasa por jaula, lo que pone en entredicho los efectos de control de externalidades negativas. En segundo lugar, no resulta evidente que el sistema impulse mayores niveles de eficiencia. En principio, la existencia de MAB y la

posibilidad de transar las licencias debiese llevar a que los más eficientes desplacen a los productores menos capaces. Sin embargo, ello no se observa en la realidad: los costos de producción han crecido y la productividad media del trabajo no se ha recuperado (ver Figura 4). En tercer lugar, el MAB puede inducir una concentración en la industria: una empresa más grande y que tenga muchos sitios y licencias puede acomodar más fácilmente una trasgresión del límite de MAB de un sitio mediante la reasignación de peces a otros sitios de cultivo, algo que una empresa pequeña y circunscrita a un único sitio no puede hacer. En cuarto lugar, el sistema se ha vuelto bastante burocrático, llevando a pérdidas de competitividad en la industria (multiplicidad de agencias públicas, lentitud en el procesamiento de permisos y licencias, etc.). En 2020 se unificaron todas las autoridades regulatorias en un solo ente con competencias para toda la industria, con la esperanza que esto reduzca de manera sustancial el costo burocrático.

Figura 4 - Productividad media laboral en Noruega (toneladas de cosecha por trabajador)



Fuente: elaboración propia sobre la base de información de Fiskeridirektoratet, Norway

En general, regular por biomasa es complejo porque ésta es producto de decisiones pasadas de producción (sobre cuánto sembrar), de uso de insumos (que determinan cuánto puede crecer la producción) y de factores no controlables por la empresa, por lo que es difícil saber si la respuesta observada de los productores responde a imperativos de eficiencia u otros factores. Respecto de la producción en Noruega, Olivera (2021) indica que existen varios factores asociados con la evolución de la biomasa que no guardan relación con la situación sanitaria del cultivo. El uso de datos de biomasa como medida de pérdidas –metodología que también se usa en Chile, aunque de un modo más indirecto— puede ser inexacta debido a variaciones en los registros dependiendo de la etapa del

ciclo de producción (ya que los peces más grandes contribuyen más a las pérdidas de biomasa que los más pequeños) y porque hay factores relacionados con la producción, la salud y el medio ambiente que pueden ser importantes. El uso de un indicador de biomasa o mortalidad agregado puede ser equívoco por razones de ciclo temporal y no de manejo, ya que en los primeros 1-3 meses en el mar (generalmente cuando los peces crecen desde 50 hasta 500 g) suele haber una mayor mortalidad por la presencia de los llamados "smolts fallidos", cuando la transformación de parr a smolt no está completa. Con posterioridad, se observa una caída en la mortalidad que es seguida por una tendencia ascendente hasta el final de la producción, derivada del hecho que salmones más viejos han enfrentado períodos más prolongados de exposición a los determinantes de la mortalidad. Otros factores determinantes de la mortalidad se relacionan con el mes y el peso en la primera siembra.

Impuestos

Recientemente ha habido un debate en Noruega respecto de la imposición de nuevos impuestos en la industria del cultivo del salmón. En 2020, el gobierno noruego descartó una propuesta para introducir un impuesto a los recursos del 40%. En cambio, el Gobierno propuso una tarifa de producción de NOK 0,4/kg de salmón HOG producido en el mar (0,7% del precio de 2020) y el Parlamento decidió imponer esta tarifa a partir de 2021. La recaudación podría ser sustancial, toda vez que el gobierno espera duplicar la producción actual para el año 2030 y multiplicarla por cinco para el año 2050.²⁶

Aparte de este impuesto específico, las empresas de la industria del salmón noruego deben pagar el impuesto de renta corporativo de 22%, un impuesto municipal de entre 0,2% y 0,7% del valor de las instalaciones (activo fijo, excluidos los peces) y un impuesto de exportación de 0,6% del valor FOB (del cual la mitad va a financiar actividades de investigación científica).

Nueva estrategia de desarrollo y regulación

En julio de 2021, el gobierno noruego dio a conocer una nueva estrategia de acuicultura que tiene como objetivo, entre otras cosas, simplificar todo el sistema de licencias del país. La nueva estrategia, conocida como "Un mar de oportunidades", proporciona un plan para la industria acuícola noruega durante los próximos 10 a 15 años. El plan parte de la base que el crecimiento del sector llegará a 5 millones de toneladas métricas de salmón y trucha por año para 2050, lo que significa quintuplicar la producción actual, pero que éste debe producirse de forma sostenible. El gobierno tiene la intención de establecer un comité para revisar las regulaciones de licencias para toda la industria de la acuicultura y explorar cómo se pueden adaptar para enfrentar los desafíos actuales y futuros.

²⁶ Misund and Tveteras (2020) revisan la validez del argumento que un impuesto se justifica porque las empresas se benefician del acceso a un bien común escaso –los sitios de cultivo—y que obtienen una renta. Encuentran que, en el caso de Noruega y entre 2009 y 2017, no hay evidencia empírica que dicha renta exista.

Como se discutió más arriba, el sistema actual es un mosaico de varios esquemas históricos que pueden simplificarse y armonizarse bajo la nueva estrategia. La nueva estrategia de gestión también evaluará cómo la gestión del sector puede volverse más eficiente y coordinada. El gobierno también planea desarrollar aún más el sistema de semáforos y revisar el uso de permisos especiales. Entre los elementos de la regulación que serán objetivos de mejoría en el nuevo plan están:

- Evaluar si los límites de MAB, que actualmente delimita los permisos, siguen siendo la herramienta más adecuada.
- Examinar las condiciones marco para la acuicultura terrestre, en particular con miras a fortalecer las medidas de bioseguridad y medio ambiente.
- Estudiar mecanismos para facilitar la acuicultura en alta mar.
- Evaluar si la estructura actual del sitio se puede cambiar para reducir los problemas de contagio de infecciones entre ellos.
- Facilitar la tecnología adecuada de sistemas de recirculación de acuicultura (RAS)
- Facilitar el desarrollo de nuevas materias primas para alimentos.
- Mejorar las condiciones aduaneras en los mercados de exportación (obtener aranceles cero).
- Continuar el enfoque en la investigación en acuicultura, incluida la investigación sobre nuevas especies y nuevos alimentos para peces.

2.4 Producción y Regulación en Escocia

Evolución histórica

La acuicultura escocesa se ha desarrollado en los lagos marinos y en aguas de la costa oeste desde finales de la década de 1970, concentrándose en la producción de salmón del Atlántico. La producción aumentó de 520 a 203.853 toneladas entre los años 1979 y 2020. Murray y Munro (2018) revisan los determinantes de la evolución histórica de la producción e identifican un importante cambio en la dinámica de la industria a principios de los años 1990. Antes de 1992, el crecimiento era extensivo por naturaleza con un aumento exponencial del número de sitios (35% por año entre 1979 y 1989) pero con un crecimiento de la productividad por mucho más lento (11% por sitio por año) y con pérdidas de peces relativamente altas (sobre 30%). Desde 1992, el crecimiento de la producción se intensificó, pero con una disminución del número de sitios. Ello fue resultado de un aumento en la productividad por sitio (en gran medida resultado de menores pérdidas de peces las que se redujeron a un 20%), lo que a su vez se asocia con una rápida adopción del uso de vacunas antibacterianas. Ellis et al. (2016) señalan que los principales factores que llevaron al aumento de productividad de la industria se relacionan con (a) un mejor control de la producción y programación (p.e., por el cambio de huevos silvestres a criados y la introducción de smolt fuera de temporada), (b) un mejor desempeño biológico ilustrado por una mayor supervivencia, tamaño por edad y rendimiento por smolt, (c) sostenidas mejorías en la cría y alimentación, (d) reducción de la duración del ciclo de producción, (e) introducción y aceptación del uso de vacunas y (f) introducción de tecnología y mecanización.

La producción se triplicó entre 1990 y 2000, alcanzando las 150 mil toneladas, pero se estancó durante el periodo 2000-2015 y ha presentado fuertes oscilaciones a posteriori. A pesar de las continuas oscilaciones de la producción, la cosecha de salmón en Escocia superó en 2020 las 200 mil toneladas, de las cuales se exportó aproximadamente un 70%. La autoridad espera que la industria se desarrolle aceleradamente en un futuro cercano, llegando a producir unas 350.000 toneladas anuales hacia fines de la actual década y duplicando su actual facturación para alcanzar los GBP 3.600 millones en 2030.²⁷

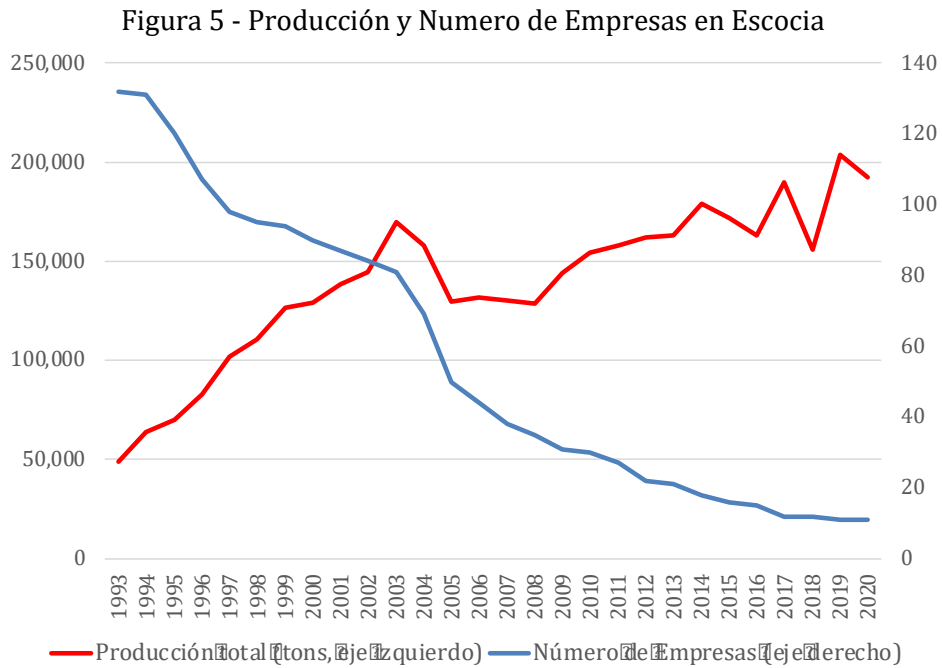
Siguiendo la tendencia en Noruega, la industria del salmón en Escocia ha tenido un periodo de fuerte concentración de empresas a partir de los años 1990, como se ve en la Figura 5. MSM (2021) indica que el número de empresas superaba las 100 en los años 1990 pero para el año 2020 se había reducido a 11 (de las cuales sólo 8 estaban en operaciones). En la actualidad, la industria es dominada por 5 grandes empresas, de las cuales tres son de propiedad noruega. Este proceso de consolidación de la propiedad en unas pocas empresas grandes es considerado un factor de éxito, pues permitió la profesionalización de la industria, mejorando los estándares, el control de enfermedades y la estabilidad financiera, lo que permite el crecimiento. Naylor y Burke (2005) señalan la importancia de la integración vertical de las empresas de salmón a lo largo de una cadena de suministro, que incluye la fabricación de alimentos, la producción de criaderos y smolts, el cultivo y el procesamiento de agua de mar.

La escala de producción continúa siendo, sin embargo, heterogénea. De acuerdo con la información de MSM (2021), había 131 sitios en producción en 2020 (otros 93 no estaban en operación). De ellos, 77 produjeron más de 1.000 toneladas, concentrando un 82% de la producción total, lo que indica que, en promedio, estos sitios cosecharon unas 1.700 toneladas cada uno. Solo 4 sitios produjeron más de 5.000 toneladas en ese año, en tanto que 23 sitios tuvieron una producción inferior a las 500 toneladas. El número de sitios de baja productividad se ha ido reduciendo de manera sustancial en la última década.

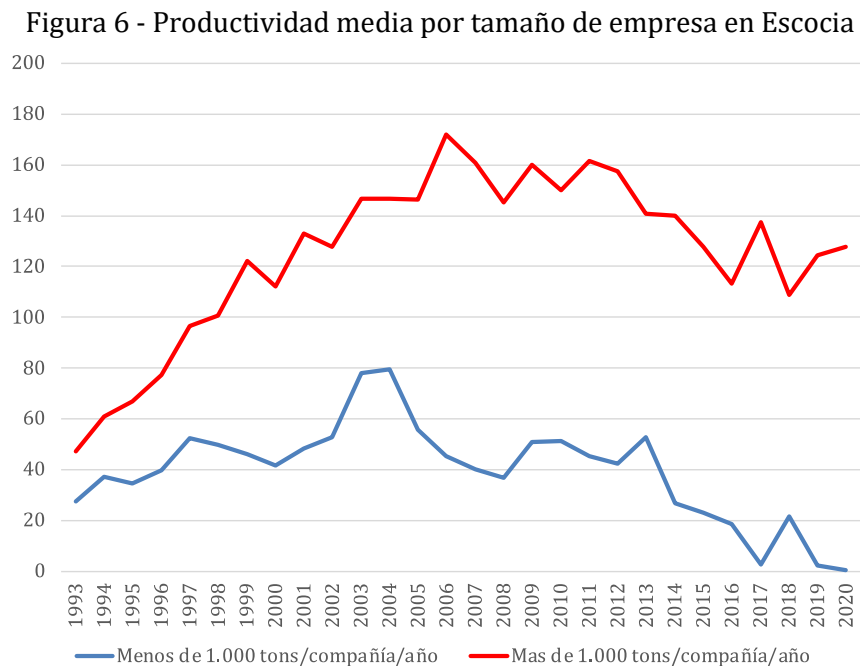
Aunque inicialmente, los aumentos de producción y reducción en el número de empresas vinieron de la mano de aumentos sustanciales de productividad (medida por la cosecha anual por trabajador), hacia 2005 la productividad comenzó a estancarse y a partir de mediados de los años 2010 la productividad comenzó a decrecer como resultados de fuertes aumentos en la contratación. Como se muestra en la Figura 6, la evolución de la productividad de las salmoneras en Escocia difiere tanto en el tiempo como entre tamaños de empresas (MSM, 2021). Aunque tanto las empresas grandes como las pequeñas se beneficiaron de los aumentos iniciales de productividad de los años 1990, las empresas grandes lograron mayores aumentos de productividad hasta mediados de los años 2000. La productividad de las empresas pequeñas no sólo fue menor, sino que comenzó a declinar muy fuertemente desde mediados de los años 2000. En la actualidad, solo 4 empresas operan con escalas de producción menores a las 1.000 toneladas. La productividad se estancó en las

²⁷ Ver Gatward et al. (2017) y Review of the Environmental Impacts of Salmon Farming in Scotland, The Scottish Parliament, January 2018.

empresas grandes hasta mediados de los años 2010 y, posteriormente, ha caído significativamente. Los aumentos de empleo en las empresas grandes han sido explosivos: si en 2000 una empresa que producía más de 1.000 toneladas al año empleaba a 37 personas en promedio, este valor subió a 227 en 2020. Por el contrario, en las empresas pequeñas este valor subió de 6 a 9 en el mismo periodo. Existen sospechas de que este fenómeno se relaciona con aspectos de excesiva regulación (Abate et al, 2016).



Fuente: elaboración propia sobre la base de información de MSM (2021)



Fuente: elaboración propia sobre la base de información de MSM (2021)

Regulación

El marco legal básico se desarrolló con la Ley de Enfermedades de los Peces de 1937 (legislación del Reino Unido) que estableció conceptos de enfermedades notificables y controles oficiales de movimiento para prevenir la propagación de infecciones en ambientes acuáticos. Con el establecimiento de la acuicultura del salmón en la década de 1970, se hizo necesario el desarrollo de la cooperación local en el manejo de la furunculosis y los piojos de mar entre grupos locales de sitios que compartían un área hidrodinámica. A partir de estos acuerdos informales locales, la industria desarrolló las áreas de manejo de sitios que, ahora, están consagradas en un Código de buenas prácticas para la acuicultura. Este código es mantenido y desarrollado por un grupo de gestión formado por representantes y organizaciones de productores, e incluye observadores gubernamentales. Paralelamente, y en respuesta a un brote de ISA, el gobierno y la industria desarrollaron un sistema de áreas oficiales de manejo de enfermedades. Además, desde finales de la década de 1990, se han utilizado masas de agua costeras con intercambio restringido de mareas (lagos marinos, ensenadas costeras) para gestionar las descargas de nutrientes y orgánicos y así limitar la biomasa permisible a nivel de masa de agua para mantenerse dentro de la capacidad de asimilar dichos desechos.

Murray y Gubbins (2017) identifican los tres espacios de interacción entre sitios productivos, diseñados por la autoridad para diferentes propósitos: (a) áreas de manejo de sitios productivos, (b) áreas de manejo de enfermedades, y (c) áreas "categorizadas" en cuerpos de agua subterráneos (principalmente lagos marinos).

Las áreas de manejo de sitios (AMS) son grupos de sitios productivos cuya interacción requiere colaboración. Los límites de las AMS los define la industria sobre la base del conocimiento existente y los aspectos prácticos locales, aunque los ministerios escoceses se reservan el poder de revisar estos límites.²⁸ Los límites se muestran en el Código de Buenas Prácticas y los sitios dentro de dichas áreas requieren un Acuerdo de Gestión de Explotación o una Declaración de Gestión que especifica sus actividades en virtud de la Ley de Acuicultura y Pesca de 2013. Este acuerdo, o declaración, describe las actividades relacionadas con la salud de los peces y el manejo de parásitos, barbecho, movimientos de entrada y salida de peces, y operaciones de cosecha. Muchas AMS existían de forma voluntaria antes de la aprobación de la ley, a veces desde hacía muchos años. Actualmente, hay 89 AMS en Escocia.

Las áreas de manejo de enfermedades (AME) se utilizan para el control de enfermedades de declaración obligatoria. Estas AME se desarrollaron durante un brote severo de ISA en 1998/9 y se utilizaron para contenerlo y, finalmente, erradicarlo. Los límites se definen utilizando una distancia epidemiológicamente significativa alrededor de cada sitio (p.e., 3,6 km en las Islas Shetland y 7.3 km en otras partes de Escocia). Cuando estos círculos se superponen, los sitios se entienden que

²⁸ Los límites cambian con la experiencia, por ejemplo, las AMS en el sureste de las Shetland se fusionaron después de que ISA se extendiera a través de los límites de las áreas.

pertenecen al mismo AME. Por lo tanto, estos límites se definen fácil y explícitamente. Actualmente hay 52 AME en Escocia.

Adicionalmente a la definición de áreas, la regulación escocesa descansa en una serie de modelos hidrodinámicos y ambientales. La transmisión de partículas infecciosas depende de una interacción compleja de los transportes hidrodinámicos y de la biología de las partículas, incluida su producción, desintegración y la sensibilidad de las poblaciones hospedadoras expuestas al desarrollo de la infección. Estos procesos se modelan usando modelos conjuntos de hidrodinámica y partículas: los modelos hidrodinámicos describen los procesos de transporte y los de partículas describe la evolución biológica de una partícula sujeta a estos procesos de transporte. Se utilizan modelos similares para describir una variedad de procesos acuáticos, incluido el desarrollo de floraciones de fitoplancton, el transporte de cangrejos larvas y la contaminación fecal de mariscos en aguas costeras.

Por ejemplo, el *Scottish Shelf Model* (SSM) ofrece una imagen espacial detallada de las propiedades físicas del agua, que no se puede obtener solo con la observación. El SSM es un modelo oceánico comunitario de volumen finito (FVCOM) de las aguas de la plataforma continental escocesa, anidado en los productos de *Copernicus Marine. Marine Scotland Science* (MSS) continúa desarrollando este sistema e integrándolo con sus modelos FVCOM existentes. El modelo cubre la plataforma continental escocesa a una resolución relativamente alta (hasta 1 km de espacio entre nodos en la costa), pero también cubre la mayor parte de las aguas del Reino Unido, el Mar del Norte y el Canal de la Mancha. Además de este modelo escocés de plataforma de grandes dominios, se han desarrollado varios submodelos de dominios más pequeños, que cubren áreas de interés para sectores socioeconómicos específicos como la acuicultura y las energías renovables marinas. Estos submodelos tienen una resolución espacial más alta, necesaria para comprender adecuadamente los complejos procesos físicos dentro del área.

De acuerdo con FAO (2021), en lugar de una licencia formal como sucede en muchos países, en Escocia se requieren permisos de cuatro organizaciones antes de establecer un sitio de cultivo de peces: un permiso de planificación de la autoridad de planificación local, una licencia marina de *Marine Scotland*; una licencia ambiental de la Agencia de Protección Ambiental de Escocia (SEPA); y una autorización de Negocios de Producción Acuícola, también de *Marine Scotland*.

En principio, la aprobación de las solicitudes de nuevos sitios debiera demorar unos seis meses para que se otorgue el permiso de planificación y las solicitudes de licencia ambiental otros cuatro meses. Sin embargo, en la práctica ambos pueden demorar significativamente más. Se estima que el proceso de solicitud de licencia puede tardar en la práctica entre 18 meses y dos años. Por el contrario, el proceso de aprobación de la acuicultura en Noruega está sujeto a un límite de tiempo establecido en la legislación que no excede las 22 semanas. La ampliación de capacidad de las instalaciones existentes está sujeta a la idoneidad ambiental, pero es la ruta más eficiente en términos de costo y tiempo para aumentar la producción. El otorgamiento de nuevos sitios toma una mayor cantidad de tiempo y está sujeto a una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).

Además de los permisos mencionados, los sitios de cultivo deben contar con un contrato de arrendamiento de superficie realizado con *The Crown Estate*, que es el dueño y gestiona la mayor parte del fondo marino del Reino Unido hasta una distancia de 12 millas náuticas de la costa. Cualquiera que desarrolle u opere en aguas territoriales del Reino Unido lo hará en la propiedad de Crown Estate. Debido a esto, debe solicitar un contrato de arrendamiento y pagar alquiler para instalar y operar su sitio en el fondo marino. La mayoría de las licencias existentes se renuevan automáticamente al final de su período de arrendamiento. Un contrato de arrendamiento de Crown Estate generalmente se otorga por un período de 25 años y depende de la obtención de un permiso de planificación.

El cargo por licencia ambiental se cobra anualmente y es calculado de acuerdo con tres elementos; componentes de actividad y ambientales, y un factor de cumplimiento. En algunos casos, el cargo anual puede ser superior a GBP 15.000 por sitio. Adicionalmente, *The Crown Estate* recauda el arriendo permanente sobre la base de los niveles de producción: GBP 27,50 por tonelada cosechada (pescado destripado) para los emplazamientos del continente; GBP 24,75 por tonelada para los emplazamientos de las islas occidentales; un cargo anual de GBP 1,000 si un sitio no está en producción durante 4 años consecutivos seguido de un cargo anual de GBP 2,000 si el sitio permanece inactivo durante 2 años más. Luego, se aplica un aumento del 100% al cargo por inactividad cada dos años que un sitio permanece inactivo para fomentar el uso de sitios inactivos. Las solicitudes de permisos de planificación también se cobran a GBP 183 por 0,1 hectárea de superficie agrícola y GBP 63 por 0,1 hectárea de lecho marino, mientras que la tarifa de solicitud de licencia SEPA es de GBP 4.202 para un nuevo sitio.

La biomasa máxima permitida (MAB) para sitios individuales se determina en función de una evaluación de las preocupaciones ambientales, incluida la capacidad de carga del entorno marino local para poder acomodar la piscifactoría. Durante 2019, la SEPA introdujo un nuevo marco regulatorio para la concesión de licencias de piscifactorías marinas en Escocia (*Depositional Zone Rules, DZR*). Esta incluyó nuevos límites en la extensión espacial de la zona de impacto alrededor de los sitios, el uso de herramientas de modelado más precisas y un monitoreo ambiental más mejorado.

Los umbrales de capacidad específicos del sitio se determinan a través del proceso de concesión de licencias, donde se utiliza el modelado de impacto bentónico (AutoDEPOMOD) para establecer umbrales máximos de biomasa sobre la base de los impactos previstos sobre la diversidad de la fauna de los fondos marinos. El proceso de autorización de desarrollo (administrado por las autoridades locales y ambientales) puede limitar la biomasa específica del sitio sobre la base de los impactos ambientales esperados o la capacidad de un sitio para usar (descargar) medicamentos para tratar infecciones por patógenos.

Se emplean modelos simples para predecir un umbral de precaución para la capacidad de asimilación basado en la mejora pronosticada de nutrientes y los impactos bentónicos que surgen de las descargas acumulativas de múltiples desarrollos en la masa de agua. Los modelos utilizados y el marco en el que se utilizan los resultados se explican en el informe de referencia. Estos son modelos

sencillos de precaución que se pueden utilizar en los más de 100 lagos marinos que sustentan la acuicultura en aguas escocesas.

Se han realizado esfuerzos para producir estimaciones más sofisticadas de la capacidad de carga asimilativa y se han desarrollado modelos biológicos físicos acoplados complejos de múltiples capas para mejorar las estimaciones de la capacidad de asimilación a nivel de cuerpo de agua, pero la aplicación de estos de una manera robusta en múltiples cuerpos de agua requiere un forzamiento extenso. datos y esfuerzo y gasto significativo. Se espera que los esfuerzos futuros mejoren las estimaciones, pero por el momento, los datos de seguimiento sugieren que el régimen actual es suficientemente precautorio para evitar los efectos de eutrofización que surgen de las descargas acumuladas de la acuicultura de peces marinos.

De acuerdo con Crawford y Rollins (2019) el nuevo esquema regulatorio se basa en sólo dos consideraciones ambientales: impacto orgánico e impacto químico. El cumplimiento ambiental se monitorea mediante el uso de dos estándares: (a) una medición del consumo de oxígeno al borde de la jaula (redox) y (b) un análisis de los bentos del lecho marino realizados en un radio de 100 metros de la ubicación de las jaulas.

En este nuevo sistema DZR se fija la primera cosecha máxima y se permite hasta un 10% crecimiento anual si se cumplen las restricciones ambientales. La MAB no es uniforme y varía según las características y la ubicación de cada sitio de cultivo. La combinación del nuevo estándar ambiental con el desarrollo de modelos de simulación de los efectos ambientales mucho más precisos y de mejores sistemas de monitoreo ha permitido la aprobación de sitios más grandes de las que se habían permitido históricamente (es decir por encima de las 2.500 toneladas), siempre que estén ubicadas adecuadamente en ubicaciones sostenibles. La licencia ambiental de SEPA puede revisarse y reducirse el MAB en caso de un incumplimiento de las normas ambientales, siendo potencialmente revocada en casos en que el incumplimiento sea significativo y de largo plazo.

En la práctica y con el tiempo, este sistema llevará a abandonar el uso de una MAB permanente y común para todas las pisciculturas porque no tiene límites de biomasa prefijados, sino una medición de riesgos hecha sobre la base de modelos de impacto local y no de estándares generales. SEPA ya no restringirá el tamaño de los sitios de salmón siempre que cumplan con estándares más estrictos que limiten la contaminación por desechos químicos, fecales y orgánicos en los mares circundantes. Se permitirá a los productores de salmón escoceses crear sitios de gran tamaño a cambio de aceptar controles mucho más estrictos sobre parásitos y contaminación marina (Innovation Norway, 2019).

Los sistemas de gestión para el control de los piojos de mar son diferentes en Escocia en comparación con Noruega, donde existe el sistema de semáforos, porque en Escocia hay un umbral para la notificación y el tratamiento. La nueva política de piojos de mar requiere que los sitios de peces informen al FHI cuando se encuentre un promedio de 2 piojos de mar por pez o más durante un conteo semanal. Esto conduce a un seguimiento y una posible intervención y acción de ejecución.

Todos los salmones escoceses están vacunados y prácticamente han eliminado el uso de antibióticos para tratar la furunculosis. Algunos productores de salmón también usan vacunas multivalentes para protegerse contra amenazas locales conocidas de otros patógenos bacterianos y contra varias enfermedades virales. Esto ha resultado en un uso insignificante de antibióticos en la fase de crecimiento marino del cultivo de salmón durante los últimos veinte años.

El nuevo marco regulatorio escocés utiliza enfoques de modelado informático más precisos que mejorarán la comprensión del riesgo para el medio ambiente local y permitirán la evaluación de los impactos a mayor escala, incluidas las interacciones con otros sitios de cultivo. Adicionalmente, equipara la regulación de acuicultura con la práctica moderna en zonas de confluencia que incluyen otras descargas de efluentes residuales en el mar, incluidas las de aguas residuales urbanas.

En principio, el nuevo marco regulatorio debiese dar incentivos para que los operadores se ubiquen y operen sitios de cultivo en aguas ambientalmente menos sensibles y utilicen mejor prácticas y tecnologías para reducir los impactos ambientales. Para ello se requiere que los operadores inviertan en un monitoreo más preciso, incluidos los desechos provenientes de las piscifactorías.

Paralelamente con la introducción del DZR el gobierno escocés ha comenzado un proyecto de fuerte reducción de la burocracia con el objetivo de simplificar y hacer más expedita la regulación del sector, compensado de ese modo las caídas de productividad observadas desde mediados de los años 2010.

Impuestos

En el Reino Unido el impuesto de sociedades se aplica a las ganancias mundiales (ingresos y ganancias de capital) de las empresas residentes en el Reino Unido. Las empresas son consideradas como residentes si están constituidas en el Reino Unido o si la gestión y el control central se llevan a cabo en el Reino Unido. Tras el anuncio de la oficina de presupuesto del Reino Unido en marzo de 2021, la tasa del impuesto a la renta de sociedades se mantendrá en el 19% hasta el 31 de marzo de 2023. Se espera que la tasa aumente al 25% a partir del 1 de abril de 2023 para las empresas con beneficios de más de GBP 250.000 anuales. La tasa de impuestos será del 19% para ganancias hasta GBP 50.000 GBP y una tasa graduada e intermedia para empresas con beneficios entre GBP 50.000 y 250.000

Hay también un régimen fiscal especial y transitorio para enfrentar el Covid19 que permite las inversiones en activos primarios se benefician de una súper-deducción del 130% (anteriormente, el 18%), mientras que las inversiones en activos que califiquen para la tasa especial se beneficiarán de una asignación del 50% para el primer año (anteriormente, el 6%). El gobierno del Reino Unido anunció que extenderá temporalmente el período en el que las empresas pueden trasladar las pérdidas comerciales de un año a tres años, con un límite de GBP 2 millones.

2.5 Producción y Regulación en Canadá

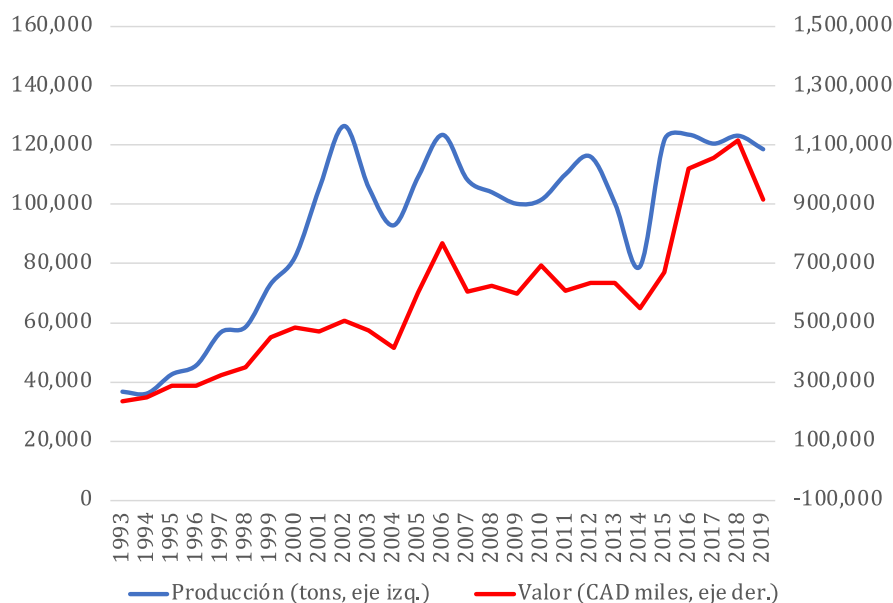
Evolución histórica

El cultivo de salmón comenzó en la década de 1970 en Canadá cuando un pequeño número de empresarios comenzó a usar jaulas marinas en el noroeste del Pacífico para criar salmón coho nativo y salmón Chinook (FAO, 2021c). Posteriormente, la industria se concentró en el salmón del Atlántico, que era más adecuado para la domesticación, que crecía más rápido que los salmones del Pacífico y que se adaptaba a densidades más altas en las jaulas. Aunque la industria fue inicialmente exitosa en New Brunswick, ésta se ha consolidado sobre todo en Columbia Británica.

La evolución de la producción en volumen y valor se presenta en la Figura 7. Como se puede ver, la producción ha estado estancada desde los años 2000 en torno a las 110 mil toneladas y, con excepción de los años 2015 a 2019, el valor de la producción tampoco ha crecido de manera significativa.

A medida que la industria se desarrolló, hubo un movimiento general hacia la integración vertical que combina los componentes de incubación, engorda, procesamiento y comercialización de la cadena de valor en una sola empresa. No obstante, existen claras diferencias regionales con una gran presencia de empresas multinacionales noruegas en la Columbia Británica en la costa del Pacífico, en contraste con la costa del Atlántico, donde las granjas de salmón están controladas en gran parte por un pequeño número de empresas de propiedad y gestión canadienses. En los últimos años, se ha producido una importante consolidación que ha reducido la industria del salmón a unas cinco empresas integradas verticalmente que controlan la mayor parte de la producción.

Figura 7 - Producción de Salmón en Acuiculturas en Canadá



Fuente: elaboración propia a partir de información de DFO, Canadá.

En 2019, había más de 260 negocios basados en la acuicultura en Canadá, de los cuales un 55% eran clasificados como micro-establecimientos (que emplean a menos de cinco personas), un 41% eran pequeños establecimientos (entre 5 y 99 personas) y sólo un 4% eran consideraron establecimientos de tamaño medio, que emplean entre 100 y 499 personas. En ese mismo año *Fisheries and Oceans Canada* (DFO) estimaba que unos 3.700 canadienses estaban empleados directamente en la industria de la acuicultura.

Regulación

La jurisdicción sobre la pesca la ejerce el Ministerio de Pesca, Océanos y la Guardia Costera de Canadá, con la asistencia de DFO. La principal legislación federal aplicable es la Ley de Pesca. Sin embargo, la Ley de Pesca no fue diseñada originalmente para regular esa industria, sino para regular y administrar la pesca de captura de especies silvestres. El Ministerio tiene la absoluta discreción para emitir arrendamientos y licencias para la pesca, incluidas las relacionadas con la acuicultura. El Ministerio puede especificar en una licencia de acuicultura, incluida una licencia de transferencia de peces, las condiciones para la gestión y el control adecuados de la pesca y la conservación y protección de los peces. El Ministerio ha delegado la facultad de emitir licencias de transferencia al Gerente Regional de Programas de Acuicultura del DFO, quien es asesorado por comités territoriales. Las inspecciones de los criaderos de acuicultura se realizan cada tres meses y coinciden con las solicitudes de licencias de transferencia de peces. Las inspecciones verifican la presencia de enfermedades de interés y asesoran al DFO sobre las condiciones de la licencia y si la solicitud debe aprobarse o no.

Pero, debido a que es un país federal, las empresas de cultivo de peces en Canadá están sujetas en la práctica a diferentes regulaciones según el área geográfica en la que operan (FAO 2021c). La Ley Federal de Pesca, la Ley de Protección de la Navegación, la Ley de Salud de los Animales y el Reglamento Nacional de Actividades Acuícolas (AAR) son algunas de ellas. Para operar un sitio de piscifactoría marina se requieren, entonces, autorizaciones provinciales y/o federales. Los gobiernos provinciales y federales comparten la responsabilidad de administrar la industria, y estas responsabilidades varían entre provincias (ver Cuadro 3). Un fallo de 2009 de la Corte Suprema de Columbia Británica (la Decisión Morton) categorizó la acuicultura en esa provincia como “una pesquería” y, dado que las pesquerías están dentro de la jurisdicción federal, se confirmó al gobierno federal como el principal regulador de la acuicultura en esa provincia. En 2010, los gobiernos Federal y de Columbia Británica firmaron un memorando de entendimiento que delimita las funciones y responsabilidades de cada nivel de gobierno en lo que respecta a la acuicultura.

En Prince Edward Island, el gobierno provincial llegó a un acuerdo con el gobierno federal y la industria de la acuicultura en 1928 para establecer el Consejo de Administración y Arrendamiento de Acuicultura que permite los contratos de arrendamiento y operación, entre otros aspectos. La junta, compuesta por representantes federales, provinciales y de la industria, brinda asesoramiento y orientación al DFO con respecto a varios aspectos de la industria administrados por el gobierno federal. El DFO mantiene jurisdicción con respecto al arrendamiento de acuicultura, ya que los arrendamientos son emitidos por su División de arrendamiento de acuicultura de PEI.

Cuadro 3 - Esquema de Reguladores de la Acuicultura en Canadá

Área de Manejo	British Columbia	Prince Edward Island	Resto de Canada
Aprobación de Instalación de Sitios y Licencias	Provincial/Territorial /Federal	Provincial/Territorial /Federal	Provincial
Manejo del lecho marino de la concesión	Provincial	Federal	Provincial
Monitoreo diario de actividades	Federal	Federal	Provincial
Uso de fármacos y pesticidas	Provincial/Territorial /Federal	Provincial/Territorial /Federal	Provincial/Territorial /Federal
Seguridad y calidad alimenticia	Federal	Federal	Federal
Prevención de contaminación y la protección del ambiente.	Federal	Federal	Federal
Regulación de la producción de alimentos y medicamentos	Federal	Federal	Federal
Control de plagas	Federal	Federal	Federal
Transporte de insumos y productos	Federal	Federal	Federal

Fuente: elaboración propia a partir de información de DFO, Canadá.

En Terranova y Nuevo Brunswick, el gobierno provincial es el regulador principal y la autoridad de arrendamiento. La Provincia regula la actividad y operaciones de la acuicultura y emite la Licencia de Acuicultura y el arrendamiento de *Crown Land* donde se encuentran las piscifactorías. En Terranova, el contrato de arrendamiento con *Crown Land* para el sitio se emite por 50 años y la licencia de acuicultura se emite por 6 años. En Nuevo Brunswick, los sitios individuales generalmente se otorgan por 20 años. Todas las licencias de acuicultura comercial son renovables, pero pueden perderse o suspenderse por cuestiones de incumplimiento y falta de pago de tarifas.

En Columbia Británica, se requieren autorizaciones federales y provinciales para operar un sitio de piscifactoría marina. El Gobierno Federal regula la actividad y operaciones de la acuicultura, mientras que el Gobierno Provincial administra las tierras de la Corona donde se encuentran las piscifactorías. La Provincia otorga una licencia para ocupar un área del océano asociada con el sitio de cultivo de peces individual (tenencia). La tenencia comprende los corrales de cría, la infraestructura auxiliar y todos los amarres. La tenencia de sitios individuales tiene un cronograma específico que va de cinco a veinte años. En diciembre de 2020 había 116 sitios habilitados para acuicultura en Columbia Británica pero sólo 83 de ellos estaban operando.

En Terranova, los interesados deben presentar una solicitud de licencia de jaula marina al Departamento de Pesca, Silvicultura y Agricultura de Terranova para cada sitio marino nuevo o adquirido. En Nuevo Brunswick, las empresas deben presentar una Solicitud de licencia de acuicultura para sitios marinos al Departamento de Agricultura, Acuicultura y Pesca (*New Brunswick*). Se necesitan aproximadamente nueve meses para la transición de un sitio existente a un nuevo propietario y aproximadamente un año para una nueva aplicación en ambos lugares. Esto incluye la obtención de todas las aprobaciones y licencias necesarias, y una revisión del Departamento de Pesca y Océanos (Federal). Se requiere hacer una consulta con residentes, pueblos, grupos indígenas y de desarrollo y pescadores comerciales/recreativos. En Terranova, todos los sitios nuevos de la misma empresa deben estar separados por 1 km y 5 km si los sitios son operados por empresas diferentes.

En Terranova, las aprobaciones provinciales se pueden asignar a un operador diferente a través de un proceso de asignación de subarrendamiento del gobierno, sin embargo, las licencias no son transferibles. Una empresa puede transferir licencias a otra empresa siempre que los fundamentos de la asignación estén respaldados por los procesos gubernamentales en New Brunswick.

El periodo de tenencia de una licencia se basa en la política provincial en el momento de la oferta. En 2020, la tarifa anual por una concesión típica de 35 hectáreas es de CAD\$ 20,000 por año. Esta tarifa se calcula en función del tamaño de la tenencia y un valor de la tierra indexado provincialmente. Cada licencia contiene una disposición de renovación una vez vencida. Es poco común que una tenencia no se renueve, sin embargo, el incumplimiento de un acuerdo de tenencia puede resultar en que ésta no se renueve.

Las limitaciones de producción en Canadá están reguladas, usualmente a nivel provincial, como una "biomasa máxima permitida" o un número fijo de smolt por ciclo. En Columbia Británica el "MAB" es específico para cada instalación con licencia de acuicultura. Los sitios de cultivo más pequeños suelen tener una licencia de 2.200 toneladas, mientras que las instalaciones de mayor capacidad tienen licencias para producir 5.000 toneladas por ciclo. En Terranova y Nuevo Brunswick, un sitio de cultivo recibe un número máximo de smolts por ciclo. Los sitios suelen tener licencias de 600.000 a 1.000.000 smolt por ciclo en Terranova y de 250.000 a 600.000 smolt por ciclo en New Brunswick.

La tarifa de una licencia anual se calcula en CAD\$ 2.85 por tonelada de MAB para sitios operativos. Las instalaciones que están en barbecho pagan solo una tarifa administrativa de CAD\$ 100. Todas las licencias de acuicultura son renovables, pero pueden perderse o suspenderse por falta de pago. Todos los permisos y licencias requieren consulta con las Primeras Naciones y las partes interesadas locales. El tiempo necesario para adquirir licencias para una nueva granja puede variar de uno a varios años. El costo de preparar una nueva solicitud de licencia de sitio puede costar hasta CAD\$ 300,000. La ubicación de los sitios de cultivo está regulada por los gobiernos provincial y federal. La provincia regula el uso de la tierra y el gobierno federal establece requisitos específicos

del sitio para limitar los impactos a especies y hábitats críticos. Las empresas con el apoyo de las Primeras Naciones locales aún pueden obtener nuevos sitios.

El Reglamento de Actividades Acuícolas (AAR) establece el régimen para la actividad y para el depósito de sustancias nocivas relacionadas con las operaciones acuícolas. El depósito de plaguicidas autorizados, medicamentos recetados y materias bioquímicas que demandan oxígeno solo se permite si la operación de acuicultura está autorizada por el gobierno federal o provincial, y si se cumplen los requisitos de la AAR. Dichos requisitos incluyen considerar si existen alternativas a un medicamento recetado cuando se usa para el control de plagas o al uso de un plaguicida autorizado, tomar medidas para minimizar el riesgo de depósito accidental de medicamentos y tomar medidas razonables para minimizar el detrimento de los peces y su hábitat.

Las operaciones de acuicultura más grandes también deben monitorear el efecto de los depósitos de sustancias nocivas sobre las demandas de oxígeno, la concentración de sulfuro, y la presencia de ciertas bacterias y gusanos marinos de acuerdo con el Estándar de Monitoreo del DFO. Se debe notificar a la autoridad cuando se observe cualquier morbilidad o mortalidad de peces fuera de una instalación de acuicultura dentro de las 96 horas posteriores al depósito de un medicamento o producto de control de plagas. Una operación de acuicultura no puede ser repoblada si la concentración de sulfuro libre excede los límites de concentración prescritos, o si el lecho marino está cubierto de bacterias y gusanos marinos más allá de un nivel prescrito.

Un elemento interesante de la regulación canadiense es la necesidad que tienen los productores de informar a la autoridad sobre los registros de piojos de mar en los peces que están en sus instalaciones. Este sistema de autoevaluación del desempeño ambiental puede hacer que el costo del monitoreo recaiga en las empresas y no en los contribuyentes, pero existen riesgos obvios de sesgos en la medición, que a menudo se abordan mediante auditorías o inspecciones externas. Godwin et al. (2021) estudian los potenciales sesgos en el informe de datos de cumplimiento ambiental, comparando los datos entregados por las empresas con aquellos de las inspecciones de la autoridad. Descubren que los conteos mensuales de la industria de dos especies de piojos de mar, *Caligus clemensi* y *Lepeophtheirus salmonis*, aumentaron en un factor de 1,95 y 1,18, respectivamente, en meses cuando los conteos fueron auditados por el Departamento Federal de Pesca. En consecuencia, es menos probable que los conteos de piojos de mar en la industria desencadenen tratamientos de despiojado costosos pero obligatorios destinados a evitar epidemias de piojos de mar en los salmones juveniles silvestres. Estos resultados destacan el potencial de combinar auditorías externas de datos autoinformados por la industria con análisis de sus informes para mantener el cumplimiento de las regulaciones, lograr los objetivos de conservación previstos y generar confianza pública en el proceso.

Más allá del problema de piojos de mar, el enriquecimiento de nutrientes del lecho marino (bentos) ha sido un tema principal de discusión desde el comienzo de la cría comercial de salmón en Canadá. Los desechos de alimentos y las heces que pasan a través de las redes de contención pueden crear zonas de enriquecimiento orgánico para bentos en las proximidades de las jaulas. Los primeros estudios sobre la cría de salmón en BC con sitios de cultivo de 500 a 1200 toneladas métricas

mostraron que estos efectos variaban mucho y se reducían donde había condiciones de profundidad de agua adecuada y fuertes corrientes de marea. Estudios más recientes de sitios que producen más de 2.000 toneladas de pescado han documentado impactos bentónicos orgánicos medibles.

La implementación en 2020 de una regulación de residuos basada en el desempeño ha provocado cambios operativos para lograr y mantener el cumplimiento. Backman et al. (2009) usan datos de monitoreo de campo para cuatro operaciones agrícolas representativas para hacer un seguimiento durante varios ciclos de producción completos y encuentran que los impactos de los sedimentos a niveles máximos de producción han disminuido mientras se mantiene y, en algunos casos, aumenta la producción general de salmón. Este análisis considera el efecto de las acciones de manejo adaptativo tomadas para reducir el enriquecimiento orgánico, como la entrega de alimento modificado, cambios de posición relativamente pequeños en las jaulas o reducción producción en el sitio para lograr un cumplimiento continuo.

Impuestos

Las empresas de acuicultura están sujetas al impuesto sobre la renta de las sociedades con una tasa impositiva del 15% a nivel federal. Dependiendo de la provincia donde la empresa lleva a cabo sus actividades comerciales, las tasas impositivas federales y provinciales combinadas pueden variar entre el 23% y el 31%. El cálculo del impuesto se determina de acuerdo con los principios contables ordinarios que se aplican a otras sociedades. Sin embargo, existen ciertas excepciones en las que las empresas que llevan a cabo actividades agrícolas (que incluye la piscicultura) pueden informar sobre una base de efectivo en lugar de una base devengada.

Canadá impone un impuesto tipo IVA a nivel federal del 5% sobre bienes y servicios consumidos en Canadá. Además, algunas provincias canadienses han armonizado su impuesto provincial sobre las ventas con el IVA federal, lo que ha dado lugar a la aplicación de un impuesto armonizado, de entre 13% (Ontario) y 15% (Nova Escocia, Nuevo Brunswick, Terranova y Labrador e Isla del Príncipe Eduardo). El IVA federal pagado en importaciones de insumos es generalmente recuperable como crédito para efectos impositivos. Algunos insumos de la acuicultura no pagan IVA, incluyendo (es decir, la tasa de impuestos aplicable es 0%), que incluyen huevos de pescado producidos para incubar, ciertos tipos de equipos (p.e., alimentadores automáticos de *netpens* y los mismos *netpens*). Por otro lado, el IVA provincial no es recuperable en Columbia Británica, Saskatchewan y Manitoba. Sin embargo, se aplican numerosas exenciones en acuicultura.

Reformas en perspectiva

Canadá comparte un problema regulatorio con otros países, en el sentido de que no existe una ley única que gobierne la industria. Como se discutió, la acuicultura está regulada por la Ley de Pesca federal y por un mosaico de otras regulaciones y sistemas de gobernanza en diferentes escalas en las provincias clave productoras de acuicultura. Hay hasta 17 departamentos y agencias federales y provinciales involucrados en la regulación de la acuicultura. El gobierno, la industria y las organizaciones no gubernamentales están de acuerdo que no tener un marco legislativo y

reglamentario federal único para la acuicultura es un problema importante. El Comité del Senado comparó desfavorablemente el sistema regulatorio ineficaz de Canadá con los de Escocia y Noruega, donde se establecen objetivos de producción nacional, los procesos de concesión de licencias son simplificados y rápidos, y donde las regulaciones se consolidan en una sola pieza de legislación.

Esta regulación de naturaleza compleja, fragmentaria y deficiente en muchos aspectos no propende a la sustentabilidad de la industria y/o ambiental (Lee and de Repentigny, 2019). Las regulaciones están diseñadas principalmente para mitigar los impactos ambientales, pero no son preventivas y dan un margen de maniobra considerable a la industria. El papel del DFO se limita principalmente a revisar el autocontrol de la industria e intervenir cuando se informa de un problema. Si bien los AAR solo han estado en vigor durante unos pocos años y, por lo tanto, es difícil evaluar su efectividad, es probable que no ofrezcan suficientes salvaguardas, ya que adoptan el modelo de mitigación estándar insuficiente de la antigua ley ambiental canadiense.

La idea de una Ley de Acuicultura federal se ha debatido durante años. Sin embargo, la jurisdicción compartida de la industria entre los gobiernos federal y provincial agrega una capa de complejidad a cualquier redacción legislativa futura. Para complicar aún más las cosas, los poderes divididos se comparten de manera diferente entre los dos niveles de gobierno en algunas provincias, lo que dificulta la navegación por el marco regulatorio. Tras una reunión del Consejo Canadiense de Ministros de Pesca y Acuicultura en diciembre de 2018, se acordó el desarrollo de una Ley de Acuicultura federal que mejore la transparencia del sector, facilite la adopción de mejores prácticas, y brinde mayor consistencia y certeza a la industria.

El DFO ha tomado ciertas medidas con respecto a la legislación acuícola propuesta. En 2020, el DFO publicó un documento de debate titulado Propuesta de Ley Canadiense de Acuicultura, que describió los elementos clave y las autoridades que se incluirían en la propuesta de Ley Federal de Acuicultura. En noviembre de 2020, el DFO anunció que el Secretario Parlamentario del Ministro de Pesca, Océanos y la Guardia Costera de Canadá serían responsables de comprometerse con los grupos indígenas en Columbia Británica, la industria de la acuicultura y las partes interesadas ambientales para la transición de la acuicultura de red abierta en BC, aunque no se ha especificado a qué estaría haciendo la transición la industria. Se esperaba que los resultados del proceso de participación se presenten al ministro en un informe provisional a fines de 2021, lo que brindará orientación sobre el camino a seguir.

La división inconsistente de poderes con respecto a la industria de la acuicultura en Canadá agrega una capa de complejidad regulatoria que podría desalentar la expansión de la industria. El objetivo del gobierno federal de hacer la transición de la acuicultura en corrales abiertos en British Columbia potencialmente podría generar incertidumbre adicional para los productores de acuicultura en esa provincia y en otras regiones del país, ya que no está claro en este momento cómo sería esta transición, a qué plazo debería adherirse y cuál podría ser el costo de esta transición para la industria (Lafrance, 2021).

3 Producción y regulación en Chile

En Chile, la actividad acuícola está normada de manera general por la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA en adelante). Esta ley exige a los productores contar con una concesión de acuicultura, referida simplemente como concesión o licencia para efectos del informe, que les permite el uso y goce del bien nacional necesario para la actividad. La concesión se basa en dos autorizaciones. La primera autorización, emitida por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura del Ministerio de Economía, es necesaria para operar una instalación de acuicultura y especifica ciertos requisitos técnicos. La segunda autorización, expedida por el Ministerio de Defensa, se refiere al área física que puede ser explotada (o permiso para usar áreas marítimas nacionales para la producción acuícola).²⁹

El uso de la licencia está restringido a un área geográfica específica, a especies definidas y a un límite específico de producción o densidad de población. Las licencias otorgadas después de abril de 2010 se otorgan por 25 años y son renovables por períodos adicionales de 25 años siempre y cuando la mayoría de los Informes Ambientales (INFAs) sean favorables.³⁰ Las licencias otorgadas antes de abril de 2010 se otorgaron por períodos indefinidos. Los titulares de la licencia deben comenzar a operar dentro de un año de recibir una licencia y una vez que la operación ha comenzado, el titular de la licencia no puede detener o suspender la producción por un período superior a dos años consecutivos. Sujeto a ciertas excepciones, los titulares de licencias deben mantener niveles operativos mínimos de no menos del 5% de la producción anual especificada en la RCA (Resolución de Calificación Ambiental).

Las licencias son transables, divisibles, transferibles, transmisibles y susceptibles de todo negocio jurídico. Estas actividades de comercio de licencias en Chile están reguladas por la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA) y controladas por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura del Ministerio de Economía. Los titulares de licencias deben pagar tarifas anuales de licencia al gobierno chileno y pueden vender o alquilar sus licencias.

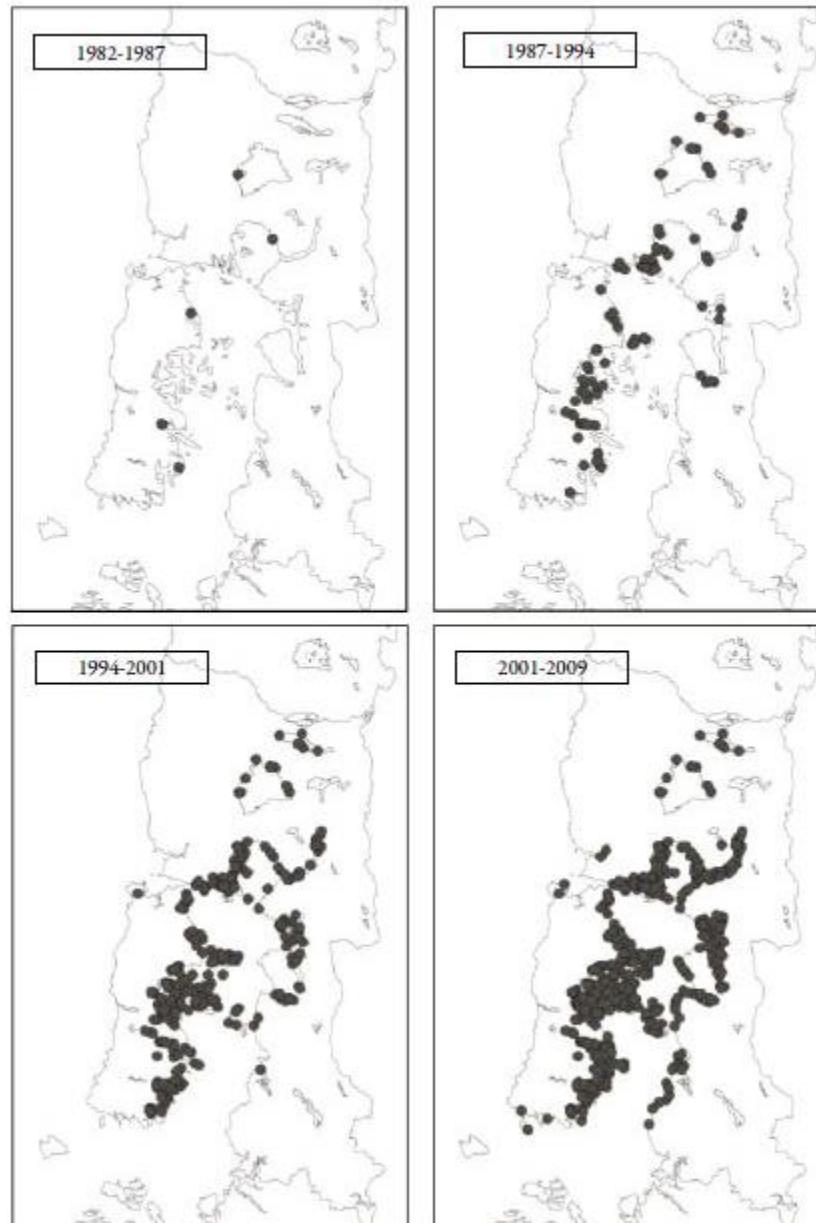
La Figura 8 muestra un mapa con la evolución de las concesiones salmoneras para la Región de Los Lagos. Se puede ver el fuerte crecimiento de la acuicultura a fines de los años 90 y en el principio del presente siglo. La aparición del virus ISA en el año 2007 significó un punto de quiebre en la industria en muchas dimensiones, incluyendo la regulación de la actividad. El virus ISA apareció en la Región de Los Lagos y escaló a una epidemia que afectó tres regiones (Bustos, 2012). Producto de esta crisis, la autoridad estableció un espacio de diálogo y trabajo conjunto con los actores

²⁹ Las actividades de acuicultura están sujetas a diferentes autorizaciones gubernamentales según se desarrollen en instalaciones interiores privadas de agua dulce (es decir, criaderos) o en instalaciones construidas sobre bienes públicos como lagos o ríos (licencias de agua dulce) o en el mar (licencias de agua de mar).

³⁰ Ley 20.434 Ministerio De Economía; Fomento y Turismo; Subsecretaría De Pesca 08-abr-2010

relevantes del sector, la Mesa del Salmón. Finalmente, el gobierno implementó varias medidas que generaron un nuevo marco institucional de regulación.

Figura 8 - Evolución de las concesiones salmoneras para la Región de Los Lagos, Chile



Fuente: Bustos (2012) con datos de SERNAPESCA

Las modificaciones a la ley como consecuencia de la epidemia, principalmente la Ley N° 20.434 de 2010 y N° 20.657 de 2013, junto con nuevos reglamentos y resoluciones administrativas, constituyeron un marco regulatorio significativamente diferente al que existía. Con relación a las licencias, se creó la figura de agrupación de concesiones, se limitó el período de concesión, y se implementó como exigencia para solicitar una concesión presentar una caracterización preliminar del sitio (CPS) como requisito para la evaluación ambiental de la solicitud respectiva. Además, se modificaron varios reglamentos; por ejemplo, la Res. Ex. N° 3612/2009 fija criterios y la metodología

para el informe ambiental sobre la condición aeróbica (INFA) que debe entregar el titular de una concesión acuícola de salmónidos una vez al año.

Además, los proyectos de engorda de salmónidos cuya producción anual sea igual o superior a 35 toneladas, a través de un sistema intensivo, deben someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.³¹ La identificación de las partes, obras y acciones de un proyecto, así como de sus emisiones, efluentes, residuos, explotación, extracción, uso o intervención de recursos naturales, mano de obra, suministros o insumos básicos y, productos y servicios generados, según correspondan, forman parte de la descripción del proyecto, tanto en una Declaración de Impacto Ambiental como en un Estudio de Impacto Ambiental. A partir de dicha descripción es posible realizar una primera identificación de los potenciales impactos ambientales, la que se complementa una vez conocidas las características del área de influencia.

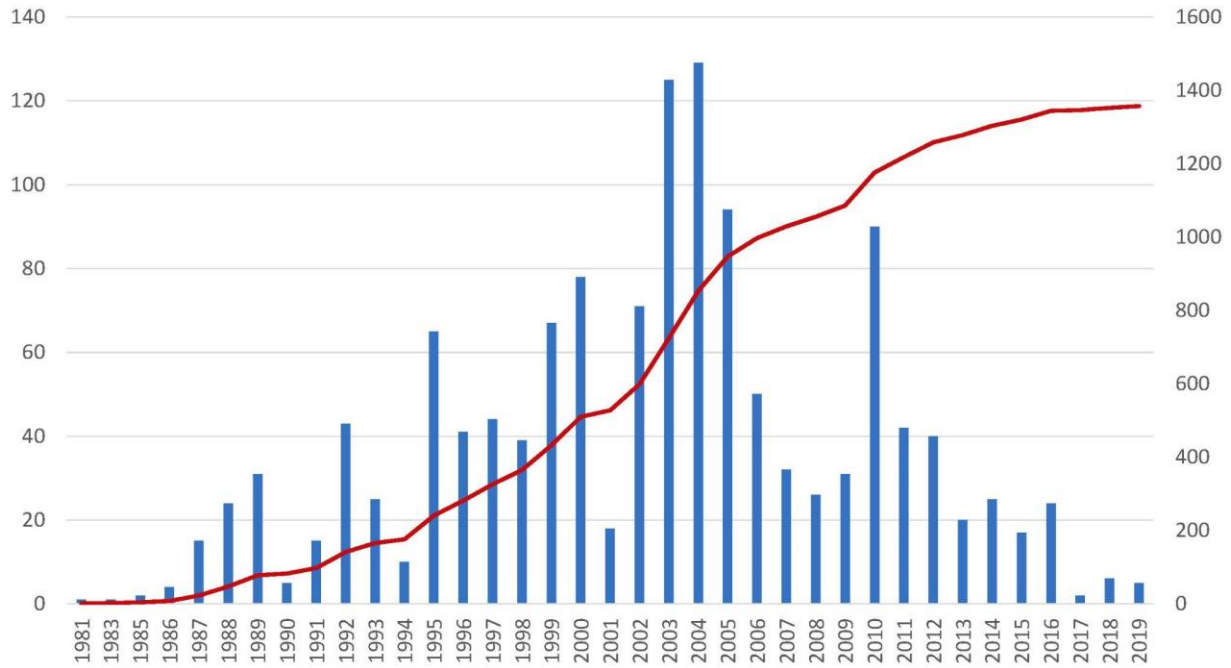
El análisis y estudios realizados a partir de las declaraciones o estudios de impacto ambiental que deben llevar a cabo los centros de engorda de salmónidos antes de comenzar su operación pueden asimilarse a un análisis de capacidad de carga ambiental del sitio en el que se ubicarán. Estos análisis derivan en la biomasa máxima permitida que queda establecida en la RCA de cada centro de engorda.

La Figura 9 muestra la evolución del número de concesiones de acuicultura de salmónidos en el tiempo. Como se puede observar, la mayoría de las concesiones fueron entregadas en la segunda mitad de la década de los 90 y la primera mitad de la década de los 2000. Desde la irrupción del virus ISA, el otorgamiento de nuevas concesiones disminuyó fuertemente con la excepción del año 2010 donde se entregaron 90 concesiones.

Si bien el total de concesiones alcanza las 1.357, cada año se utilizan menos de 500 debido a varias razones, una de las cuales es la exigencia de ciclos de descanso por la normativa sanitaria. Otras no se utilizan porque su pequeño tamaño o escasa profundidad las ha vuelto no económicas. La Figura 10 muestra el detalle de centros activos por año, entendidos como aquellos centros con INFA evaluados. Más aún, usando el mismo criterio, se observa que desde el año 2010 se han utilizado 1151 concesiones, que corresponden a un 85% del total. Es decir, existen al menos 200 concesiones que no han sido utilizadas y que probablemente no tienen condiciones adecuadas para una producción económicamente viable.

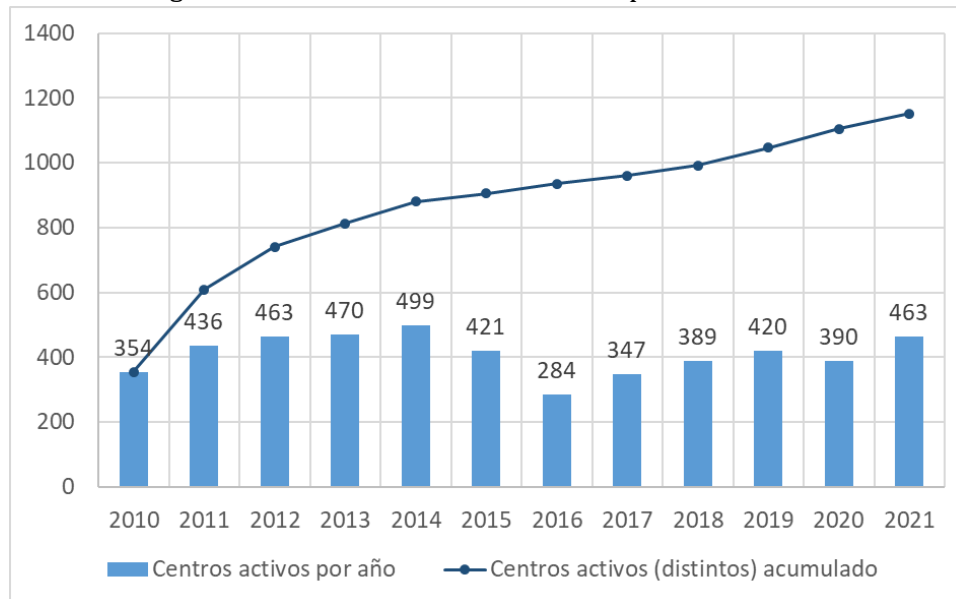
³¹ Según lo establecido en el artículo 3° letra n) numeral n.3. del Reglamento del SEIA.

Figura 9 - Evolución de las concesiones de acuicultura de salmónidos en Chile



Fuente: elaboración propia a partir de listado de concesiones de acuicultura de salmónidos por agrupación de concesiones en las regiones X, XI y XII (agosto 2021), SUBPESCA.

Figura 10 - Número de centros activos por año en Chile

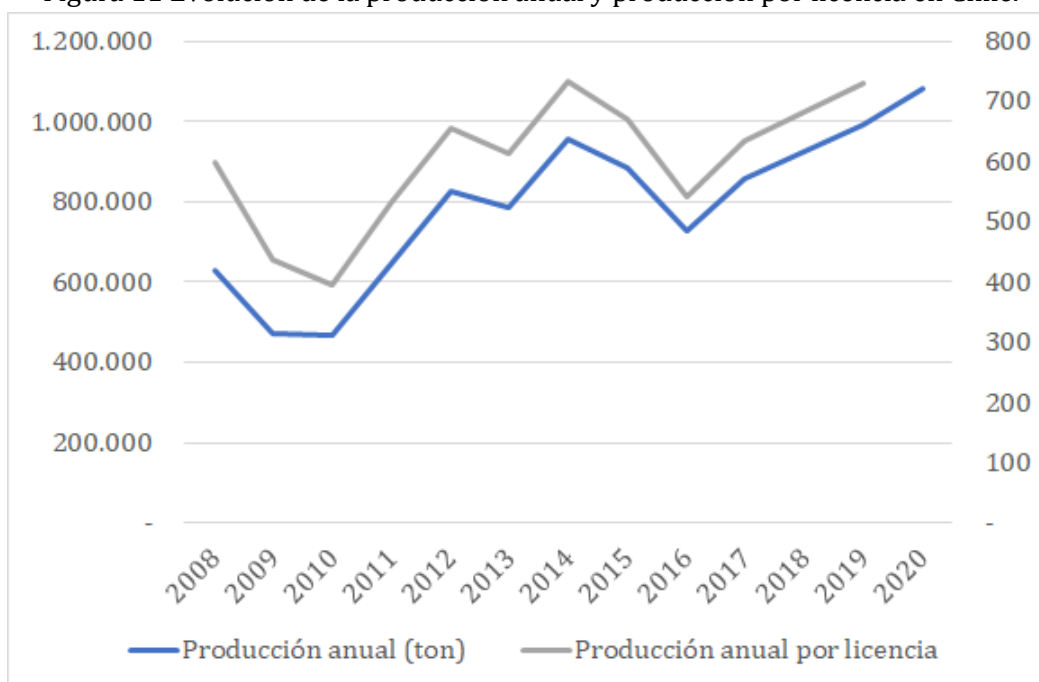


Fuente: INFAs evaluadas desde abril 2010 hasta diciembre 2021. SERNAPESCA.

Finalmente, el análisis de la evolución de la producción en los últimos 10 años, junto con el número de licencias, da luces sobre la manera en que ha crecido la industria. La Figura 11 muestra la evolución de la producción anual y la producción promedio por licencia.

El análisis y la regulación descritos anteriormente muestran que el número de licencias se ha mantenido estable en los últimos años y que, por lo tanto, no ha habido un crecimiento en el margen extensivo.

Figura 11 Evolución de la producción anual y producción por licencia en Chile.



Fuente: elaboración propia sobre la base de información de SERNAPESCA. Nota: la producción por licencia que se muestra es por licencia existente y no por licencia utilizada.

3.1 Sistemas Regulatorios: Densidades y Porcentaje de Reducción de Siembra

El margen intensivo de producción está regulado principalmente a través de reglamentos y normativas, que, dependiendo de factores ambientales, sanitarios y de producción, determinan un número máximo de peces a sembrar para cada centro.

La regulación vigente contempla dos regímenes para determinar el número máximo de peces a sembrar: densidades de cultivo y porcentaje de reducción de siembra. Cada uno de los regímenes fija el número máximo de peces a sembrar, pero usando consideraciones distintas en cuanto a criterios ambientales, sanitarios y productivos. Además, el régimen de densidades fija criterios basados a nivel de agrupación de concesiones, donde pueden influir las acciones de otros titulares, mientras que el sistema de porcentaje de reducción de siembra regula el total de peces por titular, aun cuando se opere en agrupaciones distintas. En las siguientes secciones se explica cada uno de los regímenes y luego se presenta una comparación más detallada.

3.1.1 Densidades Máximas

Para efectos de la ley, la densidad de cultivo es la biomasa de peces existente por área utilizada con estructuras de cultivo, al término de la etapa de engorda del ciclo productivo.³² La densidad se fija por semestre de acuerdo con el ciclo de descanso de cada agrupación de concesiones y se realiza en dos etapas. Primero, se clasifica cada agrupación de concesiones (AC) de salmónidos y se determina una densidad de cultivo común para la agrupación. Segundo, se determina el número máximo de peces a sembrar por estructura de cultivo de cada centro. Esta segunda etapa abre la opción de que centros ubicados en la misma agrupación de concesiones (AC) operen con densidades distintas.

La calificación a nivel de agrupación considera tres elementos: ambiental, sanitario, y productivo. El elemento ambiental considera la información ambiental (INFA), que reúne los antecedentes del estado ambiental de los centros de cultivo en esa AC, basados en la medición de las condiciones del agua, del área de sedimentación y del área circundante a cada centro de esta. La INFA de cada centro se mide una vez por ciclo, pero si la medición resulta negativa, se permite medir nuevamente. Según el porcentaje de centros de la AC que tiene favorable su última INFA del ciclo, se califica a la agrupación completa de acuerdo con el Cuadro 4.

Cuadro 4 - Calificación de la AC según elemento ambiental (INFA) en régimen de densidades

Elemento Ambiental - INFA	Puntaje	Valor
75,1% -100% de las concesiones que operaron con última INFA favorable	100	10%
50,1% - 75% de las concesiones que operaron con última INFA favorable	75	
25,1% - 50% de las concesiones que operaron con última INFA favorable	50	
0,0% - 25% de las concesiones que operaron con última INFA favorable	25	

Luego, el elemento sanitario corresponde al porcentaje de pérdidas, entendido como la diferencia, expresada en porcentaje, entre ejemplares ingresados en los centros de la AC y la suma de las cosechas efectivas y proyectadas.³³ Los puntajes y ponderación del elemento sanitario están resumidos en el Cuadro 5.

³² Artículo 58M, Decreto 319, 2002.

³³ Es necesario hacer una proyección porque la evaluación de la AC se realiza algunos meses antes de que termine el ciclo productivo. En este cálculo se exceptúan las cosechas que hayan sido ordenadas obligatoriamente por el Servicio por la aplicación de programas sanitarios específicos o como medida de emergencia.

Cuadro 5 - Calificación de la AC según elemento sanitario (pérdidas) en régimen de densidades

Elemento Sanitario - Pérdidas	Puntaje	Valor
0% a 5%	100	55%
Mayor a 5 hasta 15%	75	
Mayor a 15 hasta 17%	50	
Mayor a 17 hasta 20%	25	
Mayor a 20%	0	

Finalmente, el elemento productivo es la proyección de siembra para el nuevo ciclo productivo y se evalúa de acuerdo con el Cuadro 6. En resumen, este elemento premia la reducción de la producción y castiga el crecimiento.

Cuadro 6 - Calificación de la AC según elemento productivo (proyecciones de siembra) en régimen de densidades

Elemento Productivo - Proyecciones de siembra	Puntaje	Valor
0% a 60% respecto abastecimiento periodo anterior	160	35%
Mayor a 60 a 80% respecto abastecimiento periodo anterior	120	
Mayor a 80 a 100% respecto abastecimiento periodo anterior	100	
Mayor a 100 a 103% respecto abastecimiento periodo anterior	40	
Mayor a 103 a 106% respecto abastecimiento periodo anterior	-40	
Mayor a 106% respecto abastecimiento periodo anterior	-100	

Según el puntaje ponderado obtenido en estos tres criterios se calcula el puntaje de clasificación de Bioseguridad, que determina la densidad a utilizar en todos los centros de la Asociación de Concesiones acogidos a la norma de densidades (que no son todos), de acuerdo con el Cuadro 7.

Cuadro 7 - Máxima densidad permitida por jaula en una ACS según nivel de bioseguridad. Chile

Puntaje clasificación bioseguridad	Nivel de Bioseguridad	Densidad permitida en cada jaula de la ACS
> 90	Alta	Salar: 17 kg/m ³ Trucha: 12 kg/ m ³ Coho: 12 kg/m ³

> 80 - 90	Media	Salar: 15 kg/m ³ Trucha: 11 kg/ m ³ Coho: 11 kg/m ³
> 70 - 80	Baja 1	Salar: 13 kg/m ³ Trucha: 10 kg/ m ³ Coho: 10 kg/m ³
> 60 - 70	Baja 2	Salar: 11 kg/m ³ Trucha: 8 kg/ m ³ Coho: 8 kg/m ³
> 50 - 60	Baja 3	Salar: 8 kg/m ³ Trucha: 6 kg/ m ³ Coho: 6 kg/m ³
< 50	Baja 4	Salar: 4 kg/m ³ Trucha: 3 kg/ m ³ Coho: 3 kg/m ³

Una vez definida la densidad a utilizar por la ACS, el número de peces por titular y para cada centro se calcula multiplicando dicha densidad por el volumen de la jaula y dividiendo por el peso esperado a la cosecha (determinado en el reglamento) y el porcentaje de sobrevivencia.

Finalmente, cuando la agrupación obtiene una clasificación en bioseguridad media o baja, la densidad de cultivo máxima común de la AC no se aplica para aquellos centros que individualmente hubieran obtenido una clasificación en bioseguridad alta (pérdidas < 5%). Para esos centros, la densidad máxima que se aplica está fijada por resolución y es mayor que la densidad máxima para el resto de la AC.

3.1.2 Porcentaje de reducción de siembra (PRS)

El segundo régimen para determinar la cantidad de peces a sembrar es denominado porcentaje de reducción de siembra. Este régimen fue creado en 2016, luego reformado sustantivamente en 2018. A diferencia del anterior, bajo esta norma se fija el número total de ejemplares de peces que será posible ingresar a los centros de cultivo del mismo titular en el próximo período productivo.³⁴ Cuando el titular tiene dos o más centros, puede distribuir con bastante libertad el total del número de peces a sembrar entre sus centros, cualquiera sea la agrupación a la que pertenezcan, con una limitación especial para la región XII.³⁵ Sin embargo, la autorización total

³⁴ Para los efectos del porcentaje de reducción de siembra se considerará titular de las concesiones tanto a aquel a quien se haya otorgado la concesión como al controlador del grupo empresarial en el que se encuentre la persona jurídica a quien se le otorgó la concesión en los términos previstos en el artículo 96 de la ley 18.045.

³⁵ La siembra total se autoriza por separado por la región XII, y de la suma de las regiones X y XI. La distribución de la siembra total autorizada para la suma de las regiones X y XI podrá realizarse con libertad entre los centros de cultivo ubicados en tales regiones, aunque respetando la capacidad máxima de cada centro. En cambio, la siembra autorizada para la XII región sólo puede distribuirse entre los centros de cultivo ubicados en ella.

se refiere sólo a la siembra de un semestre y solo puede ser distribuida entre centros que inician producción en ese mismo semestre.

La cantidad de peces a sembrar se expresa como un porcentaje en relación con el número sembrado en esos mismos centros en el período de producción inmediatamente anterior, de acuerdo con el desempeño en los siguientes tres ámbitos:

- Pérdidas (mortalidad) del o de los centros de cultivo del mismo titular,
- Indicadores sanitarios de todos los centros de cultivo del mismo titular, asociados a una enfermedad o infección sometida a un programa específico de control, que se vean deteriorados en la medida en que aumentan los niveles de biomasa.
- Indicador de consumo de antibióticos para la producción de especies salmónidas en un período productivo.

El criterio de “pérdidas” está influido significativamente por la genética de las ovas, el cuidado de los smolts, la calidad de la alimentación y la calidad de la gestión operativa de los centros. También puede estar influenciado por externalidades sanitarias y medio ambientales, pero en ningún caso podría afirmarse que las pérdidas dependen sólo de dichas externalidades.

Si es primera vez que un titular o grupo controlador opta por la regulación PRS en el semestre de cálculo que corresponda, debe disminuir la cantidad de peces de acuerdo con las pérdidas y el promedio porcentual de jaulas tratadas por inmersión con productos farmacológicos para el control de caligidosis (PPJT). Esta evaluación, llamada etapa 1, se resume en el Cuadro 8.

En caso de que el titular o grupo controlador ya se encuentre operando bajo la medida de PRS, podrá acceder a la Etapa 2, que permite crecimiento en ciertos casos. Esta etapa considera además el indicador de consumo de antibióticos (ICA) de acuerdo con el Cuadro 9.

Cuadro 8 - Evaluación etapa 1 en régimen de proyección de siembra (PRS)

Primer Indicador Sanitario	Etapa 1				
	Tramo de pérdidas				
	0 a 10%	10,1 a 14%	14,1 a 20%	20,1 a 25%	> a 25%
PPJT ≤ 50% / periodo productivo	-3%	-6%	-9%	-12%	-18%

PPJT > 50% / periodo productivo	-6%	-9%	-12%	-15%	-21%
---	-----	-----	------	------	------

Cuadro 9 - Evaluación etapa 2 en régimen de proyección de siembra (PRS)

Primer indicador sanitario	Etapla 2					Indicador de consumo de antibióticos (ICA)
	Tramo de pérdidas					
	0 a 10%	10,1 a 14%	14,1 a 20%	20,1 a 25%	> a 25%	
PPJT ≤ 50% / periodo productivo	3%	1%	-3%	-6%	-13%	300,1 a 600 gramos de antibiótico por tonelada producida
PPJT > 50% / periodo productivo	1%	0%	-5%	-9%	-16%	
PPJT ≤ 50% / periodo productivo	6%	3%	-2%	-5%	-10%	150,1 a 300 gramos de antibiótico por tonelada producida
PPJT > 50% / periodo productivo	3%	1%	-4%	-8%	-12%	
PPJT ≤ 50% / periodo productivo	9%	4%	-1%	-4%	-7%	0 a 150 gramos de antibiótico por tonelada producida
PPJT > 50% / periodo productivo	4%	2%	-3%	-6%	-9%	

Cuando el indicador de consumo de antibiótico (ICA) sea superior a 600 gramos de antibiótico por tonelada producida corresponderá aplicar la tabla asociada a la Etapa 1

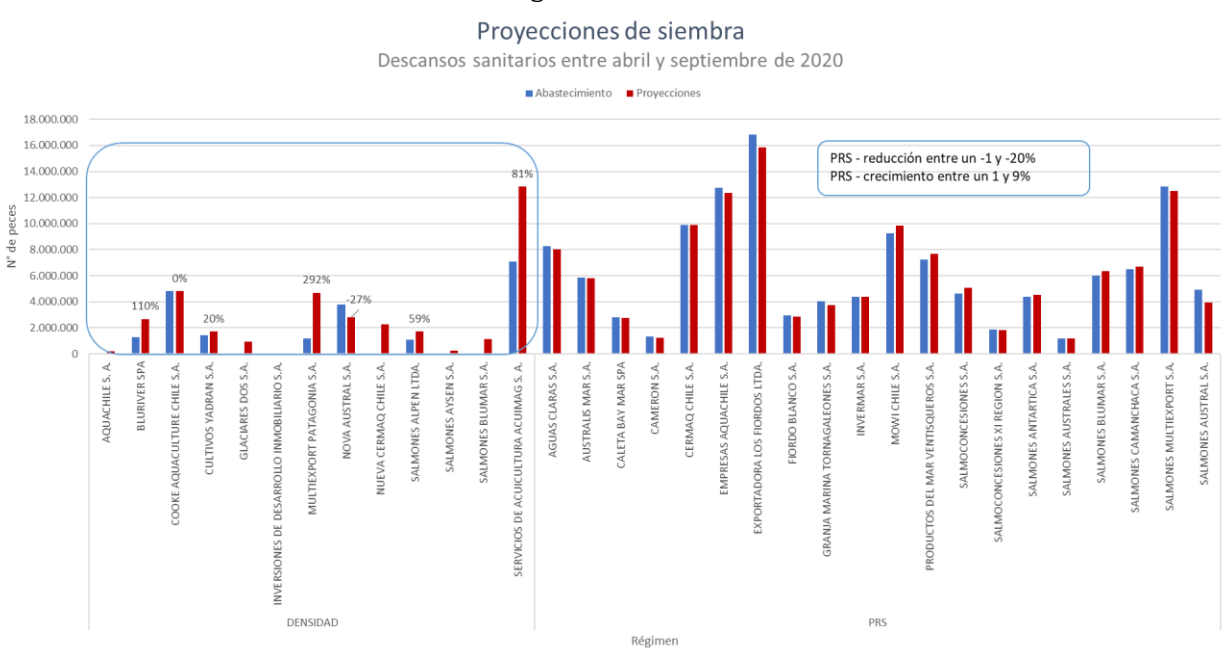
En conclusión y como resulta evidente de los Cuadros 5 a 9, los incentivos que proveen ambos regímenes regulatorios son distintos. El sistema de densidades apunta mayoritariamente a minimizar las pérdidas (bajo 5%) y no aumentar la producción. Por otro lado, el sistema de PRS apunta a permitir un crecimiento o al menos la mantención de la siembra si las pérdidas son inferiores a 14%, pudiendo aumentar la siembra hasta 9% por ciclo si el uso de antibióticos y productos farmacológicos para el control de caligidosis es especialmente bajo.

Producto de estas diferencias se da que un titular puede operar con una densidad máxima en una ACS cuya densidad producto de la evaluación con la otra norma sería la mínima. Incluso, la evaluación sanitaria promedio de sus propios centros puede no estar en el mejor tramo, pero al optar por el sistema de PRS un centro individual puede ser sembrado en una escala en la que no influye su desempeño sanitario individual.

Al observar el análisis de SERNAPESCA sobre la producción por régimen, se evidencia que la norma PRS se usa en mayor medida que la de densidades. Por ejemplo, para el caso de siembra de empresas con descanso entre abril y septiembre de 2020, el abastecimiento es aproximadamente 3,5 veces mayor bajo la norma PRS que de densidades.

Considerando que dos de las externalidades negativas más importantes de la producción son las emisiones de contaminantes ambientales y la contaminación del lecho marino, resulta cuestionable que la regulación no le de importancia alguna en el caso de PRS y una relevancia mínima para el caso de densidades (10% de ponderación, ver Cuadro 4).

Figura 12 - Abastecimiento y proyecciones de siembra por titular y/o grupo controlador, por régimen suscrito.



Fuente: INFORME TÉCNICO (D. Ac.) N° 782 de fecha 02 de septiembre de 2020. SUBPESCA.

3.2 Análisis de la Regulación en Chile

3.2.1 Crecimiento sustentable con el ambiente

El mecanismo principal para armonizar el crecimiento de la producción con el control de externalidades ambientales es condicionar el primero con un buen desempeño en el segundo. El objetivo es claro: lograr un crecimiento sustentable con el medio ambiente. Como se discutió, la preocupación principal en Noruega desde el punto de vista medioambiental es el contagio de parásitos en la población nativa de salmones, aunque el indicador usado también mide el contagio de ese mismo parásito hacia otros centros de cultivo, lo que constituye una externalidad sanitaria. Por lo tanto, según el nivel de parásitos (*sea-lice*), se puede aumentar, mantener o reducir la biomasa máxima permitida en un área.

En el caso de Chile, sin embargo, no hay tal claridad en la definición de crecimiento sustentable objetivo. Primero, existen dos normas diferentes para determinar la siembra máxima permitida y existe libertad para elegir entre ellas. La norma de densidades, en términos simples, determina la densidad máxima y el número de peces a ingresar por jaula según un informe ambiental del área, las

pérdidas de ejemplares en el ciclo productivo anterior y la intención de siembra. Por otro lado, la norma PRS determina el crecimiento o reducción de siembra del conjunto de centros bajo cada propietario directo según las pérdidas y el uso de antibióticos y productos farmacológicos del ciclo anterior.

Por un lado, el sistema de densidades apunta mayoritariamente a minimizar las pérdidas (bajo 5%) y penalizar el aumento de siembras. La penalidad surge porque, para crecer, se exige utilizar una densidad baja en el siguiente ciclo productivo, lo que es ineficiente o caro desde el punto de vista de costos. En cambio, el sistema PRS apunta a permitir un crecimiento o al menos la mantención de la siembra si las pérdidas son inferiores a 14%, cualquiera sea el uso de antibióticos y productos farmacológicos para el control de caligidosis (ver cuadro 9). Se insiste en que el criterio de “pérdidas” está influido significativamente por prácticas o hechos que no son externalidades sanitarias ni medio ambientales, en especial por la genética de las ovas, el cuidado de los smolts, la calidad de la alimentación y la calidad de la gestión operativa de los centros.

Como resulta evidente, las variables consideradas son distintas y, por lo tanto, los regímenes entregan incentivos diferentes. Los incentivos para mitigar externalidades sanitarias o medioambientales son débiles en el régimen más prevalente por lejos, que es el PRS. Esto implica que no hay un objetivo sanitario ni medioambiental claro en la regulación. Además, como se argumenta en la Introducción, las principales externalidades negativas de la producción de salmones son la emisión de gases contaminantes y la contaminación del lecho marino. Resulta cuestionable que la regulación no les de importancia alguna en el caso del régimen PRS y una relevancia mínima para el caso de densidades (10% de ponderación, ver cuadro 4).

3.2.2 Flexibilidad y capacidad de carga

La gran mayoría de los países productores utiliza la máxima biomasa permitida (MAB, por sus siglas en inglés) como variable para regular la carga en un sitio o área geográfica. Chile, en cambio, determina un máximo número de peces a sembrar al inicio del ciclo lo que aproximadamente equivale a fijar la biomasa al momento de la cosecha.

La principal diferencia entre ambos sistemas es que un sistema con una máxima biomasa permite ingresar y cosechar ejemplares en más de un momento del ciclo productivo. El sistema que opera en Chile solamente permite un momento de ingreso de ejemplares. Evidentemente el sistema de MAB permite una mayor flexibilidad, lo que se puede traducir en una mayor eficiencia productiva.

Finalmente, la máxima biomasa permitida en países como Noruega y Escocia varía según las condiciones y ubicación del área y características del sitio productivo. Es decir, la regulación toma en cuenta que distintos sitios tienen distintas capacidades de carga y por lo tanto no necesariamente la norma debe ser la misma. En Chile, la máxima biomasa está determinada principalmente por la densidad y siembra permitida, las cuales no dependen de la capacidad de carga del sitio específico.

3.2.3 Estrategia país y coordinación con *stakeholders*

Una diferencia importante entre los países, que se ve reflejada en la regulación, es la estrategia que adopta el país y la manera en que coordina y coopera con los *stakeholders* relevantes y la ciudadanía. La visión país de la industria en Chile es débil y no existe plan de largo plazo para la acuicultura.

El mejor ejemplo que ilustra esta observación es la diferencia entre Chile y Noruega. El gobierno de Noruega lleva años comprometido con el océano y su importancia para la economía y la sociedad. Hace más de 5 años tiene como objetivo central el desarrollo de una estrategia para contribuir lo máximo posible a la creación de valor y empleo de las industrias que operan en el océano. Por ejemplo, se ha comprometido con actualizar el plan estratégico cada 4 años, estableció un grupo con representantes de toda la industria y comunidades académicas para asesorar al ministerio, y financia desarrollo e investigación en el área.³⁶

En términos simples, Noruega está continuamente pensando cómo crecer y maximizar el valor que entrega la industria de la acuicultura de forma sustentable con el medioambiente. Buscan duplicar la producción en el corto plazo y quintuplicarla en el mediano plazo a través de un proceso que involucra la legislación, la planificación central y a todos los actores relevantes, incluyendo académicos, trabajadores y la ciudadanía. Otros países siguen un modelo similar, aunque a menor escala. En cambio, Chile carece de una visión estratégica y no tiene intenciones declaradas de buscar mantenerse como un líder de la industria a futuro.

3.2.4 Capacidad del sistema productivo

Debido a la variedad en la calendarización de los ciclos productivos y respectivos descansos, existe un uso variable de las licencias otorgadas. Una estimación simple muestra que alrededor de un 20% de las licencias no se utilizan y que cada año se utiliza menos de un 40%. Este resultado, junto con las opiniones recogidas de diferentes actores de la industria, permite concluir que no existe una estimación de la verdadera capacidad de producción del sistema. Esta estimación es fundamental para planificar estratégicamente el desarrollo del sector en el mediano y largo plazo.

La estimación de la capacidad del sistema productivo es fundamental no solo para la planificación estratégica, sino además para entender y dimensionar las necesidades de regulación para hacer frente al principal desafío de la industria: las externalidades negativas que ésta produce, y que se discuten en detalle en la siguiente sección.

³⁶ Ver los informes del gobierno noruego “The Government’s commitment to the ocean and ocean industries” y “Havbruksstrategien - Et hav av muligheter”, ambos publicados el 2021.

4 Externalidades de la industria del Salmon de cultivo

En la teoría económica se entiende que un intercambio voluntario y sin distorsiones de bienes o servicios (una transacción) se realiza de modo tal que el comprador paga un precio menor o igual a su valoración de la última unidad que adquiere del bien (o servicio) y que el vendedor recibe un pago mayor o igual al costo en que incurrió para producir la última unidad que ofrece de dicho bien (o servicio). Si un kilogramo de salmón procesado se vende a USD 6,5 significa que los consumidores valoran el salmón a lo menos en ese valor y que a los productores les ha costado a lo más esa cantidad ponerlo a disposición del consumidor.

Además de permitir el intercambio, el sistema de precios de mercado cumple con una importante función informativa en la vida económica, pues guía la asignación de recursos económicos a sus usos más eficientes. Un precio de mercado alto –que puede significar una insuficiente producción o una alta demanda— da señales e incentivos a los productores a reasignar sus recursos económicos en la dirección de satisfacer ese exceso de demanda. Y cuando el sistema de precios opera sin distorsiones se produce una asignación socialmente eficiente de los recursos, situación que es deseable y sostenible.

En algunos mercados, sin embargo, el precio de mercado no refleja la valoración para la sociedad de consumir la última unidad de ese bien (o servicio) o los costos reales de producir la última unidad ofrecida. Hay varias razones por las cuales el sistema de precios puede no operar correctamente y no lograr una asignación eficiente de recursos. Entre ellas destaca la presencia de agentes con poder para influenciar por sí mismos los precios de mercado (p.e., un monopolio), la existencia de impuestos y subsidios, o la falta de información que permite a un agente tener ventajas sobre otro.

En este informe enfocamos otra situación de aquellas en la que el mercado por sí solo no produce un resultado socialmente deseable: la presencia de “externalidades”. Existe una externalidad en la economía toda vez que las actividades de un agente (consumidor o productor) afectan al bienestar de un tercero que no está involucrado en la transacción considerada y este tercero no paga ni es compensado por dicho efecto. Así, el precio de mercado no refleja cabalmente el valor para la sociedad como un todo de la producción y consumo del bien y la asignación de recursos es socialmente ineficiente.

Las externalidades pueden ser positivas o negativas. Una externalidad positiva permite, por ejemplo, que un productor se beneficie de la producción de otro. Un ejemplo clásico es el beneficio que entrega cualquier decisión individual que reduce la tasa de transmisión de una enfermedad infecciosa, como, por ejemplo, las vacunas. Una externalidad negativa, por el contrario, sucede cuando un agente no reconoce (ni paga) por los efectos negativos que produce en otros miembros de la sociedad. Un ejemplo de externalidad negativa son los costos ambientales derivados del transporte, donde los consumidores y/o los productores no pagan el costo de degradación ambiental ni la congestión.

En el caso de la industria salmonera –y sin perjuicio que pueda haber externalidades positivas—nuestro interés radica en la presencia de externalidades negativas, es decir aquella situación en que la producción se realiza con un costo social mayor que su costo privado. Hay varias razones que justifican el interés en identificar y medir de la manera más precisa posible las externalidades negativas. En primer lugar, identificar cuáles regulaciones son necesarias y efectivas para reducir los efectos de las externalidades y cuáles son inadecuadas e inducen mayores costos que beneficios sociales. En segundo lugar, acotar las especulaciones respecto del potencial costo social de la producción de salmón. En tercer lugar, establecer límites para las potenciales compensaciones que la industria debiera pagar por las externalidades negativas que cause. En cuarto lugar, informar a los análisis de responsabilidad social e impacto ambiental de las empresas salmoneras.³⁷

En mercados dinámicos –como es la acuicultura—y donde los cambios tecnológicos pueden ser sustanciales, las externalidades negativas pueden ser disipadas rápidamente (por ejemplo, cuando se obtiene una nueva vacuna contra cierto tipo de enfermedad contagiosa, como ocurrió en Noruega en 1999 y en Escocia en 1991, mientras que otras externalidades pueden aparecer inesperadamente (por ejemplo, como resultado no anticipable del uso de una nueva tecnología). Contar con una metodología de medición de externalidades de aplicación general permite tanto a la industria como a los reguladores adaptarse rápida y efectivamente a los cambios.

Este informe se enfoca en delimitar el potencial costo social de la producción de salmón en Chile a través de una revisión de la literatura académica y estudios. También pretende aportar al debate sobre cuáles regulaciones son necesarias y efectivas para reducir los efectos de las externalidades. Finalmente, enfatiza las áreas en las cuáles es urgente realizar más investigación y las metodologías posibles para realizarlo.

4.1 Regulación y externalidades

En principio, una buena regulación de un mercado debiera propender a que éste opere eficientemente y lleve al mejor uso social de los recursos; usando sus atribuciones, la autoridad puede usar diversas herramientas para lograr ese objetivo (impuestos o subsidios que corrijan distorsiones, exigencias administrativas de estándares de producción, restricciones operativas para reducir los riesgos en la producción o el consumo, etc.).

En teoría, el regulador debiera tener los conocimientos y la potestad de imponer las medidas necesarias para lograr que se produzca la cantidad socialmente deseable. En la práctica, la regulación perfecta no existe por muchas razones: la demanda no es estacionaria sino que fluctúa continuamente lo que hace difícil determinar la intervención óptima, el regulador tiene una capacidad limitada o insuficientes atribuciones para imponer la regulación deseada, existen asimetrías de información que impiden al regulador y al regulado alcanzar el óptimo, es posible que

³⁷ Crecientemente las empresas en países desarrollados están emitiendo informes de “environmental profit and losses”, que buscan medir el impacto ambiental de sus operaciones.

exista captura del regulador por los intereses económicos del regulado o por grupos de presión política, incapacidad de anticipar el dinamismo e innovación de los mercados, etc.

El hecho que sea difícil regular en forma perfecta no significa que se deba renunciar a ello; más bien indica que se debe tener una mirada pragmática y realista de los alcances de la regulación y, más importante aún, que se debe reconocer que la regulación es un proceso –no un conjunto fijo de normas y reglamentos—que está en continuo desarrollo y en el que el aprendizaje continuo de reguladores y regulados es la base del éxito.

Una consideración crucial, sin embargo, es que la regulación tiene costos de implementación y fiscalización, por lo que el análisis moderno enfatiza incorporar una perspectiva de costo-beneficio en la decisión de regulación. En el centro del análisis de costo-beneficio está la medición de externalidades y sus costos, pues ello determina la necesidad de que haya regulación (cuando los beneficios superan los costos de imponer la regulación) y, a la vez, permite la comparación de los potenciales beneficios de distintas alternativas regulatorias. Igualmente, el análisis de costo-beneficio de la regulación ha llevado a los países más avanzados a focalizar la regulación en aquella que tiene una mejor relación beneficio/costo y a desechar otras regulaciones que son de difícil monitoreo o inefectivas.

La regulación de la acuicultura en Chile ha sido promovida aduciendo, principal pero no exclusivamente, consideraciones de externalidades negativas ambientales o sanitarias, y se traduce mayoritariamente en restricciones a la localización y operación de las empresas salmoneras (p.e., régimen de densidades, PRS) y en exigencias de cumplimiento de estándares sanitarios (p.e., RESA, Programa Sanitario Específico de Vigilancia y Control, declaraciones de clasificación de mortalidad y Programa de Vigilancia Activa).

4.2 Externalidades en Acuicultura

Al igual que con cualquier sector productivo, existen costos y beneficios asociados a la acuicultura. El INE estima que en el año 2016 la salmonicultura generó más de 30 mil puestos de trabajo directos. Según el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, la producción de salmón creció fuertemente entre 2010 y 2015 y en menor grado desde entonces alcanzando actualmente aproximadamente un millón de toneladas. Esto impacta positivamente en el PIB y posiciona a la acuicultura como uno de los sectores con mayor valor de exportación del país. Sin embargo, a medida que la producción ha crecido, han crecido también las preocupaciones respecto de sus posibles impactos ambientales.

Las externalidades ambientales negativas generadas por la salmonicultura incluyen el impacto en el fondo marino donde caen las heces de los salmones en engorda, en el ecosistema y la biodiversidad local y regional y en la biósfera global. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este es un problema global y común a la producción de la gran mayoría de alimentos. Basados en la clasificación de Olaussen (2018) adaptada al contexto chileno, se organizan las externalidades en las siguientes categorías:

1. Impacto en el cambio climático de la biósfera global y cambio ambiental.

2. Contaminación y deterioro del fondo marino cercano a las jaulas, por efecto de las heces y otros desechos.
3. Impacto negativo en peces y otras especies del ecosistema acuático natural de la localidad y del cuerpo de agua afectado antes de que la dilución opere.
4. Impacto sobre cultivos acuícolas cercanos, ya sea de salmónidos de otras empresas o de otras especies.

Existe una posible categoría adicional relacionada con el uso de antibióticos para el tratamiento y prevención de la Septicemia Rickettsial del Salmón (SRS), que no es mencionada por Olausen (2018), pero que es relevante en la discusión en Chile. Sin embargo, no es evidente que exista un costo social externo importante del uso de antibióticos. De todas formas, discutimos el estado del arte respecto al potencial impacto de uso de antibióticos en el ambiente y salud humana.

En esta sección, describimos las principales externalidades de la salmonicultura y sus potenciales impactos. En el caso de las emisiones de gases de efecto invernadero, y otros factores que afectan el cambio ambiental, analizamos la evidencia disponible para comparar las emisiones generadas por la salmonicultura con la de otras proteínas. En el caso de la contaminación en el fondo marino, el impacto negativo en otras especies y el uso de antibióticos, nos basamos fuertemente en la reciente revisión realizada por Quiñones et al. (2019).

4.3 Cambio ambiental

El cambio climático global se ha vuelto cada vez más evidente y está ampliamente documentado en varios informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). En el último reporte se indica que éste es, sin lugar a duda, producto de la actividad humana y que un calentamiento global de 1,5°C ya es inevitable (IPCC, 2022). A menos que se logre una reducción significativa en las emisiones de gases de efecto invernadero en las próximas décadas, el aumento de la temperatura promedio durante el siglo XXI será significativo, lo que se traducirá en mayor frecuencia de eventos climáticos extremos, con un fuerte impacto negativo en múltiples aspectos de la vida humana.

Si bien la quema de combustibles fósiles y emisión de CO₂ es la principal causa del cambio climático global, los científicos han llamado a mirar de manera más integral el impacto de la actividad humana en el ambiente. Primero, como resume el equipo de comunicaciones de Ciencias de la Tierra de la NASA, ciertos gases en la atmósfera bloquean el calor y no permiten que escape. Los gases de larga vida (que se quedan de manera semi-permanentemente) en la atmósfera y no responden física o químicamente a los cambios en la temperatura se describen como “forzantes” del cambio climático. En cambio, otros gases como el vapor de agua, que responden física o químicamente a los cambios en la temperatura, son considerados “retroalimentadores”.³⁸

³⁸ El resumen completo, que es parcialmente reproducido en este informe, está disponible en el sitio “Global Climate Change: Vital Signs of the Planet” de la NASA (<https://climate.nasa.gov>)

Los gases que contribuyen al efecto invernadero incluyen:

- Vapor de agua. Es el gas de efecto invernadero más abundante, pero, principalmente, actúa como retroalimentador del clima. El vapor de agua aumenta a medida que se calienta la atmósfera de la Tierra, y también incrementa la probabilidad de nubes y precipitaciones, lo que hace que estos sean algunos de los mecanismos de retroalimentación más importantes del efecto invernadero.
- Dióxido de carbono (CO₂). Se libera a través de procesos naturales como la respiración y las erupciones volcánicas, así como mediante actividades humanas como la deforestación, el cambio en el uso de los suelos y la quema de combustibles fósiles, por ejemplo, para el transporte. Es el gas más importante de larga duración “forzante” del cambio climático.
- Metano. Es un gas hidrocarburo producido por fuentes naturales y por la actividad humana, como la descomposición de desechos en vertederos, la agricultura (en especial el cultivo de arroz), la digestión de rumiantes y el manejo del estiércol de ganado. A escala molecular, el metano es un gas de efecto invernadero mucho más activo que el dióxido de carbono, aunque mucho menos abundante en la atmósfera.
- Óxido nitroso. Es un poderoso gas de efecto invernadero que se produce debido a las prácticas vinculadas con el cultivo del suelo, en especial el uso de fertilizantes comerciales y orgánicos, la incineración de combustibles fósiles, la producción de ácido nítrico y la quema de biomasa.
- Clorofluorocarbonos (CFC). Son compuestos sintéticos de origen enteramente industrial que fueron utilizados en diversas aplicaciones. Su producción y emisión a la atmósfera están ahora muy reguladas mediante tratados internacionales, ya que contribuyen a la destrucción de la capa de ozono. También son gases de efecto invernadero.

Investigaciones recientes muestran que el sistema alimentario es un importante impulsor del cambio climático, emitiendo una cuarta parte de todas las emisiones de gases de efecto invernadero. También es responsable de tres cuartas partes de la eutrofización (acumulación excesiva de residuos orgánicos en cuerpos de agua) a nivel mundial (Poore y Nemecek, 2018). En este contexto, como argumenta Gephart et al. (2021), los alimentos que provienen de ambientes acuáticos presentan una oportunidad para mejorar la alimentación global con menores impactos cargas ambientales, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas de poner fin al hambre (Objetivo 2), garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles (Objetivo 12) y conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos (Objetivo 14).

Antes de discutir la evidencia, es importante aclarar la diferencia entre la huella de carbono de un salmón y las emisiones generadas en su producción. La huella de carbono se refiere a la totalidad de gases de efecto invernadero emitidos directa e indirectamente en el ciclo de vida del salmón, incluyendo aquellos emitidos en la producción. Por ejemplo, las estimaciones de la huella de carbono del salmón cultivado incluyen, además del cultivo de salmón mismo, la producción del

alimento y las emisiones del transporte desde los centros de producción hasta el minorista en otro país.

Gephart et al. (2021) es uno de los estudios más recientes y completos del rendimiento ambiental de los llamados “alimentos azules”, es decir, aquellos provenientes del mar. Sobre la base de muchos estudios previos, ellos proporcionan estimaciones estandarizadas de las emisiones de GEI para alimentos azules, reportados por tonelada de peso comestible. Usan datos publicados sobre la actividad de 1.690 centros de cultivo y 1.000 registros pesqueros en todo el mundo que cubren 23 grupos de especies y que representan más del 70% de la producción mundial de alimentos azules. El estudio muestra que, dentro de los peces, el salmón se encuentra entre los que menos gases de efecto invernadero emite.

En promedio, la huella de carbono del salmón de acuicultura es de 5,1 kg de CO₂ equivalente por cada kilogramo de pescado comestible (como se discute más abajo, esto es aproximadamente la mitad de otros cultivos como tilapia o camarones, y un tercio de las capturas de mar abierto). Aparte de la producción directa de salmón de cultivo, el procesamiento del producto implica uso de energía en la mayoría de los casos, mientras que el transporte en los centros de cultivo representa un porcentaje menor de la energía utilizada en el ciclo de vida del salmón de acuicultura. El impacto más significativo en la huella de carbono ocurre cuando los salmones frescos son transportados por avión por distancias largas. Finalmente, considerando todo el ciclo de vida del salmón, la producción de alimentos para los salmones es uno de los procesos productivos que generan más emisiones.

Para estimar las emisiones generadas en la acuicultura, que efectivamente se pueden considerar una externalidad negativa atribuible a los productores, es necesario descontar la producción y transporte de insumos y el transporte al minorista. Según Poore y Nemecek (2018), las emisiones en la fase de acuicultura son un 58% de la huella de carbono total del ciclo de vida. Aplicando este porcentaje en la estimación anterior, se obtiene una emisión de 3 kg de CO₂ equivalente por cada kilogramo comestible. Este número es consistente con lo reportado por Gephart et al. (2021).

4.4 Comparación con otros productores de proteínas

Dentro de las distintas alternativas de alimentación según sea alimento animal o vegetal, existe una gran variedad de potenciales impactos ambientales y externalidades. En un estudio reciente, Poore y Nemecek (2018) presentan una base de datos globalmente reconciliada y metodológicamente armonizada sobre la variación en los múltiples impactos de los alimentos. El conjunto de datos cubre aproximadamente 38.700 centros de cultivo comercialmente viables en 119 países y 40 productos que representan el 90% del consumo mundial de proteínas y calorías. El estudio considera cinco importantes indicadores de impacto ambiental: uso de la tierra; extracciones de agua dulce ponderadas por la escasez local de agua; y emisiones de GEI, acidificantes y eutrofizantes.

Todos estos índices son parte de los denominados “límites planetarios”. Un grupo amplio de científicos de distintas universidades y centros de investigación en el mundo identificó nueve procesos que regulan la estabilidad y la resiliencia del sistema de la Tierra: "sistemas de soporte de

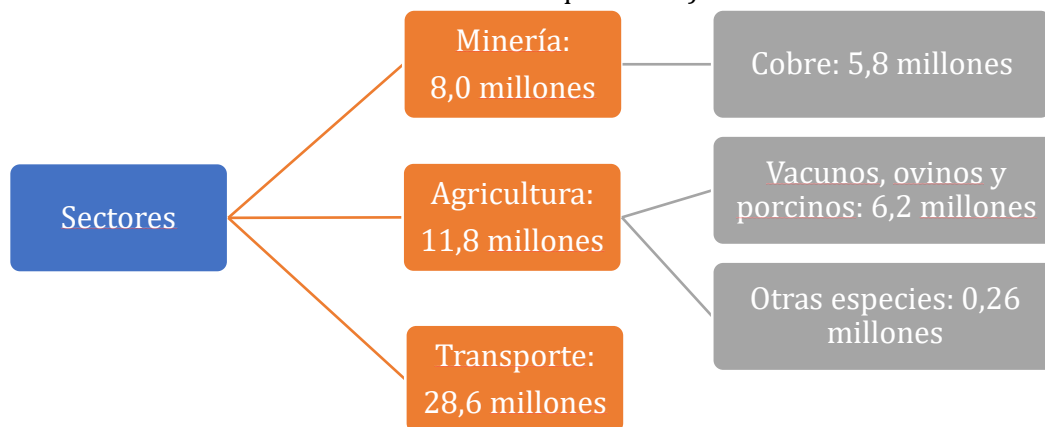
vida planetario" (Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015a). El estudio propone límites planetarios cuantitativos de precaución dentro de los cuales la humanidad puede continuar desarrollándose y prosperando, también conocido como un "espacio operativo seguro". Sugiere que cruzar estos límites aumenta el riesgo de generar cambios ambientales abruptos o irreversibles a gran escala que podrían convertir el sistema de la Tierra en estados perjudiciales o catastróficos para el desarrollo humano.

Basados en el estudio de Poore y Nemeck (2018) comparamos el rendimiento ambiental, medido por los indicadores antes mencionados, de distintas proteínas.

4.4.1 Gases de Efecto Invernadero

La producción de casi todos los bienes físicos genera externalidades ambientales negativas. La situación de emisión de gases de efecto invernadero en Chile ha sido monitoreada por el Ministerio de Medioambiente. La Figura 14 resume las emisiones de algunos sectores productivos. Si bien la piscicultura no está explícitamente identificada en el inventario nacional de GEI, se puede deducir su aporte a partir de las estimaciones y comparaciones de Poore y Nemeck (2018).

Figura 14 - Emisiones de gases de efecto invernadero según actividad (en toneladas de CO2 equivalente)



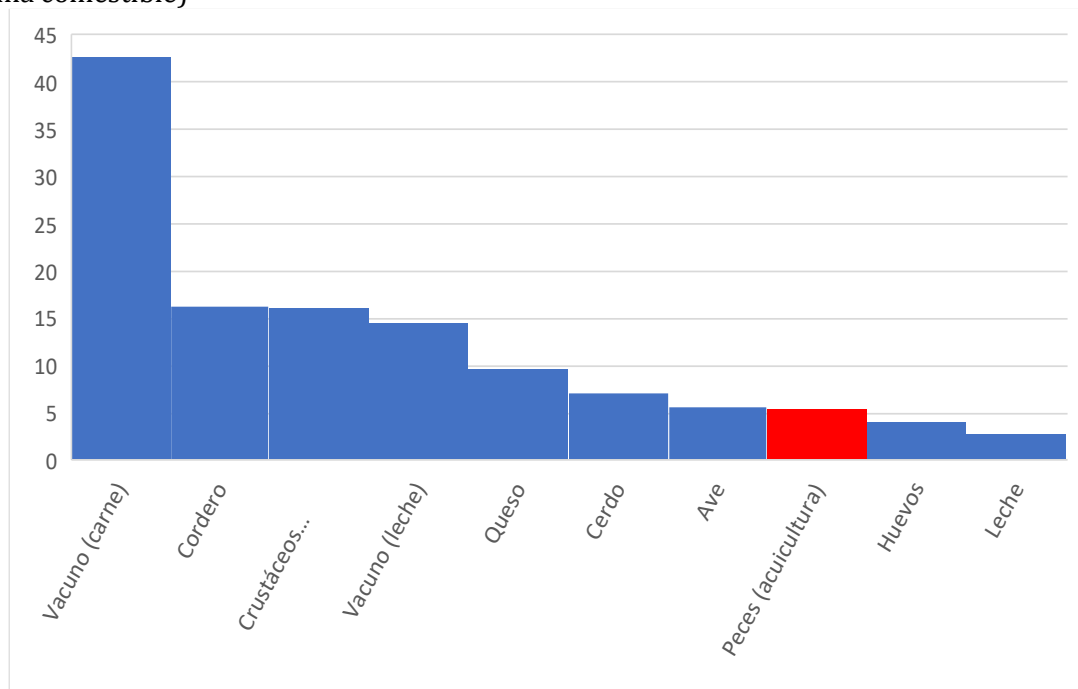
Fuente: Inventario nacional de gases de efecto invernadero y otros contaminantes climáticos 1990-2018. Ministerio de Medio Ambiente.

La Figura 15 resume la emisión de gases de efecto invernadero de un subconjunto de productores de proteínas. Como resulta evidente, la producción de carne de vacuno es mucho más contaminante que cualquier otra proteína animal. La producción de pescados de acuicultura está ubicada en el grupo menos contaminante de las proteínas animales, emitiendo 6 kilogramos de CO2 equivalente por cada 100 gramos de proteína. De hecho, el salmón contribuye menos a la emisión de GEI que otras especies de la acuicultura (p.e., los crustáceos)

Como muestra la Figura 15, el salmón se encuentra entre los productos alimenticios que menos emite gases de efecto invernadero, llegando a una décima parte de lo que se emite con el vacuno y un poco menos que un ave de corral. Es decir, si se llevara a cabo una reducción en la

producción de salmón y esta caída en la oferta de proteínas fuese compensada por aumentos en la producción de pollo, cerdo, o bovinos, la emisión de GEI aumentaría inevitablemente.

Figura 15 - Emisiones de gases de efecto invernadero (en Kg CO2 equivalente por 100 gramos de proteína comestible)



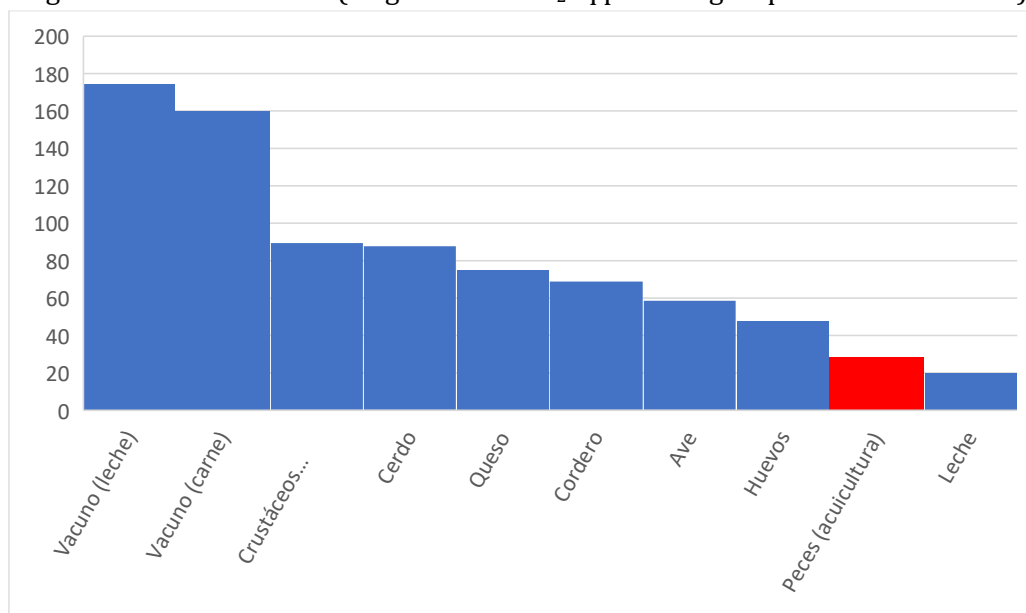
Fuente: Poore, J. and Nemecek, T. Reducing food’s environmental impacts through producers and consumers. *Science* 360, 987–992 (2018). Nota: “Vacuno (leche)” se refiere a la producción de carne de vacuno lechero.

Al momento de estimar la emisión de GEI de la acuicultura, un segundo elemento que se debe considerar son los volúmenes de producción de proteínas animales. En 2021 se produjeron en Chile alrededor de 750 mil toneladas de pollo, 585 mil toneladas de cerdo y unas 200 mil toneladas de carne de bovinos (ODEPA, Boletín de la Carne, mayo de 2022). Así, la producción de salmón de cultivo genera aproximadamente la misma cantidad total de GEI que la del pollo o del cerdo y menos de la mitad que el bovino. Resulta evidente concluir que, entre los productores de proteínas, la industria salmonera de Chile es una de las que menos contribuye al cambio climático a nivel global.

4.4.2 Otros contaminantes

La contribución a los GEI no es el único efecto ambiental que tiene la salmonicultura. La Figura 16 muestra otro indicador estándar de contaminantes, la acidificación del suelo por depósitos de SO₂. Nuevamente, la producción acuícola se sitúa entre aquellas que menos contamina, con niveles que son menos de un quinto de los vacunos y menos de la mitad del cerdo o las aves (medidos por unidad equivalente de proteínas comestibles)

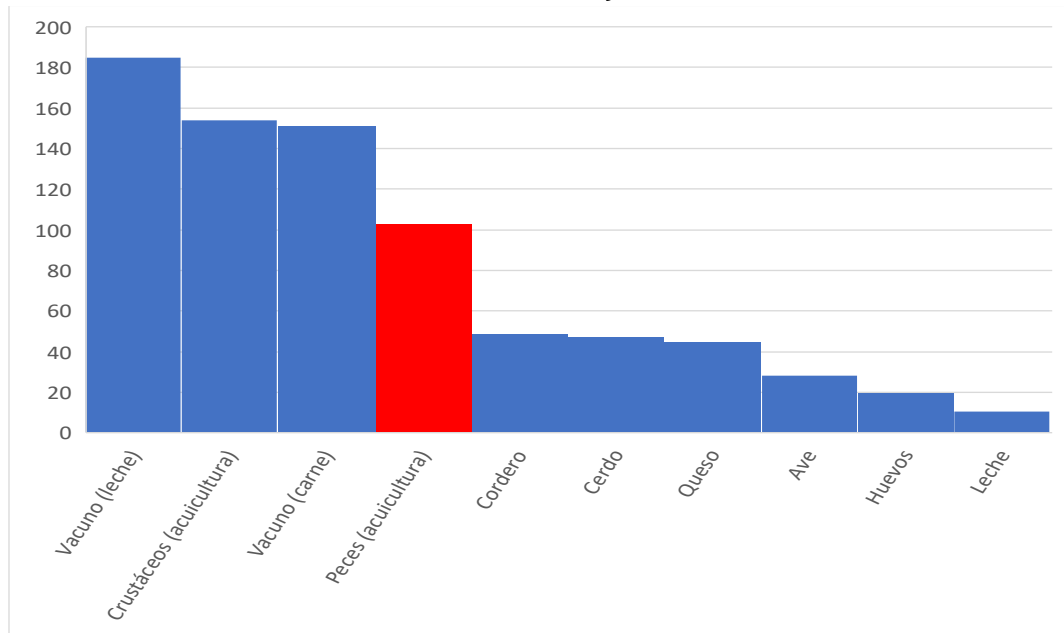
Figura 16 – Acidificación (en gramos de SO₂eq por 100 g de proteína comestible)



Fuente: Poore, J. and Nemecek, T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science* 360, 987–992 (2018).

Otra área donde la acuicultura genera efectos contaminantes se refiere a la eutrofización. La palabra eutrofización deriva del griego, y significa 'bien nutrido'. No es, por tanto, sinónimo o enteramente equivalente a contaminación. Ella denota el proceso natural o artificial de adición de nutrientes a los cuerpos de agua y los efectos resultantes de esta adición. El problema de la eutrofización radica en que un exceso de nutrientes en ecosistemas acuáticos permite la proliferación de algas y puede provocar la explosión demográfica de una sola especie de alga, que en muchos casos provoca la intoxicación de la fauna mayor. La explosión de algas que acompaña a la primera fase de la eutrofización provoca un enturbiamiento que impide que la luz penetre hasta el fondo del ecosistema. Como consecuencia, en el fondo se hace imposible la fotosíntesis, productora de oxígeno libre, a la vez que aumenta la actividad metabólica consumidora de oxígeno (respiración aeróbica) de los descomponedores, que empiezan a recibir los excedentes de materia orgánica producidos cerca de la superficie. De esta manera en el fondo se agota pronto el oxígeno por la actividad aerobia, y el ambiente pronto se vuelve anóxico. La radical alteración del ambiente que suponen estos cambios hace inviable la existencia de varias de las especies que previamente formaban el ecosistema.

Figura 17 – Eutrofización (en gramos de ion fosfato PO_4^{3-}) equivalente por 100 g de proteína comestible)



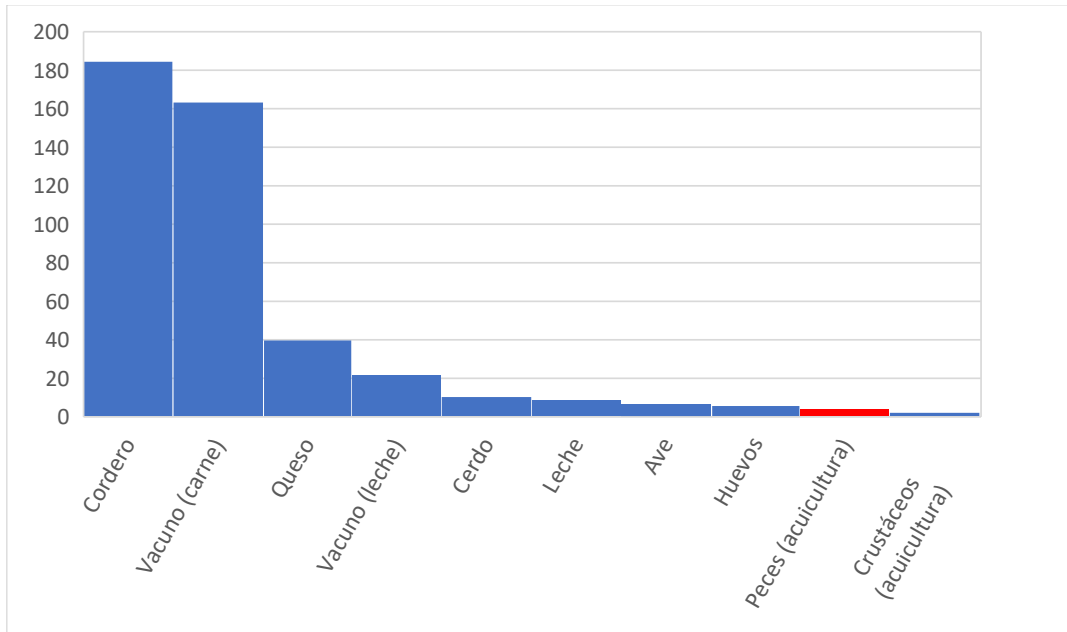
Fuente: Poore, J. and Nemecek, T. Reducing food’s environmental impacts through producers and consumers. *Science* 360, 987–992 (2018).

Como se aprecia en la Figura 17, entre los productores de alimentos la acuicultura produce un nivel de eutrofización bastante mayor que el cerdo, el cordero o las aves, aunque aún es sustancialmente menor que el vacuno. Si bien se considera que el potencial de eutrofización de la acuicultura es comparativamente alto, las condiciones de dilución en el ambiente marino pueden variar sustancialmente entre centros de cultivo dependiendo de las condiciones oceanográficas, la temperatura del mar, las corrientes marinas, etc. Conviene recordar que la regulación de la industria en Chile exige que haya condiciones aeróbicas adecuadas bajo las jaulas para poder operar las concesiones.

Finalmente, el cuarto criterio más comúnmente empleado en el análisis de los efectos negativos y externos en la producción de alimentos es el “uso del suelo”, es decir la apropiación de superficies para fines productivos que, de otro modo, estarían destinada a la conservación ambiental o a la habitación humana. En la Figura 18 se muestra que, a nivel internacional, el uso de suelo en la acuicultura –sumando instalaciones en el mar y en tierra—es verdaderamente minúsculo, en particular comparado con la carne de especies que requieren grandes extensiones de pastizales para su sustento (corderos y vacunos).

En resumen, al igual que con las emisiones de gases de efecto invernadero, se concluye que la industria salmonera es una de las que menos contribuye en Chile al cambio ambiental.

Figura 18 - Uso de Suelo (m^2 por 100 g de proteína comestible)



Fuente: Poore, J. and Nemecek, T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science* 360, 987–992 (2018).

4.5 Contaminación y deterioro del fondo marino

Un problema de la producción acuícola en el mar es que la alta densidad de peces en jaulas puede producir una cantidad importante de excrementos y alimentos no digeridos. Esto, a su vez, induce un aumento de la carga de materia orgánica en el fondo marino. Por ejemplo, es posible que una alfombra de lodo cubra el suelo marino, tanto debajo como alrededor de las instalaciones de acuicultura.

Debido a que los salmonicultores tienen incentivos económicos directos a minimizar el alimento no captado por los peces, ellos y sus proveedores de alimento han desarrollado sistemas para lograr ese fin. En la actualidad, gracias a nuevas tecnologías que aseguran un descenso lento de los alimentos hacia el fondo, que da más tiempo a los peces a consumir casi todo, el alimento no digerido ha disminuido a cerca de 1% del total provisto. Por esta razón, el deterioro del fondo marino está dominado por las heces o excrementos.

El principal impacto de la contaminación del fondo marino es la eutrofización. Naturalmente, la capacidad de dilución depende de las condiciones oceanográficas de cada centro de cultivo, la que a su vez depende de las características hidrodinámicas y de factores ambientales como la temperatura, la salinidad, el dióxido de carbono, el equilibrio de elementos, y la biodiversidad microbiana (Yang et al., 2008).

La eutrofización de canales y fiordos de la Patagonia chilena debido al cultivo de salmón ha sido reconocida como un riesgo ambiental y ha sido estudiada en los cuerpos de agua, aunque solamente debajo de jaulas (Quiñones et al., 2019). La manera en que la regulación se ha hecho cargo

de este riesgo es mediante prohibiciones e incentivos. Primero, los centros de cultivo tienen la obligación de entregar la Información Ambiental (INFA) periódicamente. Basado en criterios técnicos (por ejemplo, concentración medida de materia orgánica) se determina si el centro de cultivo presenta condiciones aeróbicas o anaeróbicas en cada ciclo productivo. En caso de tener condiciones anaeróbicas, no se permite operar hasta que se demuestre, a través de una INFA post anaerobia, que se reestablecieron las condiciones aeróbicas. Además, según el porcentaje de sitios con condición aeróbica, se permiten mayores densidades de siembra. De acuerdo con Sernapesca, alrededor del 79% de los centros presentó buenas condiciones aeróbicas en primera instancia en el periodo 2010 a 2021. Naturalmente estos números mejoran cuando se considera las INFA post anaerobia, ya que se debe demostrar que las condiciones aeróbicas se reestablecieron para reanudar operaciones.

Los estudios más recientes muestran que por cada tonelada de salmón comestible que se produce en acuicultura, en promedio, se depositan 120 kg de nitrógeno equivalente y 25 kg de fósforo equivalente (Gephart et al., 2021). En el caso de Noruega, se estima que se depositan entre 540 mil y 670 mil toneladas de material orgánico al año en los mares, pero al mismo tiempo, se ha encontrado que esto no genera problemas ambientales a las aguas costeras salvo en excepciones notabilísimas (Taranger et al, 2015; Hersoug, 2021).

Si bien existe entendimiento de cuánto material se deposita y el efecto en la disponibilidad de oxígeno, las implicancias y costos han sido muy poco estudiadas en Chile. Existen, además, condiciones oceanográficas locales que afectan la dilución de los efluentes. Como resume Quiñones et al. (2019) en una revisión de la evidencia científica, existen varios estudios en Chile que documentan impactos localizados de eutrofización bajo las jaulas de salmón. Sin embargo, no existen análisis más amplios del cuerpo de agua que permitan un mejor entendimiento del destino de los nutrientes de la salmonicultura, cubriendo el riesgo de que las corrientes estén acumulando heces de varios centros en algún lugar alejado de los centros, donde no se hacen mediciones INFA. Muchos impactos, sobre todo de largo plazo, no están siendo examinados ni monitoreados (Quiñones et al., 2019).

Otra preocupación radica en que existe evidencia que la eutrofización podría ser un problema persistente, aún si los contribuyentes a la eutrofización son reducidos sustancialmente. Varjopuro et al. (2014) revisan el impacto de las medidas de mitigación implementadas a partir del año 2007 para reducir los problemas de eutrofización en el mar Báltico. Encuentran que el periodo de recuperación ha sido más largo de lo que originalmente se esperaba porque la eutrofización conduce a una mayor sedimentación de material orgánico que, después de depositarse en las cuencas profundas del Mar Báltico, aumenta el consumo de oxígeno y, posteriormente, conduce a fondos y masas anóxicos de aguas profundas.

Otras dos conclusiones de Varjopuro et al. (2014) son también importantes para nuestro estudio. En primer lugar, se encuentra que a pesar del compromiso de los interesados (autoridades y sector privado), tanto la toma de decisiones de política como su implementación suelen ser bastante lentas por múltiples factores, que van desde la dificultad de encontrar políticas implementables hasta la lentitud propia de las burocracias estatales. En segundo lugar, se encuentra también que existe

bastante heterogeneidad en las respuestas de cada lugar geográfico a las medidas de mitigación, lo que implica la necesidad de regular dependiendo de las condiciones oceanográficas de cada centro de cultivo o barrio. En el caso de Noruega, y comprensiblemente, se ha encontrado que algunas especies se ven negativamente afectadas por los efluentes de la salmonicultura en tanto que otras especies son inmunes o se han beneficiado de ellos (Haugland et al., 2021). Por ambas razones, la respuesta del ambiente a una mejoría de las condiciones de eutrofización toma tiempo y se requiere ser bastante perseverante para lograr cambios apreciables.

4.6 Impacto negativo en otras especies del ecosistema acuático

Los posibles impactos negativos de la salmonicultura en especies del ecosistema donde están emplazadas las jaulas se producen principalmente por escape de salmones. En los países del hemisferio norte, donde existen importantes poblaciones de salmones silvestres, este problema ha sido un desafío directo y claro por décadas.

Las causas de los escapes de salmones de los centros de cultivo son variadas e incluyen los daños causados por tormentas, mareas, depredadores marinos, y botes. Føre y Thorvaldsen (2021) encuentran que entre 2010 y 2018 los escapes totales en Noruega alcanzaron a unos 2 millones de ejemplares (menos de 0.05% de la masa total de salmones) y que la mayor parte se explica por unos pocos eventos de escapes masivos.³⁹

Evidentemente, los escapes causan pérdidas económicas directas a los acuicultores. Esto no constituye una externalidad ya que los productores internalizan dichas pérdidas. Por lo tanto, los acuicultores tienen claros incentivos a minimizar los escapes, lo que explica por qué éstos se hayan reducido en Chile y otras partes del mundo.

Sin embargo, los escapes también pueden afectar a otras especies –por ejemplo, por desplazamiento del salmón salvaje—lo que sí podría ser una externalidad. Los salmones que escapan pueden afectar a las especies nativas a través de la depredación, la competencia y la propagación de enfermedades y parásitos, entre otros. En Noruega, las preocupaciones más severas son por la población nativa de salmones, específicamente, la depredación, la hibridización, y el contagio de enfermedades producidas por parásitos (caligidosis). La regulación noruega implementada en 2020 –posiblemente la más moderna en el mundo—se fija principalmente en el riesgo de mortalidad de salmones silvestres producto de la presencia de piojos de mar en los centros de cultivo del salmón como guía para regular la producción acuícola. Si las empresas pueden mantener bajos niveles de piojos de mar durante varios periodos de tiempo, son autorizadas a aumentar la máxima biomasa permitida de forma sostenida y sostenible. Si los niveles de piojos de mar sobrepasan los estándares, las empresas están obligadas a reducir su biomasa de peces.

³⁹ El estudio de Føre y Thorvaldsen (2021) revisa 300 eventos de escapes ocurridos en un periodo de 9 años, es decir un promedio de 33 escapes por año, con una media de peces escapados de cerca de 200 mil por año. Unos pocos eventos (22) explican cerca del 70% del total de peces escapados en el periodo completo; 9 de ellos ocurrieron como resultado de tormentas y el resto por problemas de daños en las jaulas o en el manejo de los peces.

Sin embargo, ni el salmón ni la trucha son especies naturales de Chile, sino que fueron introducidas en el siglo XX. Por estas razones, las preocupaciones por salmónes nativos no aplican en Chile. Además, hasta el momento no se ha encontrado evidencia en Chile de poblaciones naturalizadas de salmón del Atlántico (*Salmo salar*) y la investigación sugiere que estos salmónes no prosperan en la naturaleza (Arismendi et al. 2014) y son capturados eficientemente por pescadores artesanales.

Algo distinto ocurre con la trucha arcoíris, ya que los escapes no han disminuido tanto como los de salmón Atlántico y Coho. A diferencia del salmón, la trucha se introdujo activamente en Chile para la pesca recreativa a principios de 1900 y está ampliamente extendida a lo largo del país (Soto et al., 2006), por lo que es difícil estimar los impactos adicionales de los escapes desde centros de acuicultura (Quiñones et al., 2019).

Un segundo aspecto relacionado con los escapes es el impacto sobre mamíferos marinos, aves y tiburones.⁴⁰ La acuicultura de salmónidos genera cambios en la dieta, ubicación y hábitat de mamíferos marinos como el Lobo Marino (*Otaria flavescens*). También existe otro tipo de interacción con peces como el Cazón Espinoso Común (*Squalus acanthias*). Gaitán-Espitia et al. (2017) constató que la cercanía de las zonas de cría de tiburones y la industria del salmón influye en el nicho trófico de *S. acanthias* en esta región debido a la adición de nuevos alimentos y al cambio de la disponibilidad de presas alrededor de las jaulas. A pesar de estas diferencias, no parece haber diferencias en la fecundidad o el tamaño en la madurez en comparación con otras poblaciones (Gaitán-Espitia et al. 2017). Finalmente, mamíferos, aves y tiburones están expuestos a ruido, cuyo impacto en el largo plazo requiere más investigación.

Frecuentemente se ha criticado que la industria salmonera tendría un efecto externo negativo sobre la biodiversidad debido a que los alimentos de los salmónes contienen carne de peces pelágicos (peces pequeños usados como alimentos), lo que usualmente se indica como FIFO (*fish in-fish out*). Caben dos observaciones. La primera es que no tiene por qué haber pérdida de biodiversidad si la industria pesquera pelágica desarrolla políticas de captura sustentable, lo que en Chile ha sido el objetivo de una amplia regulación del Estado sobre este tipo de pesquería. Segundo, la responsabilidad de una eventual sobreexplotación pesquera no es de la salmonicultura (que no es más que uno de los eventuales consumidores de harina y aceite de pescado) sino de la industria pesquera y es la regulación de ese sector la que debería velar por la sustentabilidad de las especies pelágicas.

En cualquier caso, la proporción de FIFO ha decrecido de manera sostenida desde los años 1990 en la salmonicultura: Kok et al. (2020) indican que a nivel global la razón FIFO se ha reducido desde 3,8 en 1995 a 1,0 en 2020. Salmónes Camanchaca indica una tasa de uso FIFO bastante menor en Chile, de 0,59.⁴¹

⁴⁰ Existen muchas especies de tiburones en las aguas de Chile (Bustamante et al., 2014).

⁴¹ Dato para el primer trimestre (Q1) del año 2021, consultado el día 27 de Julio en:

<https://salmonescamanchaca.cl/en/sustainability/indicators/healthy-ecosystems/fish-in-fish-out-ratio-fifo>

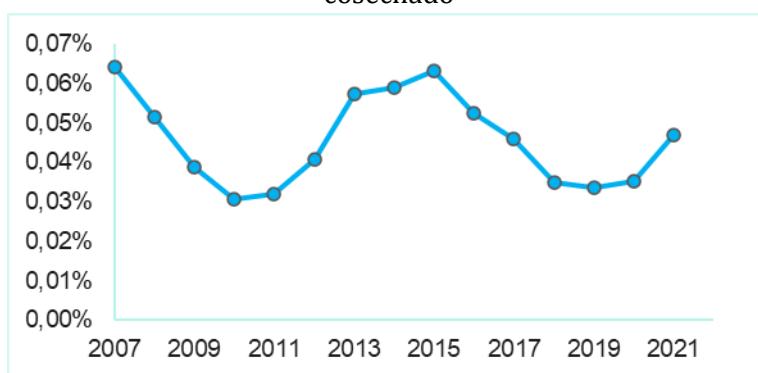
Al igual que con la contaminación del fondo marino, faltan estudios científicos sistemáticos que permitan entender si existen efectos ecológicos y sanitarios importantes y/o permanentes debido a los escapes.

4.7 Uso de antibióticos

En la salmonicultura, como en otras industrias alimentarias y en la salud humana, es común el uso de antibióticos y pesticidas para controlar enfermedades bacterianas y parásitos. Existe alguna preocupación por el uso de antibióticos en la salmonicultura y la acumulación de residuos en el ambiente marino, porque eso podría favorecer la selección de cepas resistentes a antibióticos. El cumplimiento de los estándares sanitarios exige que, en el punto de venta al consumidor, el salmón no tenga residuos de antibióticos.

Existen muchos estudios sobre el uso de antibióticos y tratamientos farmacológicos en la producción de salmón. Miranda et al. (2018) revisa la literatura y discute el uso de antibióticos y el estado actual del conocimiento científico con respecto a la incidencia de resistencia a los antimicrobianos en los centros de cultivo de salmónidos chilenos. Primero, reportan que en los últimos años ha habido un aumento en la cantidad de antimicrobianos utilizados en la salmonicultura chilena, y ha pasado de 143,2 toneladas en 2010 a 382,5 toneladas en 2016. Como la producción también aumentó significativamente en ese periodo –pasando de 250 mil a 650 mil toneladas— conviene escalar el uso de antibióticos por la biomasa cosechada. Como se muestra en la Figura 19, en 2016 se usó aproximadamente 0,53 kg de antibióticos por tonelada de salmón cosechado, siendo el florfenicol y la oxitetraciclina los más utilizados. Esta tasa es alta en comparación con otros países⁴², sin embargo, se ha mantenido en el rango de 0,03% a 0,06% de principio activo por tonelada de salmón cosechado.

Figura 19 - Uso de antibióticos. Cantidad de principio activo como porcentaje de biomasa de salmón cosechado



El Informe sobre uso de Antimicrobianos en la Salmonicultura Nacional del año 2021 señala que el uso de antibióticos tiene una marcada diferencia regional: mientras el 54% de los

⁴² En 2020, en Noruega se usaron sólo 222 kg de antibióticos para una producción de 1,3 millones de toneladas de salmón (Norm-Vet, 2021).

antimicrobianos utilizados en la etapa de engorda en mar corresponden a la región de Aysén y un 44% a la región de Los Lagos, sólo un 2% se usa en la región de Magallanes. En tanto, en el análisis por especie, un 93% de los antimicrobianos se utilizan en el cultivo del salmón del Atlántico (*S. salar*), un 5% en salmón coho y un 2% en trucha arcoíris.

A pesar de estos antecedentes, en Chile, ha habido pocos estudios que evalúan la resistencia a los antimicrobianos en salmónidos de acuicultura (Miranda et al., 2018) y ninguno que desarrolle esquemas de monitoreo de resistencia antimicrobiana o que estudie el impacto ecológico y costos de distintas estrategias de tratamiento (Mardones et al., 2018).

Al igual que para el aporte de nutrientes, existen varios estudios en Chile que documentan impactos, presencia de resistencia a los antimicrobianos y residuos de antibióticos en las cercanías de las jaulas. Sin embargo, como concluyen Quiñones et al. (2019), no ha habido estudios más exhaustivos en los ecosistemas y cuerpos de agua (más allá de las granjas) sobre los impactos de los antibióticos. En conclusión, como han señalado varios grupos de investigadores, existe acuerdo en la literatura que se requieren más estudios que permitan comprender la evolución y epidemiología de los genes de resistencia de la salmonicultura chilena, e investigar si es factible que exista un vínculo entre estos genes de centros de cultivo de salmónidos y patógenos humanos y de otros peces.

4.8 Costos de las externalidades

Así como resulta importante entender el origen de las externalidades negativas de la salmonicultura para poder enfrentarlas adecuadamente, es también fundamental medir cuán costosas éstas pueden llegar a ser. En cualquier actividad en la cual existan externalidades negativas, resulta clave comparar los beneficios derivados del control y abatimiento de éstas con el costo de la intervención, al momento de determinar regulaciones directas, impuestos, o pago de compensaciones.

En general, la situación que maximiza el bienestar de la sociedad está asociada a un nivel positivo pero limitado de externalidades. Por ejemplo, la contaminación por la combustión de combustibles fósiles ha contribuido y aún contribuye a generar y potenciar el efecto invernadero, la lluvia ácida, o la contaminación del aire, suelo y agua. A pesar de tener efectos muy negativos para la salud, tanto la sociedad como la regulación toleran ciertos niveles de contaminación cuando se estima que el costo de abatimiento supera los beneficios de eliminar totalmente esas externalidades negativas. El uso de automóviles con motores a combustión no ha sido prohibido porque el beneficio asociado a los viajes es muchísimo mayor al costo de las externalidades negativas.

Usualmente el costo de abatimiento y control de externalidades es más fácil de medir que los beneficios de intervenir. Productos tales como aire limpio, ambiente acuático prístino, etc., no se venden en los mercados, por lo que es necesario estimar su valor para la sociedad mediante análisis estadísticos. Freeman III et al. (2014) es un libro de texto clásico en la valoración de bienes que no se comercian en mercados. En esta sección primero describimos las metodologías existentes para

estimar los costos de las externalidades de la salmonicultura. Luego discutimos la evidencia internacional sobre el tema y presentamos ajustes y estimaciones propias para el caso chileno.

4.8.1 Metodologías de estimación de costos de externalidades

Existe un amplio rango de metodologías que pueden ser usadas para evaluar los impactos en bienestar de cambios en condiciones medioambientales. Estas metodologías tienen distintos costos (siendo algunas de ellas bastante caras) y producen también respuestas con distinto nivel de precisión a la pregunta de cuánto vale para la sociedad reducir una externalidad negativa.

Las metodologías pueden ser clasificadas, al menos, en dos categorías. La primera categoría es denominada de *preferencias declaradas*, ya que los valores se infieren a partir de respuestas de los individuos a preguntas sobre situaciones hipotéticas. Por ejemplo, ¿cuánto pagaría Ud. por disminuir la contaminación ambiental en un kilogramo de CO₂ equivalente?

El segundo tipo de metodología son aquellas que infieren la valoración de individuos, consumidores, y productores a partir de las decisiones y elecciones observadas, asociadas a un bien relacionado. Éstas son usualmente denominadas metodologías de *preferencias reveladas*. Por ejemplo, en el caso de transporte, se puede inferir el valor del tiempo de viaje con elecciones observadas de modos y rutas. Normalmente las personas eligen entre modos que tienen distinto precio y tiempo de viaje. En el caso de la acuicultura, no existe una opción similar desde el punto de vista de los consumidores. Sin embargo, como discutimos más adelante, sí pueden inferirse valores a partir de decisiones de los productores.

4.8.2 Preferencias declaradas

Estos métodos tienen en común su fuente de datos para el análisis, las que provienen de encuestas especialmente diseñadas que recogen las respuestas de los individuos a preguntas sobre situaciones hipotéticas, tales como "¿Pagarías \$X por...?", "¿Cuánto es lo máximo que estarías dispuesto a pagar...?", "¿Qué harías si...?", o "¿Cuál de las siguientes alternativas prefieres...?" Dado que los valores se infieren de las respuestas declaradas a tales preguntas, estos métodos se conocen comúnmente como métodos de preferencia declarada (SP).

Entre los valores que pueden estimarse mediante este método Jaime y Tinoco-López (2005) mencionan los siguientes:

a) Valor económico total: la suma de todos los tipos de valores, de uso y de no uso para un bien o servicio.

b) Valor de uso: los derivados del uso actual de un bien o servicio; puede incluir, además, un uso indirecto; por ejemplo, el disfrutar de un programa de televisión referente a las ballenas, el cual proporcionará un valor indirecto de uso a las mismas.

c) Valor de no uso: los que no están asociados con el uso actual o incluso la opción de utilizar un bien o servicio.

d) Valor de existencia: el que las personas depositan por el simple hecho de saber que algo existe, aun si nunca lo verán ni harán uso de él.

e) Valor de opción: el que las personas depositan por tener la opción de disfrutar de algo en el futuro, aunque esto implique no ser usado actualmente.

f) Valor de legado: el que las personas depositan en algo, sabiendo que futuras generaciones tendrán la oportunidad de disfrutarlo.

Su aplicabilidad, sin embargo, no es universal pues requiere que los individuos encuestados conozcan bien el fenómeno que se quiere medir y el tipo de valor que se quiere estimar. Para esta metodología es esencial que las personas estén conscientes de los impactos de la externalidad, pero también deben tener una comprensión clara de sus efectos negativos en el bienestar, deben ser capaces de expresar sus preferencias de manera consistente y su voluntad para intercambiarlos con dinero u otros bienes. Parece razonable postular que algunas externalidades locales, como la congestión del tráfico y el ruido, entran en esta categoría, ya que afectan el bienestar de las personas a diario y éstas pueden tener una valoración de ellas. Por ejemplo, para temas de transporte urbano se usan frecuentemente encuestas de origen-destino que permiten medir el costo de congestión.

Sin embargo, parece poco razonable pensar que los consumidores de salmón tienen una comprensión clara de los efectos de la eutrofización, o de cómo distintos niveles de antibióticos afectan la probabilidad de que aparezcan microorganismos resistentes. Por esta razón, creemos que las metodologías de preferencias declaradas no son adecuadas para estimar el valor de las externalidades de la salmonicultura.

Una segunda razón para descreer de la conveniencia de usar métodos de preferencias declaradas radica en el hecho que los consumidores de salmón exportado desde Chile son principalmente ciudadanos de otros países (EE.UU., Brasil, Japón, etc.) y que les resultaría aún más difícil valorar un cambio en los niveles de contaminación de la producción en Chile.

4.8.3 Preferencias reveladas

Existen varias alternativas para inferir, partiendo de la base de la observación del comportamiento del mercado, el valor de las externalidades negativas (Delacamara, 2008). La elección entre unos u otros dependerá, fundamentalmente, de (a) la disponibilidad de datos sobre la industria y otros determinantes del valor (p.e., ingresos de los individuos) y (b) que se cumplan ciertas características particulares del fenómeno de la externalidad, que hagan aplicable cada tipo de valoración. Respecto de este último punto, es pertinente recordar que hay varios tipos de externalidades asociados a la acuicultura y que, comprensiblemente, algunos métodos serán apropiados para medir algunas de ellas y otros no.

a) Costo de abatimiento de contaminación

Este método consiste en estimar una función de producción conjunta de bienes (salmón) y males (contaminación), suponiendo que la producción de contaminación está regulada de alguna manera y por lo tanto es costosa para la firma. La lógica es que, para un nivel dado de insumos, la reducción de contaminación sólo puede hacerse mediante la reducción de la producción del bien (kg de salmón). Esta modelación conjunta, en un período de varios años bajo distintas condiciones tecnológicas o regulatorias, permite estimar un costo medio de reducción de contaminantes, medido en cantidad producida o ingresos por venta.

Si bien es una aproximación y no una estimación precisa, tiene la ventaja que puede ser estimada con datos agregados de la industria sin conocer la tecnología de reducción de contaminación. Una estimación reciente con este método en acuicultura fue la realizada por Liu y Sumaila (2010) usando datos noruegos en el período 1986-2005. El resultado en términos comparables para otros países es que el costo promedio de abatimiento es 3,5% de la producción, lo que aplicado para Chile resulta en un costo anual promedio de USD \$181 millones.

b) Coste de reposición

Se estima el valor económico de la externalidad como el costo financiero de la restitución del bien dañado a sus condiciones originales (asunto más bien difícil de hacer) o, en su defecto, como el costo de lograr la sustitución de sus servicios por medio de una tecnología creada por el ser humano. Por ejemplo, la función de depuración de aguas residuales que realiza un humedal podría estimarse a partir del costo de construcción y funcionamiento de una estación de tratamiento de aguas residuales.

c) Coste evitado

Este método estima el valor de la pérdida de bienestar implícita en cualquier externalidad negativa como el costo en que habría sido necesario incurrir si el bien o servicio afectado no se proporcionase o se hiciese en condiciones deficientes. Por ejemplo, se estiman los daños a las propiedades evitados por la menor frecuencia e intensidad de inundaciones o costes de salud evitados gracias al tratamiento de la contaminación del agua de los humedales.

d) Métodos basados en la función de producción

Estos métodos se usan en aquellas situaciones en que la provisión de un bien o servicio ambiental (agua o aire limpios, por ejemplo), es determinante para una función de producción de bienes y servicios, modificando por ejemplo las rentas de explotación (una mejora en la calidad del agua incrementa las capturas en un banco de pesca y, por tanto, las rentas de los pescadores), o para una función de utilidad.

e) Método de dosis-respuesta

Este método estima el impacto físico que genera un cambio en el ambiente sobre un receptor. Esto es, establece un vínculo entre un nivel de contaminación o alteración al ambiente dado (dosis) y algún impacto físico (respuesta).

Puede verse como el modo más directo de valorizar cambios en el ambiente, ya que consiste en la observación de los cambios físicos que sufre el ambiente y estima qué alteraciones traerían dichos cambios en el valor de bienes y servicios.

Para aplicar este método deben conocerse las funciones dosis-respuesta. Se aplica principalmente a cambios al ambiente que tienen efectos en bienes comerciales. La función dosis-respuesta puede multiplicarse por un precio unitario del daño físico a fin de dar un valor monetario del daño en cuestión mediante una función de daño económico.

f) Método del costo de uso

Este método deduce el valor del bien del comportamiento de los individuos. Es muy adecuado para estimar el valor de la externalidad relacionados a sitios de recreación, aunque no exclusivamente. Se supone que el valor de dicho sitio o de los servicios que brinda se refleja en la cantidad de dinero y tiempo que está dispuesta la persona a pagar por disfrutar de ellos.

Por ejemplo, si se analiza por individuos, se puede definir como variable de interés el número de visitas realizadas al sitio turístico durante un periodo específico por año. El costo de uso dependería de el costo por la visita (esto incluye gastos de pasajes, uso de vehículos, combustible, peajes, tiempo de viaje, alimentos, alojamiento, etc.) y otras variables socioeconómicas que influyen en el número de visitas (ingresos familiares).

Este método se usa para estimar, por ejemplo, el valor de un determinado sitio turístico. Se encuesta el origen de los visitantes al sitio y otras variables socioeconómicas. Con esos datos se estima el grado en que distintos atributos influyen sobre el número de visitas. Para las mismas condiciones socioeconómicas, los habitantes de regiones más cercanas al sitio turístico van a manifestar una mayor disposición a pagar por visitar el lugar, pero ésta se reducirá considerablemente para aquellos que por vivir más lejos incurran en un mayor costo de viaje para hacer una visita.

g) Método del precio hedónico

Este método se basa en comparar el valor de dos bienes idénticos, uno de ellos sometidos a una externalidad negativa y otro que no tiene ese problema. Por ejemplo, el precio de una casa de determinadas características ubicada al lado de un basural se compara con el precio de otra casa similar en todo, excepto en estar lejos del basural. Como no existen "bienes idénticos", el método supone que el valor que un individuo le da al bien en cuestión se puede descomponer en los atributos que posee dicho bien. Siguiendo con el ejemplo, es posible descomponer el valor de la casa en el valor del tamaño del sitio, el tipo de construcción, la superficie construida, el número piezas y baños, etc.

Se separan los efectos de sus diversos atributos, incluyendo la cercanía al basural, de manera que pueda determinar cómo los cambios en los niveles de cada atributo afectan el valor.

Para hacer esto se usan técnicas de regresión múltiple. Se obtiene una función llamada “precio hedónico” que asigna a cada componente o atributo un valor. Para medir la externalidad se puede usar un variable indicadora si el bien está o no sometido a la externalidad que se desea medir. Alternativamente, se puede medir como la diferencia de valor entre dos situaciones (con y sin externalidad) pero controlando por todas las otras características. Así, el valor de no tener el basural encima puede verse reflejado en que el precio de una vivienda en una zona lejana del basural excederá el de una vivienda en una zona cercana a éste: el diferencial de precio permite aislar el efecto marginal – el valor económico – de la externalidad negativa.

4.9 Estimaciones de la literatura

Aunque la literatura sobre la industria del salmón de cultivo es rica, la valorización de externalidades es muy escasa y, en el caso de Chile, virtualmente inexistente. En lo que sigue, revisamos algunos estudios de interés metodológico o cuyos resultados resultan útiles para el caso de la salmonicultura en Chile.

Costo de abatimiento

Abolofia et al. (2017) estudian el costo para la industria noruega de las infestaciones de piojos de mar sobre la producción de salmón de cultivo (externalidad sanitaria). Usando datos para todos los centros de cultivo durante un período de 84 meses, estiman que el porcentaje del total de crecimiento de biomasa perdido por ciclo de producción debido a infestaciones promedio varía entre 3,62 a 16,55%, a pesar del control regulatorio que se hace actualmente del problema. También encuentran que la pérdida de biomasa depende fuertemente de la ubicación del centro productivo. Usando un modelo de cosecha discreta, simulan el impacto económico en las ganancias de la actividad durante ciclos típicos. Encuentran que una infestación promedio durante un ciclo típico genera daños de US\$ 0,46 por kg de biomasa cosechada, equivalente al 9% de los ingresos de la finca. Así, estima que el parasitismo de los piojos produjo daños por valor de USD 436 millones de dólares a la industria noruega sólo en 2011.

Para Chile, Dresdner et al. (2019) miden el impacto que tienen los tratamientos sanitarios que controlan la abundancia del Caligus sobre los costos unitarios de producción, en una muestra de centros de cultivo de Salmo salar en Chile, usando ciclos completos de producción entre 2009 y 2015. Sus resultados sugieren que los costos de producción unitarios aumentan en promedio USD 1,4 US por kg por efecto de los tratamientos de Caligus. No obstante, estos mayores costos de tratamiento son compensados por niveles de cosecha más altos, de modo tal que los costos unitarios de producción con y sin tratamiento son similares. Ello se interpreta como indicación de que los actuales tratamientos de Caligus no han sido capaces de generar un excedente económico.

Efectos sobre otras especies (salmón silvestre).

Nikitina (2019) ocupa una metodología novedosa para la evaluación económica de las políticas de conservación ambiental, para el caso de un bien ambiental que se ve afectado negativamente en el proceso de producción de bienes comercializables. Una medida relevante del costo de oportunidad en estos entornos es el costo requerido para preservar o restaurar una unidad del bien ambiental en cuestión. A diferencia del grueso de la literatura económica, este estudio no se enfoca en la fijación de precios de los contaminantes sino en el efecto que la actividad de la salmonicultura tiene directamente sobre las poblaciones silvestres de salmón que son afectadas por ella. El valor de la externalidad es, así, la valoración que se hace sobre los efectos por unidad de bien ambiental. Notablemente, encuentra que la externalidad indicada no es significativamente distinta de cero.

Podría parecer que ese resultado pone en duda la pertinencia de la regulación noruega actual, pero debe recordarse también que el caligus también daña a los salmones de cultivo ubicados en centros cercanos a la fuente de infección (externalidad sanitaria) y no sólo a los salmones silvestres (externalidad ambiental). Es posible entonces que en el caso estudiado por Nikitina (2019), la externalidad ambiental sea cero y la sanitaria sea importante.

Eutrofización

En 1994, Folke et al. publicaron un informe que, si bien no mide los costos de la eutrofización y de la proliferación de algas tóxicas derivados la producción de salmón de cultivo pone en perspectiva la emisión física de fósforo y nitrógeno. Estiman que la liberación de nutrientes de un centro de cultivo que produce 100 toneladas de salmón correspondientes a las de un asentamiento humano de entre 850 y 3200 personas. Extrapolan los resultados a las 200.000 toneladas de producción de salmónidos de los países nórdicos de 1994, y concluyen que la liberación de nutrientes supera a la de la población de Estocolmo, la ciudad más grande de Suecia, e incluso a la de países completos como Lituania. Este artículo ha recibido importantes críticas metodológicas, sin embargo, poniendo en duda la validez de sus conclusiones.

El estudio de Just Economics

Recientemente, la consultora “Just Economics” realizó una estimación de los costos de la salmonicultura en los cuatro principales países productores: Noruega, Chile, Canadá y Escocia (Just Economics, 2021), por encargo de la fundación “Changing Markets Foundation”.

Usando una variedad de metodologías, el resultado principal del estudio es que la acuicultura del salmón habría producido costos privados y externos de USD \$47 mil millones desde 2013. Cuando el monto es segmentado en costos privados y externos, *Just Economics* estima que aproximadamente el 60% es costo directo de los productores y el 40% es producto de las externalidades negativas que han sido discutidas en este informe (USD 28 mil millones y USD 19 mil millones, respectivamente).

Sin embargo, nuestro análisis del reporte concluye que estos números no son exactos. De acuerdo con nuestra interpretación de esas estimaciones, los valores reales son significativamente menores. Según el mismo estudio, en Chile, el costo promedio anual de la externalidad en el período 2013-2019 es USD \$ 543 millones, pero al aplicar necesarios ajustes metodológicos obtenemos una cifra por lo menos 50% menor.

Cambio climático global

El estudio de *Just Economics* supone que se emiten 8 kg de CO₂ por cada kg de salmón. Ya indicamos que Gephart et al. (2021), revisando datos de más de 1,690 centros de cultivo encuentran que, en promedio, la huella de carbono del salmón de acuicultura es de 5,1 kg de CO₂-equivalente por cada kilogramo de salmón comestible. Sin embargo, esta huella de carbono incluye actividades productivas de otras industrias –como la producción de soya y el transporte del salmón al consumidor—cuyas externalidades no son atribuibles a la salmonicultura, sino que a la agricultura y al transporte, respectivamente. Descontando estos factores, la emisión llega a 3 kg de CO₂-equivalente por cada kg de salmón.

Usando los datos de producción de *Just Economics* y el precio social del CO₂ estimado por el Ministerio de Desarrollo Social (USD 32,5 por ton de CO₂), obtenemos un costo para la externalidad de cambio climático global de USD \$ 73,3 millones por año. Esta cifra es un 22% del valor reportado en el estudio de *Just Economics* para Chile.

Contaminación y deterioro del fondo marino

El segundo costo social estimado por *Just Economics* es el de la contaminación del fondo marino por depósitos de fósforo y nitrógeno. La estimación del costo se hace con la metodología de costos de abatimiento utilizada por Liu y Sumaila (2010) usando datos noruegos del período 1986-2005. El resultado, en términos comparables para otros países, es un costo promedio de abatimiento igual a 3,5% de la producción, lo que aplicado para Chile resultaría en un costo anual promedio de USD \$181 millones.

Al ser una estimación con datos noruegos y que promedia lo observado entre 15 y 35 años atrás, se lo considera lejano de ser representativa de la acuicultura nacional actual. Sin embargo, no existe una mejor estimación en la literatura.

4.10 Análisis

La lista de potenciales externalidades ambientales negativas es larga y sus efectos son bastante heterogéneos. Sin embargo, la generación de estas externalidades no es un problema exclusivo de la salmonicultura, sino que ocurre, en mayor o menor medida, en la mayoría de las industrias que producen bienes físicos. Conocidas son las externalidades ambientales derivadas de la producción minera, industrial o forestal. También hay significativas externalidades negativas generadas por el transporte en la forma de contaminación del aire y congestión.

Al comparar las emisiones globales de la producción de salmones con las de otras proteínas animales, resulta ser una de las industrias alimentarias más sustentables. Un metaanálisis de Poore y Nemecek (2018) estima que por cada 100 g de producción de carne de vacuno se emiten 50 kg de CO₂eq., mientras que para una producción equivalente de salmón se emiten sólo 6 kg. Incluso en la producción de 100 g de queso se emite aproximadamente el doble de gases contaminantes que en el caso del salmón de cultivo. Adicionalmente, cuando se consideran otros índices como acidificación, eutrofización y uso de suelo, la acuicultura suele estar dentro de las alternativas con menor impacto.

Sin embargo, el buen desempeño relativo a otras proteínas no es suficiente. En Chile se ha desarrollado mucha investigación y existen varios estudios que documentan impactos localizados de eutrofización bajo las jaulas de salmón, presencia de resistencia a antimicrobianos y residuos de antibióticos en las cercanías de las jaulas, y alteraciones en la dieta y ubicación de mamíferos marinos, aves y tiburones.⁴³

A pesar de esto, es necesario realizar análisis más amplios que permitan un mejor entendimiento del destino de los nutrientes y de los antibióticos de la salmonicultura. Entender mejor los impactos de largo plazo en el ecosistema es fundamental para mejorar la regulación de la acuicultura y disminuir las externalidades negativas.

Finalmente, la estimación de costos sociales de las externalidades negativas asociadas a la acuicultura de salmónidos es un territorio absolutamente fértil. Existen extremadamente pocos estudios con metodologías adecuadas que permitan aproximar el costo social de las externalidades. Para muchas de ellas, como las asociadas a impacto de escapes y uso de antibióticos, no existen estimaciones. Esto es particularmente importante para priorizar objetivos e iniciativas regulatorias, y para establecer los límites adecuados a las potenciales compensaciones que la industria debiera pagar por las externalidades negativas que causa.

⁴³ Ver Miranda et al. (2018) y Quiñones et al. (2019) para una revisión detallada de los estudios científicos relacionados con externalidades.

5 Discusión y conclusiones

El crecimiento de la cadena productiva de la salmonicultura en Chile ha traído importantes beneficios para los exportadores, productores, proveedores y trabajadores. La industria genera recursos para el Estado y las comunidades locales, sustanciales beneficios en la forma de mayor desarrollo económico y social, así como acceso a un alimento saludable y rico en nutrientes. En 2021, las exportaciones chilenas de salmón excedieron los USD 5.100 millones (siendo superadas solo por el cobre) y la industria dio empleo a unas 34 mil personas, entre ocupaciones directas e indirectas, según el INE.

La salmonicultura en Chile enfrenta desafíos similares a los de sus competidores a nivel internacional (Noruega, Escocia y Canadá). El principal es cómo regular la industria de manera efectiva y eficiente de modo de permitir el crecimiento y la innovación al mismo tiempo que se asegura la sustentabilidad ambiental y se limitan las externalidades sanitarias. Como cualquier actividad productiva, la salmonicultura puede producir efectos indirectos y socialmente indeseables, a los que colectivamente se les denomina externalidades negativas. Una regulación moderna debe proveer un marco institucional que permita minimizar la magnitud de las externalidades negativas de manera efectiva y eficiente (es decir, al menor costo posible privado y social) y lograr que el impacto social neto de la actividad sea positivo.

Las externalidades negativas generadas por la salmonicultura incluyen el impacto en el medioambiente, en el fondo marino, y en el ecosistema y la biodiversidad. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este es un problema global y común a la producción de la gran mayoría de alimentos.

Al comparar la salmonicultura con la producción de otros alimentos ricos en proteínas de origen animal, los estudios científicos han sistemáticamente encontrado que la salmonicultura es de las industrias alimentarias que menos contribuye al cambio ambiental y climático.⁴⁴ Por ejemplo, la emisión de gases de efecto invernadero, que es crucial para el cambio climático, es 8 veces mayor en la producción de 100 g de proteína de carne de vacuno que de peces de piscicultura.

El aporte de nutrientes (fósforo y nitrógeno) a los cuerpos de agua y los efectos que esto tendría, especialmente la eutrofización, es un potencial problema de la salmonicultura. En Chile, estos efectos se monitorean usando Informes Ambientales (INFA) y se requiere que los sitios presenten buenas condiciones (aeróbicas) para operar. Sin embargo, como exponen Quiñones et al. (2019) en una revisión de la evidencia científica, existen varios estudios en Chile que documentan impactos localizados de eutrofización bajo las jaulas de salmón, y no existen análisis más amplios que permitan

⁴⁴ Ver, por ejemplo: Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987-992.

un mejor entendimiento del destino de los nutrientes de la salmónica y muchos impactos, sobre todo de largo plazo, no están siendo examinados ni monitoreados.⁴⁵

En relación con el impacto en peces y especies del ecosistema acuático, es importante recalcar primero que los salmónidos no son nativos de Chile, a diferencia del hemisferio norte, donde el efecto de escapes en salmónidos nativos es una preocupación principal. Hasta el momento, según Quiñones et al. (2019) no hay evidencia de poblaciones naturalizadas de salmón del Atlántico (*Salmo salar*), la especie más cultivada en Chile, en la parte sur del país.⁴⁶ Más aún, Arismendi et al. (2014) estudian el éxito de poblaciones naturalizadas de salmón del Atlántico en el sur de Chile y encuentran que, a excepción de la trucha común y trucha arcoíris, no han tenido éxito en prosperar en la naturaleza. Sin embargo, la trucha se introdujo activamente en Chile para la pesca recreativa a principios de 1900 y está ampliamente extendida a lo largo del país (Soto et al., 2006), por lo que es difícil estimar los impactos adicionales de los escapes desde centros de acuicultura (Quiñones et al., 2019).

Un segundo aspecto relacionado con los escapes es el impacto sobre mamíferos marinos, aves y tiburones. La acuicultura de salmónidos genera cambios en la dieta, ubicación y hábitat de mamíferos marinos como el Lobo Marino (*Otaria flavescens*). Además, mamíferos, aves y tiburones están expuestos a ruido, cuyo impacto en el largo plazo requiere más investigación. Por último, escapes de peces pueden generar impactos sobre cultivos acuícolas cercanos a través del contagio de enfermedades.

Finalmente, existe una creciente preocupación por el uso de antibióticos en la salmónica y la acumulación de residuos en el ambiente marino que podría favorecer la selección de cepas resistentes a antibióticos. Actualmente los niveles de uso de antibióticos en Chile son comparativamente menores con relación al pasado (por cada kg de salmón cosechado se usa 641 mg. de antibiótico), pero se mantienen altos con relación a otros productores. Sin embargo, el salmón procesado para consumo humano no contiene antibióticos debido a la regulación que limita y controla el período de administración de antibióticos. La principal preocupación entonces sería sobre el ecosistema marino.

A pesar de esto, y al igual que para el aporte de nutrientes, existen varios estudios en Chile que documentan impactos, presencia de resistencia a los antimicrobianos y residuos de antibióticos en las cercanías de las jaulas. Como concluyen Quiñones et al. (2019), no ha habido estudios más exhaustivos en los ecosistemas (más allá de las granjas) sobre los impactos de los antibióticos. Es indiscutible, como han señalado varios grupos de investigadores, que es primordial dedicar más recursos a la investigación científica para determinar si existen efectos negativos de largo plazo asociados al uso de antibióticos y la eutrofización. En relación con este último aspecto, es fundamental el aporte de los productores de salmónidos, tanto en recursos y financiamiento, como en mayor transparencia de datos.

⁴⁵ Quiñones, R. A., Fuentes, M., Montes, R. M., Soto, D., & León-Muñoz, J. (2019). Environmental issues in Chilean salmon farming: a review. *Reviews in Aquaculture*, 11(2), 375-402.

⁴⁶ Ver Soto et al. (2001, 2006); Schroder & García de Leaniz (2011); Niklitschek et al. (2013).

Hay consenso en el análisis comparado que la regulación en los diferentes países productores de salmón de cultivo no tuvo inicialmente una base sanitaria o ambiental sino de manejo productivo, pero que ésta ha evolucionado de modo que los factores ambientales son predominantes en la actualidad. Ello se traduce en que la regulación en aquellos países sanciona desviaciones o incumplimientos de las normas ambientales, y al mismo tiempo da incentivos fuertes para la inversión y crecimiento a aquellas empresas que sí cumplen los estándares regulatorios.

Más aún, cambios recientes en la regulación en Noruega y Escocia apuntan a lograr una expansión sustancial de la producción de la salmicultura en las próximas dos décadas, manteniendo exigentes estándares ambientales. Por ejemplo, en 2014, Noruega planificó ampliar la producción desde más de 1 millón de toneladas a más de 5 millones de toneladas para el año 2050. Así, en estos países se entiende que es posible y deseable un crecimiento vigoroso de esta actividad sin sacrificio sanitario o ambiental.

Una regulación moderna de la acuicultura busca compatibilizar el desarrollo y crecimiento de la cadena productiva con la mitigación de los efectos negativos que puedan producirse. La experiencia internacional indica que es imprescindible que la regulación provea incentivos para que haya un balance adecuado entre “riesgos y retornos esperados privados y sociales”. Un desbalance entre estos elementos puede llevar a algunos operadores a la búsqueda de un mayor retorno esperado, no sobre la base de sus mayores niveles de eficiencia, sino por medio de tomar más riesgos de los convenientes socialmente. En el otro extremo, una regulación que busque reducir los riesgos con excesivo celo puede llevar a daños injustificados para el empleo de calidad y la innovación.

La experiencia de Noruega es clara respecto de este tipo de fallas de regulación. Durante las décadas de 1970 y 1980, la autoridad intervino sistemática (y erráticamente) el funcionamiento de la salmicultura por el temor a que se estuviesen tomando riesgos excesivos y hubiese altos costos para el empleo por una eventual quiebra masiva de las empresas. Estas intervenciones –que tomaron la forma de restricciones cuantitativas de producción, control de siembras, intentos de manejar la oferta, limitaciones de propiedad, etc.—resultaron incapaces de evitar los graves problemas de sobreproducción y quiebras de los años 1990, como se demostró posteriormente. Las autoridades noruegas respondieron a ese fracaso con una reestructuración general de la actividad, reconociendo que la regulación ignoraba los sustanciales cambios tecnológicos, farmacológicos, y de demanda que ocurrían (y continúan ocurriendo) en la actividad y cómo éstos van cambiando fuertemente los incentivos a producir e invertir.

La experiencia comparada también señala la importancia de otro aspecto deseable de una buena regulación: no debe esperarse que la autoridad sectorial resuelva unilateralmente y de una vez todas las potenciales externalidades negativas de la producción. Es socialmente preferible que se concentre en las más significativas y las asociadas directamente a problemas de su competencia. De manera coincidente, las autoridades en Escocia y Noruega han desarrollado, en conjunto con los acuicultores y otros interesados, un sistema regulatorio que aborda pocos objetivos (p.e., peces escapados, piojos de mar), que son fácilmente cuantificables, y para los cuales existe evidencia sólida de que causan

efectos negativos sistemáticos al medio ambiente o a la población. Más aún, la regulación se concentra en aquellas externalidades de la producción y comercialización de salmón que son responsabilidad directa de las autoridades de acuicultura, dejando problemas sociales y de empleo, contaminación por transporte, externalidades agrícolas, etc. a las autoridades respectivas.

Una tercera característica deseable de una buena regulación es que ésta sea simple, fácilmente monitoreable, transparente, y barata de administrar. Resulta notable cómo las regulaciones en países productores europeos han sido simplificadas recientemente y con éxito, con el fin de aumentar la efectividad de la regulación, reducir el costo regulatorio para los productores y evitar pérdidas de competitividad. La simplificación no es un evento sino un proceso: Noruega diseñó su conocido sistema de semáforos en 2017 pero ya a fines de 2021 estaba discutiendo actualizaciones para mejorar su desempeño. Igualmente, Escocia ha lanzado un proyecto de gran alcance para simplificar la regulación de la acuicultura como respuesta a una caída en la productividad de esta actividad y al aumento proyectado en la demanda mundial.

La regulación internacional busca que sus instrumentos de monitoreo y sus medidas de incentivos y castigos estén directamente alineadas con los objetivos que se persiguen. En el Reino Unido son los estándares ambientales los que mayoritariamente deciden los niveles de producción. En Noruega se regula directamente la máxima biomasa que cada productor puede tener, pero la conexión entre producción y contaminación es indirecta. En Chile, se regula la producción asociada a cada licencia a través de la siembra y la densidad de peces en las jaulas, cuya relación con externalidades es bastante indirecta.

Sobre la base de la revisión de los cambios regulatorios en los principales competidores de Chile (Noruega, Escocia y Canadá), identificamos cuatro áreas de mejoramiento de la regulación chilena, que justificamos a continuación.

1. La necesidad de una política nacional de desarrollo de la salmonicultura

La experiencia internacional sugiere que es imprescindible contar con una estrategia nacional de desarrollo sustentable con una visión estratégica de largo plazo que permita la creación de un “clúster productivo y de innovación de alta complejidad”. Chile tiene ventajas comparativas que permiten actualmente a la salmonicultura producir beneficios privados y sociales, empleo, emprendimiento y desarrollo para las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes. Para potenciar estos beneficios y lograr mayor desarrollo de la zona sur es necesario tener una política estratégica nacional. El sistema actual que regula la operación lleva más de una década funcionando, lo que sugiere que la planificación estratégica ha estado ausente.

Existen importantes desafíos que los productores o la autoridad por separado no pueden enfrentar de buena manera. Entre ellos, cómo beneficiarse de la importante expansión prevista de la demanda mundial por salmón ; cómo responder a la sustancial inversión en capacidad productiva que están haciendo los principales competidores de Chile y cómo ajustarse a los cambios en las cadenas de comercialización derivados de la pandemia del Covid; cómo mantener la competitividad;

cuál es la magnitud de la potencial amenaza sobre las ventajas competitivas de las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes como resultado de la entrada de los cultivos de salmón en tierra o en alta mar, y cómo minimizar las consecuencias negativas derivadas de un mal desempeño ambiental.

La necesidad de formular una estrategia de desarrollo para esta actividad se vuelve más apremiante porque existen razones que permiten anticipar un fuerte crecimiento de la demanda de productos marinos a nivel global, entre las cuales se incluyen el crecimiento y envejecimiento de la población mundial, el aumento de los ingresos y la riqueza, y la creciente preferencia por dietas más saludables. La industria del salmón se beneficiaría, además, del hecho que hay significativas restricciones a la extracción de recursos del océano.

Por ejemplo, Escocia y Noruega cuentan con políticas de desarrollo con una visión estratégica de mediano y largo plazo, con instituciones que coordinan y permiten la cooperación de los interesados relevantes y de la ciudadanía. Mientras que en Noruega y en Escocia existen planes formulados para aumentar sustancialmente la producción en el mediano plazo, las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes no tienen intenciones declaradas de mantenerse como un líder en esta actividad salmonicultura a futuro y carecen de una visión estratégica.

Un ejemplo de cómo desarrollar un plan estratégico es el que ofrece Noruega. En 2014 su gobierno planteó un plan ambicioso: ampliar la producción desde más de 1 millón de toneladas a más de 5 millones de toneladas para el año 2050. Una expansión de esta envergadura requiere una amplia aceptación social en el país y, debido a que se necesitan nuevos sitios de acuicultura y/o la expansión de la capacidad en los lugares establecidos, también exige la aceptación a nivel de las comunidades locales que albergarían estos sitios. Una expansión significativa podría activar un conflicto latente o intensificar un conflicto existente tanto en general como a nivel comunitario. Con estas consideraciones en mente, el gobierno reunió a 57 partes interesadas (grupos de interés tales como sindicatos, ONGs ambientalistas, empresarios, agencias de gobiernos, universidades, etc.) para elaborar un “libro blanco” que permitió mapear las preocupaciones que tienen sobre la acuicultura y trazar una hoja de ruta que hiciera posible el desarrollo de esta cadena productiva bajo un marco de aceptación social. El proceso de análisis y negociación duró hasta 2017. Escocia, por su parte, acaba de finalizar (14 de marzo de 2022) un proceso de consulta abierto sobre cómo modificar la regulación de la acuicultura de peces con aleta (*finfish*) debido a “los cambios sustanciales en la industria y el mejoramiento en la capacidad de modelar la dilución ocurridos desde la última consulta en 2017”.

2. Crecimiento sustentable y armonizado con el medioambiente

El mecanismo principal para armonizar el crecimiento productivo con el control de externalidades ambientales es condicionar el primero a un buen desempeño en el segundo. Por ejemplo, en Noruega, la preocupación principal desde el punto de vista medioambiental es el contagio de parásitos en la población nativa de salmones. Consistente con esa preocupación, según el nivel de parásitos (*sea-lice*), se aumenta, mantiene o reduce la biomasa máxima permitida en la respectiva área.

En el caso de Chile, sin embargo, la regulación no tiene un objetivo medioambiental primordial, ya que los distintos estándares ambientales están con distinta ponderación en las normativas y, en algunos casos, se permite cumplir en algunos y no en todos. Primero, cada centro de engorda tiene una biomasa máxima permitida establecida en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA). Respetando este máximo, actualmente, existen dos normas diferentes para determinar la siembra máxima permitida por sitio y cada productor es libre de elegir entre ellas. Bajo el sistema de densidades, la siembra permitida se determina de acuerdo con un promedio ponderado de tres componentes: productiva, sanitaria y ambiental. El componente ambiental, que tiene directa relación con la contaminación del fondo marino, solamente pesa un 10% en el cálculo.

Bajo el segundo sistema, llamado PRS, siempre que las pérdidas (peces sembrados que mueren o escapan) sean inferiores a un 10%, se puede aumentar la producción al ciclo siguiente. Cuanto menor sea el uso de antibióticos y fármacos, mayor puede ser la expansión. En cambio, en el sistema de densidades, no importa el uso de estos productos para determinar la siembra.

En resumen, como las variables que determinan la siembra máxima son distintas, estos dos regímenes entregan incentivos diferentes. Más aún, el sistema de densidades opera a nivel de agrupación de concesiones mientras que el de PRS a nivel de titular. Claramente no hay un objetivo medioambiental sobre el cual evaluar los resultados. Urge definir un objetivo medioambiental principal y condicionar el crecimiento de la industria al cumplimiento de ese estándar.

Otro elemento para considerar es la relación entre la industria y las áreas marinas protegidas (AMP). Más allá del reciente debate respecto de la real efectividad de las AMP como mecanismo de protección ambiental, la experiencia europea indica que resulta imprescindible determinar de manera científica si la salmicultura influye y en qué medida sobre los objetivos específicos de cada área de protección marina de uso múltiple. En particular, porque las AMP tienen distintos objetivos y las diferentes actividades productivas no tienen por qué ser contrarias a dichos objetivos. Por ejemplo, en Escocia, la mayor parte de las AMP se declararon después que la industria ya estaba instalada. En estas áreas, la autoridad realizó un análisis extensivo para establecer si la actividad productiva afectaba los objetivos principales de la AMP (desde uso exclusivo para la ciencia hasta protección de especies, belleza natural, o conservación), llevando en los casos negativos a relocalizar sitios productivos o cambiar los límites geográficos de la AMP. En los casos en que las empresas desean operar en una AMP ya establecida, éstas deben adjuntar una estricta evaluación de impacto previa y un protocolo de operaciones al momento de solicitar los permisos correspondientes.

3. Regulación local basada en ciencia

La evidencia internacional indica que la sustentabilidad de la acuicultura y el control de externalidades requiere que la regulación sea hecha sobre la base de las condiciones locales de producción y con una sólida base científica respecto de las condiciones oceanográficas y sanitarias en cada locación. Por el contrario, Chile tiene una única regulación aplicable a todas las zonas productivas del país repartidas en más de 78,000 km de longitud de costa. Las experiencias de Noruega y Escocia indican que es crucial contar con modelos oceanográficos suficientemente

desarrollados que permitan definir la biomasa máxima de cada zona productiva en función de su capacidad de carga (dilución), del tipo de manejo productivo que se haga, de la etapa del ciclo de crecimiento de los peces, de la época del año, etc. Esos modelos oceanográficos locales permiten, además, un mejor monitoreo de las actividades y una mejor preparación para el control de enfermedades. El nuevo sistema de regulación de Noruega dividió su costa en 13 zonas productivas que tienen distintos estándares de biomasa máxima permitida (mayores biomosas permitidas en zonas más frías, donde el crecimiento de los peces es más lento). Más aún, las autoridades ambientales determinan la sustentabilidad de un sitio de piscicultura sobre la base del estado natural del cuerpo de agua, la carga orgánica, las condiciones químicas en el sedimento, el uso de agentes químicos, la composición bentónica, los ciclos de intercambio de aguas y, finalmente, biomasa acuícola y producción de cada piscifactoría.

Aún más importante, estas regulaciones europeas tienen una sólida base científica, se definen en función de las condiciones locales de los centros de cultivos y están en continua evaluación por parte de los usuarios y expertos. La frase en boga es que “el regulador está obligado a regular sobre la base de la mejor ciencia disponible”. Con el tiempo han logrado construir buenos modelos de la ecología de los sitios donde se ubica la producción, de las corrientes marinas y la capacidad de dilución del mar, o de los impactos de los efluentes líquidos o sólidos en cada localidad. Esos modelos, que son la base sobre la cual se fijan los límites de biomasa y otras restricciones productivas, son públicos y pueden ser mejorados tanto por la industria como por los expertos en el área, lo que redundaría en un mejoramiento paulatino de la regulación y sus efectos. Llama también la atención la simplicidad de los sistemas de monitoreo sanitario y ambiental. Es necesario evitar sistemas engorrosos porque son más fáciles de eludir por parte del regulado y más difíciles de fiscalizar.

Un elemento fundamental para mejorar la regulación en nuestro país consiste en identificar y medir las principales externalidades que podría producir la salmonicultura. Sin mediciones – aunque éstas sean hechas sobre la base de metodologías muy simples—no es posible jerarquizar las políticas regulatorias ni medir su desempeño, y se corre el riesgo de implementar estrategias que no logren el objetivo del cuidado ambiental. Igualmente, las estrategias de prevención de riesgos necesitan de mediciones de los alcances de externalidades negativas tales como el contagio de enfermedades entre jaulas, sitios, o barrios o la aparición de algas nocivas, entre otras.

En este sentido, parece imprescindible avanzar de manera significativa en determinar cuáles y de cuál magnitud son los potenciales efectos adversos del uso masivo de antibióticos como principal herramienta para combatir enfermedades provocadas por bacterias (p.e., piscirickettsiosis). Existe el temor al fenómeno de resistencia a los antimicrobianos y que, pese a que la piscirickettsiosis no afecta directamente a los seres humanos, esta resistencia se transmite otro tipo de bacterias que dañen la salud humana. En conclusión, existe acuerdo en la literatura que se requieren más estudios que permitan comprender la evolución y epidemiología de los genes de resistencia de la salmonicultura chilena, e investigar si es factible que exista un vínculo entre estos genes de centros de cultivo de salmónidos y patógenos humanos y de otros peces.

4. Eficiencia productiva

Durante las últimas décadas, se ha observado un fuerte proceso de concentración de la industria salmoneera en Noruega, Escocia, y Canadá, es decir una reducción paulatina del número de empresas operando y una producción creciente, lo que implica un sostenido aumento en el tamaño de los centros de producción. También han surgido empresas globales que producen en varios países a la vez. Ello sugiere que las economías de escala son fuertes y que es posible lograr sustanciales aumentos de productividad y eficiencia con la reorganización de la producción entre centros de cultivo y empresas. En Noruega y Escocia, la regulación otorga mucha importancia al manejo sanitario local (p.e., manejo de contagios a nivel de centro de cultivo) por sobre los estándares nacionales.

La regulación de la carga en un sitio o área geográfica, según las mejores prácticas internacionales, debe realizarse mediante la determinación de una biomasa máxima permitida que se aplica en todo momento. Esto, a diferencia de fijar un único momento de siembra con una densidad determinada, permite una flexibilidad útil para los productores pues pueden tener cohortes de peces de distinta edad coexistiendo en diferentes centros de cultivo de una misma empresa. Las empresas más grandes, por lo tanto, suelen tener mayor flexibilidad que las pequeñas para maximizar la producción por licencia.

La realidad chilena es distinta porque en la normativa existen varios elementos que afectan negativamente la eficiencia productiva. Primero, independiente del régimen (densidades o PRS), se fija el número de peces a sembrar. Esto tiene menor flexibilidad que el sistema de biomasa máxima permitida y, por lo tanto, menor eficiencia productiva. En segundo lugar, después de la crisis del virus ISA, se fijaron períodos de descanso sanitario coordinados para las Agrupaciones de Concesiones o barrios. Estos descansos, que duran tres meses, son heterogéneos. En algunos barrios el ciclo productivo permitido puede ser de 15 meses entre descansos, en otros 21 meses, más allá de 24 meses, e incluso lapsos mayores. Como el ciclo de crecimiento de salmónidos es relativamente estable, esta diferencia en duración de ciclos productivos permitidos genera descansos sanitarios extendidos en algunos centros, que se traducen en menor eficiencia. Finalmente, en la mayoría de los barrios conviven distintas empresas, lo que a veces genera fricciones entre ellas, posibles externalidades cruzadas y no permite aprovechar algunas economías de escala y coordinación.

Existe un espacio significativo para aumentar la eficiencia productiva a través de una optimización de la duración de ciclos de producción y descansos, y mayores niveles de flexibilidad para reubicar barrios y licencias. En particular, se podría aprovechar nuevos lugares que son eficientes con la tecnología actual de producción y al mismo tiempo expirar licencias ubicadas en sectores poco productivos, mientras se consolida la ubicación de empresas en barrios. Es también importante fortalecer un mecanismo de expiración de licencias sin uso, junto con otro de creación de nuevas licencias, que fomente la competencia reduciendo barreras a la entrada.

Un elemento muy importante al momento de proponer cambios y mejoras en la regulación es el “problema de captura de la autoridad”, es decir aquella situación en la cual un cambio en los

objetivos de la regulación o una modificación institucional permite que grupos de interés específicos o grupos empresariales se hagan del control de la regulación y lo encaucen para sus propios fines y en detrimento del bienestar de la población o la sustentabilidad de la industria.

Chile es actualmente el segundo productor de salmónes en el mundo con una participación de mercado aproximada de 30%. Uno de los principales desafíos que enfrenta el país en este ámbito es estudiar y definir cómo aumentar la competitividad de la salmonicultura nacional sin perder las ventajas comparativas actuales y en armonía con el medioambiente. De lo contrario, y considerando las estrategias de los otros principales países productores, antes del año 2050 Chile perderá su rol de líder mundial y con ello pueden desaparecer los beneficios socioeconómicos de esta área productiva, y especialmente los ubicados en las regiones de Los Lagos, Aysén, y Magallanes.

6 Bibliografía

- Aasheim, L. J., R. E. Dahl, S. C. Kumbhakar, A. Oglend, and R. Tveterås (2011): "Are Prices or Biology Driving the Short-Term Supply of Farmed Salmon?" *Marine Resource Economics* 26(4):343–57.
- Abate, T.G., Nielsen, R., Tveterås, R., 2016. Stringency of environmental regulation and aquaculture growth: a cross-country analysis. *Aquac. Econ. Manag.* 20 (2), 201–221
- Abolofia, J., Asche, F., and Wilen, J. E. (2017). The Cost of Lice: Quantifying the Impacts of Parasitic Sea Lice on Farmed Salmon. *Marine Resource Economics*, 32(3), 329–349.
- Akbar, S. (2011): "Factors Affecting the Consumers Decision on Purchasing Power", *Journal of Economics and Behavioral Studies*, 2(3), 108–116.
- Alston, J. M., and J. A. Chalfant (1991a): "Can We Take the Con Out of Meat Demand Studies?" *Western Journal of Agricultural Economics*, 16(1):36–48.
- Alston, J. M., and J. A. Chalfant. (1991b): "Unstable Models from Incorrect Forms", *American Journal of Agricultural Economics*, 73(4):1171–81.
- Alston, J. M., G. W. Norton, and P. G. Pardey. 1995. *Science Under Scarcity: Principles and Practice for Agricultural Research Evaluation and Priority Setting*. Ithaca: CAB International.
- Aquaculture Stewardship Council. (2021). Find a Farm Retrieved from: <https://www.asc-aqua.org/find-a-farm/>
- Aquaculture Stewardship Council. (2021). Sea Lice Retrieved from: <https://www.asc-aqua.org/aquaculture-explained/why-do-we-need-responsible-aquaculture/salmon-farming/sea-lice/>
- Asche, F. (1996): "A System Approach to the Demand for Salmon in the European Union." *Applied Economics* 28(1):97–101.
- Asche, F. (2008). Farming the sea. *Marine Resource Economics*, 23(4), 527–547.
- Asche, F. and T. Bjørndal (2011): *The Economics of Salmon Aquaculture*. <https://doi.org/10.1002/9781119993384>
- Asche, F., A. G. Guttormsen, and R. Nielsen (2013): "Future challenges for the maturing Norwegian salmon aquaculture industry: An analysis of total factor productivity change from 1996 to 2008", *Aquaculture*, 396–399:43–50.
- Asche, F., and K. H. Roll (2013): "Determinants of Inefficiency in Norwegian Salmon Aquaculture", *Aquaculture Economics and Management*, 17(3):300–21.
- Asche, F., and T. Bjørndal (2011): *The Economics of Salmon Aquaculture*. 2nd ed. Chichester: Wiley-Blackwell.
- Asche, F., Cojocar, A. L., and Roth, B. (2018). The development of large-scale aquaculture production: A comparison of the supply chains for chicken and salmon. *Aquaculture*, 493, 446–455.
- Asche, F., H. Bremnes, and C. R. Wessells (1999): "Product Aggregation, Market Integration, and Relationships between Prices: An Application to World Salmon Markets", *American Journal of Agricultural Economics*, 81(3):568–81.
- Asche, F., K. G. Salvanes, and F. Steen (1997): "Market delineation and demand structure." *American Journal of Agricultural Economics*, 79(February):139–50.
- Asche, F., K. H. Roll, and R. Tveterås (2012): "Innovations and Productivity Performance in Salmon Aquaculture", In *Advances in Production Management Systems: Value Networks: Innovation*,

- Technologies and Management*, IFIP Advances in Information and Communication Technology 384, ed. J. Frick and B. T. Laugen, 620–7. Springer Berlin Heidelberg.
- Asche, F., K. H. Roll, H. N. Sandvold, A. Sørvig, and D. Zhang (2013): "Salmon Aquaculture: Larger Companies and Increased Production", *Aquaculture Economics and Management* 17(3):322–39.
- Asche, F., R. E. Dahl, D. V. Gordon, T. Trollvik, and P. Aandahl (2011): "Demand Growth for Atlantic Salmon: The EU and French Markets", *Marine Resource Economics* 26(4):255–65.
- Asche, F., T. Bjørndal, and K. G. Salvanes (1998): "The Demand for Salmon in the European Union", *Canadian Journal of Agricultural Economics* 46:69–81.
- Aslesen, H. W. (2019). Knowledge intensive service activities and innovation in the Norwegian aquaculture industry - Part project report from the OECD KISA study. Unit.no. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/11250/273434>
- Ayer, N. W., and Tyedmers, P. H. (2009). Assessing alternative aquaculture technologies: life cycle assessment of salmonid culture systems in Canada. *Journal of Cleaner Production*, 17(3), 362–373. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.08.002>
- Backman, D.C.; S.L. De Dominicis R.Johnstone, Operational decisions in response to a performance-based regulation to reduce organic waste impacts near Atlantic salmon farms in British Columbia, Canada, *Journal of Cleaner Production*, Volume 17, Issue 3, February 2009, Pages 374-379,
- Bailey, J. L., and Eggereide, S. S. (2020). Mapping actors and arguments in the Norwegian aquaculture debate. *Marine Policy*, 115, 103898. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103898>
- Barten, A. P. 1967. "Evidence on the Slutsky Conditions for Demand Equations." *The Review of Economics and Statistics* 49(1):77–84.
- Barten, A. P. 1969. "Maximum Likelihood Estimation of a Complete System of Demand Equations." *European Economic Review* 1(1):7–73.
- Berge, A. (2020). Land-based salmon farming in Norway – laws and regulations. Retrieved from https://salmonbusiness.com/land-based-salmon-farming-in-norwaylaws-and-regulations/#_ftn1
- Bice, S., Brueckner, M., and Pforr, C. (2017). Putting social license to operate on the map: A social, actuarial and political risk and licensing model (SAP Model). *Resources Policy*, 53, 46–55. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.05.011>
- Bjørndal, T., and Tusvik, A. (2017). Land based farming of salmon: economic analysis. In NTNU Working Paper Series (No. 1). <https://doi.org/10.1080/13657305.2019.1654558>
- Boxaspen, K. (2006). A review of the biology and genetics of sea lice. *ICES Journal of Marine Science*, 63(7), 1304–1316. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2006.04.017>
- Bustamante, C., Vargas-Caro, C. and Bennett, M.B. (2014), Not all fish are equal: functional biodiversity of cartilaginous fishes (Elasmobranchii and Holocephali) in Chile. *J Fish Biol*, 85: 1617-1633.
- Bustos, Beatriz. (2012). Brote del virus ISA: crisis ambiental y capacidad de la institucionalidad ambiental para manejar el conflicto. *EURE (Santiago)*, 38(115), 219-245.
- Canada's Oil Sands Innovation Alliance - COSIA (2019). Annual Report 2019 | Retrieved May 31, 2021, from Cosia.ca website: <https://cosia.ca/annual-report-2019>
- CAPP. (2020, December 17). Crude Oil Extraction and Drilling Methods. Retrieved May 31, 2021, from <https://www.capp.ca/oil/extraction>

- Cerda, E. (2019): "Productividad y competitividad en la industria del salmón en Chile", CIEPLAN.
- Cerda, E. and P. Meller (2020): *La revolución azul: acuicultura en Chile y Perú*, Editorial Universidad de Talca, Chile.
- Chalfant, J. A., and J. M. Alston. 1988. "Accounting for Changes in Tastes." *Journal of Political Economy* 96(2):391-410.
- Chidmi, B., T. Hanson, and G. Nguyen. 2012. "Substitutions between Fish and Seafood Products at the US National Retail Level." *Marine Resource Economics* 27(4):359-70.
- Coelli, T. J., D. S. P. Rao, C. J. O'Donnell, and G. E. Battese. 2005. *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. 2nd ed. Springer.
- CtrlAQUA. (2020). Definitions. <https://ctrlaqua.no/about/definitions/>
- Davis, M. D. (2021). game theory | Definition, Facts, and Examples. Retrieved May 30, 2021, from <https://www.britannica.com/science/game-theory>
- Davis, C., B. Lin, and S. Yen. 2007. "Consumer Demand for Meat Cuts and Seafood." In 2007 Annual Meeting, July 29-August 1, Portland, OR.
- Dawson, P., McLoughlin, I., McLoughlin, I., and Preece, D. (2000). *Technology, Organizations and Innovation: Critical Perspectives on Business and Management* (1st ed.).
- Delacámara, G. (2008): "Guía para decisores. Análisis económico de externalidades ambientales", processed, CEPAL.
- DeVoretz, D. D. J., and K. G. K. Salvanes. 1993. "Market Structure for Farmed Salmon." *American Journal of Agricultural Economics* 75(1):227-33.
- Diederer, P., Meijl, H., Wolters, A., and Bijak, K. (2015). Innovation adoption in agriculture innovators, early adopters and laggards. Retrieved from website: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01201041/document>
- Directorate of Fisheries (2018b). Capacity adjustment / traffic light system 2017-2018. Retrieved from: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-ogtillatelse/Kapasitetsjustering-trafikklyssystemet/Kapasitetsjusteringtrafikklyssystem-2017-2018>
- Directorate of Fisheries (2020a). Auction of production capacity for aquaculture of food fish in the sea of salmon, trout and rainbow trout in 2020. Available at: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-ogtillatelse/Auksjonav-produksjonskapasitet/Auksjon-august-2020>
- Directorate of Fisheries (2020b). Capacity adjustment / traffic light system 2020 Available at: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-ogtillatelse/Kapasitetsjustering-trafikklyssystemet/Kapasitetsjusteringtrafikklyssystemet-copy> 68
- Directorate of Fisheries. (2018). Auction of production capacity for aquaculture of food fish in the sea of salmon, trout and rainbow trout in 2018. Available at: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-ogtillatelse/Auksjonav-produksjonskapasitet/Auksjon-Lukket-budrunde-september-2018>
- Directorate of Fisheries. (2020). Retrieved May 27, 2021, from English website: <https://www.fiskeridir.no/English/Aquaculture/Statistics/Atlantic-salmon-andrainbow-trout>
- Dresdner, J.; ,C. Chávez, M. Quiroga, D. Jiménez, P. Artacho and A. Tello (2019): "Impact of Caligus treatments on unit costs of heterogeneous salmon farms in Chile", *Aquaculture Economics & Management*, Volume 23, 2019 - Issue 1.

- Drønen, O. A. (2020): Mowi among fish farmers suing Norway over production cuts. FishFarmingExpert.com. Retrieved from <https://www.fishfarmingexpert.com/article/norway-fish-farmers-sue-state-over-cutsto-production-limits/>
- Ellis, T.; J.F. Turnbull, T.G. Knowles, J.A. Lines and N.A. Auchterlonie (2016): "Trends during development of Scottish salmon farming: An example of sustainable intensification?", *Aquaculture* 458 (2016) 82–99
- Ettlie, J. E., Bridges, W. P., and O'Keefe, R. D. (1984). Organization Strategy and Structural Differences for Radical Versus Incremental Innovation. *Management Science*, 30(6), 682–695. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.6.682>
- FAO (2018): *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Roma.
- FAO (2020). FishStatJ - Software for Fishery and Aquaculture Statistical Time Series (FAO Global Fishery and Aquaculture Production Statistics Version 2020.1.0).
- FAO (2020a). The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- FAO (2020b). National Aquaculture Legislation Overview - Norway. http://www.fao.org/fishery/legalframework/nalo_norway/en
- FAO (2021b): Fisheries and Aquaculture - National Aquaculture Legislation Overview - United Kingdom.
- FAO (2021c): "FAO Fisheries and Aquaculture - National Aquaculture Legislation Overview – Canada"
- Fast, M. D. (2014). Fish immune responses to parasitic copepod (namely sea lice) infection. *Developmental and Comparative Immunology*, 43(2), 300–312. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2013.08.019>
- Fenichel, E. P., and Abbott, J. K. (2014). Natural Capital: From Metaphor to Measurement. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 1(1/2), 1–27. <https://doi.org/10.1086/676034>
- Folke, C.; N. Kautsky and M. Troell (1994): "The Costs of Eutrophication from Salmon Farming: Implications for Policy", *Journal of Environmental Management* 40(2)
- Føre, H.M. and T. Thorvaldsen (2021): "Causal analysis of escape of Atlantic salmon and rainbow trout from Norwegian fish farms during 2010–2018", *Aquaculture* Volume 532, 736002
- Føre, H.M.; T. Thorvaldsen, T.C. Osmundsen, F. Asche, R. Tveterås, J.T. Fagertun, and H.V. Bjelland (2022): "Technological innovations promoting sustainable salmon (*Salmo salar*) aquaculture in Norway", *Aquaculture Reports*, Volume 24, June, 101115.
- Fousekis, P., and B. Revell. 2004. "Retail Fish Demand in Great Britain and its Fisheries Management Implications." *Marine Resource Economics* 19:495–510.
- Freeman III, A. M., Herriges, J. A., and Kling, C. L. (2014). *The measurement of environmental and resource values: theory and methods*. Routledge.
- Fry, J.P. et al., 2016. Environmental health impacts of feeding crops to farmed fish. *Environment International*, 91, pp.201–214.
- Gatward I.; A. Parker, S. Billing, K. Black et al. (2017): *Scottish Aquaculture: a view towards 2030*, Scottish Aquaculture Innovation Centre and Highlands and Islands Enterprise.
- Gephart, J.A., Henriksson, P.J.G., Parker, R.W.R. et al. Environmental performance of blue foods. *Nature* 597, 360–365 (2021).

- Gjedrem, T. (2000). Genetic improvement of cold-water fish species. *Aquaculture Research*, 31(1), 25–33. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2000.00389.x>
- Gjedrem, T., 2000. Genetic improvement of cold-water fish species. *Aquaculture* Gjerde, B., Grisdale-Helland, B., Helland, S.J., Thodesen, J., Korsvoll, S., 1997.
- Government of Canada. (2020). What are the oil sands? Retrieved May 31, 2021, from <https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/energy-sources-distribution/cleanfossil-fuels/what-are-oil-sands/18089>
- Greaker, M., Vormedal, I., and Rosendal, K. (2020). Environmental policy and innovation in Norwegian fish farming: Resolving the sea lice problem? *Marine Policy*, 117, 103942. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103942>
- Grønabæk, L., Lindroos, M., Munro, G., and Pintassilgo, P. (2020). *Game Theory and Fisheries Management: Theory and Applications* (1st ed. 2020 ed.)., .: Springer.
- Haaland, S. A. (2017). Semi-closed containment systems in Atlantic salmon production - Comparative analysis of production strategies [Norwegian University of Science and Technology]. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2456881>
- Haugland, B.T.; C.S. Armitage, T. Kutti, V. Husa, M.D. Skogen, T. Bekkby, M.A. Carvajalino-Fernández, R.J. Bannister, C.A. White, K.M. Norderhaug and S. Fredriksen (2021): “Large-scale salmon farming in Norway impacts the epiphytic community of *Laminaria hyperborean*”, *Aquaculture Environment Interactions*, Vol. 13: 81–100.
- Hersoug, B. (2021); “Why and how to regulate Norwegian salmon production?”, *Aquaculture*, Volume 545, 15 December 2021.
- Hersoug, B., Mikkelsen, E., and Karlsen, K. M. (2019). “Great expectations” – Allocating licenses with special requirements in Norwegian salmon farming. *Marine Policy*, 100, 152–162. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.11.019>
- Hersoug, B., Mikkelsen, E., and Osmundsen, T. C. (2021). What’s the clue; better planning, new technology or just more money? - The area challenge in Norwegian salmon farming. *Ocean and Coastal Management*, 199, 105415.
- Hersoug, B.; M. Schei Olsen, A. Årthun Gauteplass, T.C. Osmundsen and F. Asche (2021a): “Serving the industry or undermining the regulatory system? The use of special purpose licenses in Norwegian salmon aquaculture, *Aquaculture*, 543(15):736918.
- Heuch, P. A., Nordhagen, J. R., and Schram, T. A. (2000). Egg production in the salmon louse [*Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer)] in relation to origin and water temperature. *Aquaculture Research*, 31(11), 805–814. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2000.00512.x>
- Hilde Ness Sandvold and Ragnar Tveterås (2014). Innovation and productivity growth in Norwegian production of juvenile salmonids. *Aquaculture Economics and Management*, 18:2, 149-168, DOI: 10.1080/13657305.2014.903313
- Hong, T. T. K. H., and N. M. Duc. 2009. "Competition Between U.S. Catfish and Imported Fish: A Demand System Analysis." *Journal of Agricultural Science and Technology* 2009(4):111–8.
- Hvas, M., Folkedal, O., and Oppedal, F. (2020). Fish welfare in offshore salmon aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 13(2), 836–852. <https://doi.org/10.1111/raq.12501>
- IPCC (2022): *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable*

- development, and efforts to eradicate poverty*, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.). In Press.
- Iversen, A., Asche, F., Hermansen, Ø., and Nystøyl, R. (2020). Production cost and competitiveness in major salmon farming countries 2003–2018. *Aquaculture*, 522, 735089. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735089>
- Iversen, A., Hermansen, Ø., Andreassen, O., Brandvik, R. K., Marthinussen, A., and Nystøyl, R. (2015). Kostnadsdrivere i lakseoppdrett. Unit.no. <https://doi.org/978-82-8296-336>.
- Jaime P.A. and R.O. Tinoco-López (2006): Métodos de valuación de externalidades ambientales provocadas por obras de ingeniería. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 7(2), 105-119.
- Johansson D, Laursen F, Ferno A, Fosseidengen JE, Klebert P, et al. (2014) The Interaction between Water Currents and Salmon Swimming Behaviour in Sea Cages. *PLoS ONE* 9(5): e97635. doi:10.1371/journal.pone.0097635.
- Jones, K., S. Wozniak, and L. Walters. 2013. "Did the Proposed Country-of-Origin Law Affect Product Choices? The Case of Salmon." *Journal of Food Products Marketing* 19(1):62–76.
- Jørgensen S., Pedersen L.J.T. (2018) RESTART: What, Why, How and So What? https://doi.org/10.1007/978-3-319-91971-3_3
- Just Economics (2021): Dead Loss: The High Cost of Poor Farming Practices and Mortalities on Salmon Farms <https://www.justeconomics.co.uk/health-and-well-being/dead-loss>.
- Karakaya, E., Hidalgo, A., and Nuur, C. (2014). Diffusion of eco-innovations: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 392–399. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.083>
- Kasaija, P. D., Contreras, M., Kabi, F., Mugerwa, S., and de la Fuente, J. de la. (2020). Vaccination with Recombinant Subolesin Antigens Provides Cross-Tick Species Protection in *Bos indicus* and Crossbred Cattle in Uganda. *Vaccines*, 8(2), 319. <https://doi.org/10.3390/vaccines8020319>
- Kemp, R., Schot, J., and Hoogma, R. (1998). Regime shifts to sustainability through processes of niche formation: The approach of strategic niche management. *Technology Analysis and Strategic Management*, 10(2), 175–198. <https://doi.org/10.1080/09537329808524310>
- Kinnucan, H. W., and Ø. Myrland. 2006. "Welfare Effects of Supply Expansion with Trade Restrictions: The Case of Salmon." *Journal of International Agricultural Trade and Development* 2(2):185–204.
- Kinnucan, H. W., H. Xiao, C. J. Hsia, and J. D. Jackson. 1997. "Effects of Health Information and Generic Advertising on U.S. Meat Demand." *American Journal of Agricultural Economics* 79(1):13–23.
- Kinnucan, H.K. and M. Øystein (2002): "The Relative Impact of the Norway-EU Salmon Agreement: a Mid-term Assessment", *Journal of Agricultural Economics*, 53(2): 195-219
- Klewitz, J., and Hansen, E. G. (2014). Sustainability-oriented innovation of SMEs: a systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 57–75. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.017>
- Kok, B.; W. Malcorps, M.F. Tlusty, M.M. Eltholth, N.A. Auchterlonie, D.C. Little, R. Harmsen, R.W. Newton, S.J. Davies (2020): "Fish as feed: Using economic allocation to quantify the Fish In : Fish Out ratio of major fed aquaculture species", *Aquaculture* 528 (2020) 735474
- Kragesteen, T. J., Simonsen, K., Visser, A. W., and Andersen, K. H. (2019). Optimal salmon lice treatment threshold and tragedy of the commons in salmon farm networks. *Aquaculture*, 512, 734329. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734329>

- Kristoffersen, A. B., Jimenez, D., Viljugrein, H., Grøntvedt, R., Stien, A., and Jansen, P. A. (2014). Large scale modelling of salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) infection pressure based on lice monitoring data from Norwegian salmonid farms. *Epidemics*, 9, 31–39. <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2014.09.007>
- Kumar, G., Engle, C.R., 2016. Technological advances that led to growth of shrimp, salmon, and tilapia farming. *Rev. Fish. Sci. Aquac.* 24 (2), 136–152.
- Kumbhakar, S. C., and C. A. K. Lovell. 2000. *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lafrance, D. (2021): “Canada’s Aquaculture Industry”, Publication 2021-03-E, Parliamentary Information and Research Service, Canada
- Liu, Y., and Bjelland, H. vanhauwaer. (2014). Estimating costs of sea lice control strategy in Norway. *Preventive Veterinary Medicine*, 117(3-4), 469–477. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2014.08.018>
- Liu, Y., Rosten, T. W., Henriksen, K., Hognes, E. S., Summerfelt, S., and Vinci, B. (2016). Comparative economic performance and carbon footprint of two farming models for producing Atlantic salmon (*Salmo salar*): Land-based closed containment system in freshwater and open net pen in seawater. *Aquacultural Engineering*, 71, 1-12.
- Ljungfeldt, L. E. R., Quintela, M., Besnier, F., Nilsen, F., and Glover, K. A. (2017). A pedigree-based experiment reveals variation in salinity and thermal tolerance in the salmon louse, *Lepeophtheirus salmonis*. *Evolutionary Applications*, 10(10), 1007–1019. <https://doi.org/10.1111/eva.12505>
- Lutz, W., and KC, S. (2010). Dimensions of global population projections: what do we know about future population trends and structures? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2779–2791. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0133>
- Mardones, F. O., Paredes, F., Medina, M., Tello, A., Valdivia, V., Ibarra, R., et al. (2018). Identification of research gaps for highly infectious diseases in aquaculture: the case of the endemic *Piscirickettsia salmonis* in the Chilean salmon farming industry. *Aquaculture* 482, 211–220. doi: 10.1016/j.aquaculture.2017.09.048
- Margo E. Chase-Topping, Chris Pooley, Hooman K. Moghadam, Borghild Hillestad, Marie Lillehammer, Lene Sveen, Andrea Doeschl-Wilson, (2021) “Impact of vaccination and selective breeding on the transmission of Infectious salmon anemia virus”, *Aquaculture*, Volume 535: 736635.
- Marine Fisheries Review. (1991). A review of world salmon Retrieved from: <https://core.ac.uk/download/pdf/11024439.pdf>
- Marion Herrero and Margaret Gill. (2018). land and the environmental limits of animal source-food consumption. Retrieved from ResearchGate website: https://www.researchgate.net/publication/328610297_Livestock_land_and_the_environmental_limits_of_animal_source-food_consumption/stats
- Marsh, J. M. 2003. "Impacts of Declining U.S. Retail Beef Demand on Farm-Level Beef Prices and Production." *American Journal of Agricultural Economics* 85(4):902–13.
- Mcconnell, E. (2018). Public Policy Improvements to Norwegian Salmon Aquaculture Operations—A Case Study. <http://bora.uib.no/handle/1956/18269>

- Michaelsen-Svendsen, B. (2019). Implementation of the Traffic Light System in Norwegian salmon aquaculture - success or failure for whom? *Munin.uit.no*. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/10037/16137>
- Mills, D. (Ed.). (2003). *Salmon at the Edge*. <https://doi.org/10.1002/9780470995495>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2021). Informe del Inventario Nacional de Chile 2020: Inventario nacional de gases de efecto invernadero y otros contaminantes climáticos 1990-2018. Oficina de Cambio Climático. Santiago, Chile.
- Miranda, C. D., Godoy, F. A., and Lee, M. R. (2018). Current status of the use of antibiotics and the antimicrobial resistance in the Chilean salmon farms. *Frontiers in microbiology*, 9, 1284.
- Misund, B. and R. Tveteras (2020): Sustainable Growth, Resource Rent and Taxes in Aquaculture (October 1, 2020). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3703158> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3703158>
- Mowi. (2020). *Salmon Farming: Industry Handbook 2020*. <https://ml.globenewswire.com/Resource/Download/1766f220-c83b-499a-a46e3941577e038b>
- MSM (2021): "Scottish Fish Farm Production Survey 2020", prepared by Marine Scotland Science for the Scottish Government, available at www.scotland.gov.uk.
- Muhammad, A., and K. G. Jones. 2011. "Source-Based Preferences and U.S. Salmon Imports." *Marine Resource Economics* 26(3):191–209.
- Murray A.G. y L.A. Munro (2018): "The growth of Scottish salmon (*Salmo salar*) aquaculture 1979–2016 fits a simple two-phase logistic population model" *Aquaculture*, 496: 146 – 152.
- Murray, A.G. and M. Gubbins (2016): "Spatial management measures for disease mitigation as practiced in Scottish aquaculture", *Marine Policy*, 70:93–100.
- Murray, A.G. and M. Gubbins (2017): "Aquaculture Zoning, Site Selection and Area Management in Scottish Marine Finfish Production", in Aguilar-Manjarrez, J., Soto, D. and Brummett, R. 2017. *Aquaculture zoning, site selection and area management under the ecosystem approach to aquaculture*. Full document. Report ACS113536. Rome, FAO, and World Bank Group, Washington, DC. 395 pp.
- Muth, R. F. 1964. "The Derived Demand Curve for a Productive Factor and the Industry Supply Curve." *Oxford Economic Papers, New Series* 16(2):221–34.
- Naylor, R. and M. Burke (2005): "Aquaculture and Ocean Resources: Raising Tigers of the Sea", *Annual Review of Environment and Resources* 30(1):185-218.
- Nikitina, E. (2019): "Opportunity cost of environmental conservation in the presence of externalities: application to the farmed and wild salmon trade-off in Norway". *Environmental & Resource Economics*, 2019, vol. 73, issue 2, No 12, 679-696
- Niklitschek EJ, Soto D, Lafon A, Molinet C, Toledo P (2013) Southward expansion of the Chilean salmon industry in the Patagonian Fjords: main environmental challenges. *Reviews in Aquaculture* 4: 1– 24.
- Nilsen, O. B. 2010. "Learning-By-Doing or Technological Leapfrogging: Production Frontiers and Efficiency Measurement in Norwegian Salmon Aquaculture." *Aquaculture Economics and Management* 14(2):97–119.
- Nilsson, J., Moltumyr, L., Madaro, A., Kristiansen, T. S., Gåsnes, S. K., Mejdell, C. M., ... Stien, L. H. (2019). *Veterinary and Animal Science*, 8, 100076. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2019.100076>

- NORM-VET (2021). *NORM/NORM-VET 2020: Usage of Antimicrobial Agents and Occurrence of Antimicrobial Resistance in Norway*. Tromsø / Oslo 2021. ISSN 1502-2307 (print) / 1890-9965 (electronic).
- Norwegian Veterinary Association. (2019). Preliminary Report Retrieved from Vetinst.no website: <https://www.vetinst.no/rapporter-ogpublikasjoner/rapporter/2020/fish-health-report-2019>
- Norwegian Veterinary Institute (2019a). The surveillance programme for resistance in salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) in Norway 2019 (ISSN 1894-5678). <https://www.vetinst.no/en>
- Oglend, A. 2013. "Recent Trends in Salmon Price Volatility." *Aquaculture Economics and Management* 17(3):281-99.
- Oglend, A., and M. Sikveland. 2008. "The Behaviour of Salmon Price Volatility." *Marine Resource Economics* 23:507-26.
- Olaussen, J. O. (2018). Environmental problems and regulation in the aquaculture industry. Insights from Norway. *Marine Policy*, 98, 158-163. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.08.005>
- Olaussen, J. O. (2018). Environmental problems and regulation in the aquaculture industry. Insights from Norway. *Marine Policy*, 98, 158-163.
- Olsen, M. S., and Osmundsen, T. C. (2017). Media framing of aquaculture. *Marine Policy*, 76, 19-27. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.11.013>
- Oppedal, F., Samsing, F., Dempster, T., Wright, D. W., Bui, S., and Stien, L. H. (2017). Sea lice infestation levels decrease with deeper "snorkel" barriers in Atlantic salmon seacages. *Pest Management Science*, 73(9), 1935-1943. <https://doi.org/10.1002/ps.4560>
- Overton, K., Dempster, T., Oppedal, F., Kristiansen, T. S., Gismervik, K., and Stien, L. H. (2018). Salmon lice treatments and salmon mortality in Norwegian aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1398-1417. <https://doi.org/10.1111/raq.12299>
- Peano, C., Merlino, V. M., Sottile, F., Borra, D., and Massaglia, S. (2019). Sustainability for Food Consumers: Which Perception? *Sustainability*, 11(21), 5955. <https://doi.org/10.3390/su11215955>
- Pollak, R. A. 1970. "Habit Formation and Dynamic Demand Functions." *Journal of Political Economy* 78(4):745-63.
- Pollak, R. A. 1978. "Endogenous Tastes in Demand and Welfare Analysis." *The American Economic Review* 68(2):374-9.
- Poore, J. and Nemecek, T. (2018) Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science* 360, 987-992.
- Poore, J., and Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987-992.
- Poulsen, K. (2020). Updated traffic light regulation: production of salmon in Norway will increase. Retrieved from <https://salmonbusiness.com/updated-traffic-lightregulation-production-of-salmon-in-norway-will-increase/>
- Powell, M. D., Reynolds, P., and Kristensen, T. (2015). Freshwater treatment of amoebic gill disease and sea-lice in seawater salmon production. *Aquaculture*, 448, 18-28. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.05.027>
- Provasnek, A. K., Sentic, A., and Schmid, E. (2017). Integrating Eco-Innovations and Stakeholder Engagement for Sustainable Development and a Social License to Operate. *Corporate Social*

- Responsibility and Environmental Management, 24(3), 173–185.
<https://doi.org/10.1002/csr.1406>
- Provasnek, A. K., Sentic, A., and Schmid, E. (2017). Integrating Eco-Innovations and Stakeholder Engagement for Sustainable Development and a Social License to Operate. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 24(3), 173–185.
<https://doi.org/10.1002/csr.1406>
- PWC. (2017). Seafood Barometer 2017. Retrieved from PwC website:
<https://www.pwc.no/no/publikasjoner/pwc-seafood-barometer-2017.pdf>
- PWC. (2021). Seafood Barometer 2021. Retrieved from PwC website:
<https://www.pwc.no/en/publications/seafood-barometer.html>
- Quinones, R. A., Fuentes, M., Montes, R. M., Soto, D., and León-Muñoz, J. (2019). Environmental issues in Chilean salmon farming: a review. *Reviews in Aquaculture*, 11(2), 375-402.
- Ramanathan, R., He, Q., Black, A., Ghobadian, A., and Gallea, D. (2017). Environmental regulations, innovation and firm performance: A revisit of the Porter hypothesis. *Journal of Cleaner Production*, 155, 79–92. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.11>
- Ray, D. K., Mueller, N. D., West, P. C., and Foley, J. A. (2013). Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050. *PLoS ONE*, 8(6), e66428.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066428>
- Revie, C., Dill, L., Finstad, B., and Todd, C. (n.d.). Report from the Technical Working Group on Sea Lice (A sub-group of the Working Group on Salmon Disease) of the Salmon Aquaculture Dialogue. Retrieved from website: <https://www.nina.no/archive/nina/PppbasePdf/temahefte/039.pdf>
- Rey S, Little D.C and Ellis, M.A. 2019. Farmed fish welfare practices: salmon farming as a case study. GAA publications.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K. et al. (2009) A safe operating space for humanity. *Nature* 461, 472–475.
- Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F. S. Chapin, III, E. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. De Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen, and J. Foley. (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society* 14(2): 32.
- Roll, K. H. 2012. "Measuring Performance, Development and Growth when Restricting Flexibility." *Journal of Productivity Analysis* 39(1):15–25.
- Sakai, Y., N. Yagi, M. Ariji, A. Takahara, and H. Kurokura. 2009. "Substitute and Complement Relations among Various Fish Species in the Japanese Market: Implications for Fishery Resource Management." *Fisheries Science* 75(5):1079–87.
- Sandvold, H.N., Tveteras, R., 2014. Innovation and Productivity Growth in Salmon Business. (2019). A Particle List of Recent Land Based Salmonid Farms Globally RetrievedFrom: http://nlcar.ca/uploads/1/0/3/2/103263934/global_list_land_based_-_nov_9_2019.pdf
- Sean C. Godwin, Martin Krkošek, John D. Reynolds, Andrew W. Bateman Bias in self-reported parasite data from the salmon farming industry, *Ecological Applications*, Volume31, Issue1 January 2021.

- Shephard, S., and Gargan, P. (2017). Quantifying the contribution of sea lice from aquaculture to declining annual returns in a wild Atlantic salmon population. *Aquaculture Environment Interactions*, 9, 181–192. <https://doi.org/10.3354/aei00223>
- Shor, M. (2003). Citation information for dictionary entries at Game Theory .net. Retrieved May 8, 2021, from Gametheory.net website: <https://www.gametheory.net/dictionary/CitationInformation.html>
- Silva, E. (2014). Canada's Oil Sands Innovation Alliance: Strategic Rationale and Effects. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2431306>
- Singh, K., M. M. Dey, and P. Surathkal. 2012. "Analysis of a Demand System for Unbreaded Frozen Seafood in the United States Using Store-level Scanner Data." *Marine Resource Economics* 27(4):371–87.
- SINTEF (2009). Value Created from Productive Oceans Retrieved from: <https://www.sintef.no/contentassets/f025260af6b8435394eced5e03939e11/value-created-from-productive-oceans-in-2050.pdf/>
- SINTEF. (2020). Develop Retrieved from: <https://www.sintef.no/en/projects/2020/develop/>
- Smejkal, G. B., and Kakumanu, S. (2018). Safely meeting global salmon demand. *Npj Science of Food*, 2(1). <https://doi.org/10.1038/s41538-018-0025-5>
- Smith, M. D., C. A. Roheim, L. B. Crowder, B. S. Halpern, M. Turnipseed, J. L. Anderson, F. Asche, et al. 2010. "Sustainability and Global Seafood." *Science* 327:784–6.
- Soto D, Arismendi I, González J, Sanzana J, Jara F, Jara C et al. (2006) Southern Chile, trout and salmon country: invasion patterns and threats for native species. *Revista Chilena de Historia Natural* 79: 97– 117.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... and Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855.
- Stien, L. H., Nilsson, J., Hevrøy, E. M., Oppedal, F., Kristiansen, T. S., Lien, A. M., and Folkedal, O. (2012). Skirt around a salmon sea cage to reduce infestation of salmon lice resulted in low oxygen levels. *Aquacultural Engineering*, 51, 21–25. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.06.002>
- Stien, L. H., Tørud, B., Gismervik, K., Lien, M. E., Medaas, C., Osmundsen, T., . . . Størkersen, K. V. (2020). Governing the welfare of Norwegian farmed salmon. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103969>
- Stigka, E. K., Paravantis, J. A., and Mihalakakou, G. K. (2014). Social acceptance of renewable energy sources: A review of contingent valuation applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 100–106. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.026>
- Stigler, G. G. J., and G. S. G. Becker. 1977. "De Gustibus Non Est Disputandum." *The American Economic Review* 67(2):76–90.
- Stone, R. 1945. "The Analysis of Market Demand." *Journal of the Royal Statistical Society* 108(3/4):286–391.
- Sun, C., and H. W. Kinnucan. 2001. "Economic Impact of Environmental Regulations on Southern Softwood Stumpage Markets: A Reappraisal." *Southern Journal of Applied Forestry* 25(3):108–15.
- Taranger, G.L. et al. (2015): "Risk assessment of the environmental impact of Norwegian Atlantic salmon farming" *ICES Journal of Marine Science* (2015), 72(3), 997–1021.

- Thorstad, E. B., Økland, F., Finstad, B., Sivertsgård, R., Plantalech, N., Bjørn, P. A., and McKinley, R. S. (2021). Fjord migration and survival of wild and hatchery-reared Atlantic salmon and wild brown trout post-smolts. *Developments in Fish Telemetry*, 99–107. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6237-7_11
- Tiffin, R., and M. Arnoult. 2010. "The Demand for a Healthy Diet: Estimating the Almost Ideal Demand System with Infrequency of Purchase." *European Review of Agricultural Economics* 37(4):501–21.
- Tingley, G. (1997). The occurrence of lice on sea trout (*Salmo trutta* L.) captured in the sea off the East Anglian coast of England. *ICES Journal of Marine Science*, 54(6), 1120–1128. [https://doi.org/10.1016/s1054-3139\(97\)80017-3](https://doi.org/10.1016/s1054-3139(97)80017-3)
- Torrissen, O., Jones, S., Asche, F., Guttormsen, A., Skilbrei, O. T., Nilsen, F., ... Jackson, D. (2013). Salmon lice - impact on wild salmonids and salmon aquaculture. *Journal of Fish Diseases*, 36(3), 171–194. <https://doi.org/10.1111/jfd.12061>
- Tveterås, S. (2002). Norwegian Salmon Aquaculture and Sustainability: The Relationship Between Environmental Quality and Industry Growth. *Marine Resource Economics*, 17(2), 121–132. <https://doi.org/10.1086/mre.17.2.42629356>
- Tveterås, S., 2002. Norwegian Salmon Aquaculture and Sustainability: The United Nations Environmental Program. (2020). Natural Resource Management. Retrieved May 26, 2021, from UNEP - UN Environment Programme website: <https://www.unep.org/explore-topics/disasters-conflicts/where-we-work/sudan/naturalresource-management>
- United Nations. (2019). World Ageing population. Retrieved from: <https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WorldPopulationAgeing2019-Highlights.pdf>
- University of Oxford. (2016). Who owns our natural resources? Retrieved May 26, 2021, from <https://www.ox.ac.uk/news/science-blog/who-ownsour-natural-resources>
- Van Os, H. W., Herber, R., and Scholtens, B. (2014). Not Under Our Back Yards? A case study of social acceptance of the Northern Netherlands CCS initiative. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 923–942. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.037>
- Varjopuro, R., E. Andrulowicz, T. Blenckner, T. Dolch, A.-S. Heiskanen, M. Pihlajamäki, U. Steiner Brandt, M. Valman, K. Gee, T. Potts, and I. Psuty. 2014. Coping with persistent environmental problems: systemic delays in reducing eutrophication of the Baltic Sea. *Ecology and Society* 19(4): 48.
- Vassdal, T., and H. M. Sørensen Holst. 2011. "Technical Progress and Regress in Norwegian Salmon Farming 2001-08: A Malmquist Index Approach." *Marine Resource Economics* 26(4):329–42.
- Verbeke, W., and Vackier, I. (2005). Individual determinants of fish consumption: application of the theory of planned behaviour. *Appetite*, 44(1), 67–82. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2004.08.006>
- Walker, J. G., Hurford, A., Cable, J., Ellison, A. R., Price, S. J., and Cressler, C. E. (2017). Host allometry influences the evolution of parasite host-generalism: theory and metaanalysis. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 372(1719), 20160089. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0089>

- Watkin, L. J., Kemp, P. S., Williams, I. D., and Harwood, I. A. (2012). Managing Sustainable Development Conflicts: The Impact of Stakeholders in Small-Scale Hydropower Schemes. *Environmental Management*, 49(6), 1208–1223. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9857-y>
- Wiber, M.G., C. Mather, C. Knott, M.A. López Gómez (2021): “Regulating the Blue Economy? Challenges to an effective Canadian aquaculture act”, *Marine Policy* 131: 104700
- Xie, J., and Ø. Myrland. 2011. "Consistent Aggregation in Fish Demand: A Study of French Salmon Demand." *Marine Resource Economics* 26(4):267–80.
- Xie, J., H. W. Kinnucan, and Ø. Myrland. 2009. "Demand elasticities for farmed salmon in world trade." *European Review of Agricultural Economics* 36(3):425–45.
- Yajie Liua, Trond W. Rostena, Kristian Henriksena, Erik Skontorp Hognesa, Steve Summerfelth, Brian Vinci (2016): Comparative economic performance and carbon footprint of two farming models for producing Atlantic salmon (*Salmo salar*): Land-based closed containment system in freshwater and open netpen in seawater *Aquacultural Engineering* 71 (2016) 1–12.
- Yang XE, Wu X, Hao HL, He ZL. Mechanisms and assessment of water eutrophication. *J Zhejiang Univ Sci B*. 2008;9(3):197-209.